



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

**Programa de Doctorado en Ingeniería del Agua y
Medioambiental**

TESIS DOCTORAL

**Determinación de medidas de gestión de
sequías en climas tropicales: Aplicación a
la Demarcación Hidrográfica de Manabí –
Ecuador**

DOCTORANDO:

Yeriel Elizabeth Zambrano Mera

DIRECTOR:

Dr. Miguel Ángel Pérez-Martín

Valencia, Febrero 2020

AGRADECIMIENTOS

Agradezco sinceramente y desde el fondo de mi corazón:

A Dios por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a personas que han sido mi soporte y compañía durante esta etapa académica.

A mi familia por estar siempre presente. A mis padres Dr. Augusto Zambrano y Ab. Betty Mera, mis hermanos Carlos, Bruno y Johanna, mi adorada sobrina Mía Valentina; porque su ánimo, apoyo y alegría me dan la fuerza para no rendirme.

A la Universitat Politècnica de Valencia, por darme la oportunidad de realizar mis estudios de postgrado en su seno, a sus autoridades y docentes por brindarme una sólida formación académica, y a todo el personal de la secretaría del DIHMA, por su ayuda en los trámites administrativos.

A mi director de tesis, D. Miguel Ángel Pérez Martín, por su valiosa dirección, ayuda, apoyo y por todo el ánimo para seguir adelante.

Expresar mi gratitud a instituciones públicas del Ecuador como; la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), el Instituto Militar Geográfico (IGM), el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), por proporcionar información valiosa para el desarrollo de la investigación, y de manera especial al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) por permitirme realizar una estancia de investigación.

A la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación del Ecuador (SENESCYT) por financiar esta investigación en el programa de becas: "Convocatoria Abierta 2012, Segunda Fase" (contrato 323 -2012).

A mi compañero de estudios, Jonny Fernando, por haberme acompañado durante esta etapa de mi vida, por su apoyo, ocurrencias y buen humor.

Muchas Gracias a todos.

Resumen

La sequía ocupa el primer lugar entre los fenómenos naturales que afecta a los humanos. Afecta a la agricultura, los recursos hídricos, la ecología y la sociedad; y aunque tiene un amplio impacto en todos los sectores, la agricultura ha sido el sector más afectado, puede disminuir el rendimiento de los cultivos, la calidad y los ingresos y afectar al ganado al reducir la disponibilidad de pasto y alimento. Las sequías han incrementado significativamente en las últimas décadas, y se espera que el cambio climático contribuya a esta tendencia creciente, lo que plantea mayores riesgos para aquellos sectores que dependen de la precipitación y los recursos hídricos. Por ello es necesario la detección temprana de la sequía para implementar estrategias y medidas de mitigación antes de que ocurra el evento. En este objetivo un predictor de sequía basado en índices climáticos e índices de sequía puede ser útil, ya que su combinación permite mejorar la capacidad de respuesta de los tomadores de decisiones para la gestión de la sequía.

En esta investigación se caracterizan las sequías de la Demarcación Hidrográfica de Manabí (DHM) para entender el inicio, desarrollo y el fin del evento. Se realiza un análisis de las sequías para identificar el impacto económico que tiene el evento en la demarcación. Se ha desarrollado un sistema de predicción de sequía basado en Oscilación del Sur-El Niño (ENSO) e índices de sequías, y se han establecido medidas de gestión de sequías que permitan a los tomadores de decisiones prepararse al evento.

La caracterización de las sequías en la demarcación, parte del análisis de las series históricas de precipitación y temperatura en el período octubre/1964 - septiembre/2012; para obtener la serie histórica de índices de sequía. Los índices aplicados son el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) y el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI). Los resultados de los índices se validaron con los comunicados de prensa históricos disponibles en el Sistema de Inventario de Desastres. Los resultados indican que en la DHM las sequías son estacionales y anuales. En la Zona Norte y Centro el evento es de corta

duración, y puede durar entre 3 y 9 meses y con frecuencia son incipientes y leves. En la Zona Sur, las sequías pueden durar más de un año, llegando a ser extremas.

El análisis de las sequías se realizó en base a los datos de precipitación, aportaciones y volúmenes de embalse; registrados durante el período de estudio. Para establecer el impacto económico del evento en el sector agrícola y ganadero se toma como base los datos disponibles en el Banco Central del Ecuador, el Ministerio de Agricultura y Ganadería - Sistema de Información Pública Agrícola, y el Instituto Nacional de Estadística y Censos. En el año 2009 se presentó las mayores pérdidas económicas con \$47,8 millones de dólares en el sector agrícola.

Para el desarrollo del sistema de predicción de sequías se correlacionó el Índice de Oscilación del Sur (SOI), el Índice de Niño Oceánico (ONI), la Temperatura de la Superficie del Mar (SST) en las regiones Niño 4.3, 3.4 y 1+2; y los índices de sequía aplicados, SPI y PDSI, para estimar la relación entre los eventos ENSO y la ocurrencia de sequía en la demarcación. El análisis de las correlaciones permite establecer un sistema de detección temprana de sequía basado en anomalías SST región Niño 1+2 (lag -7), SST región Niño 3 (lag -9) y SST región Niño 3.4 (lag -9) y en ambos índices de sequía. El sistema propuesto debe aplicarse en diciembre para detectar la sequía estacional y en mayo para detectar la sequía anual.

Las medidas de mitigación de sequías se dividen en estratégicas, tácticas y de emergencia. Para establecer las etapas, los indicadores y los umbrales de la sequía, se toma como referencia los estándares internacionales y los Lineamientos publicados por la Comisión Nacional del Agua - México (CONAGUA).

El desarrollo de esta investigación es un punto de partida para la elaboración de un Plan Especial de Sequía, que permita la articulación de medidas de control, evaluación de riesgos, organización de la toma de decisiones e implantación de medidas de mitigación.

Resum

La sequera ocupa el primer lloc entre els fenòmens naturals que afecta els humans. Afecta a l'agricultura, els recursos hídrics, l'ecologia i la societat; i encara que té un ampli impacte en tots els sectors, l'agricultura ha estat el sector més afectat, pot disminuir el rendiment dels cultius, la qualitat i els ingressos i afectar el bestiar a l' reduir la disponibilitat de pastura i aliment. Les sequeres s'han incrementat significativament en les últimes dècades, i s'espera que el canvi climàtic contribueixi a aquesta tendència creixent, el que planteja més riscos per a aquells sectors que depenen de la precipitació i els recursos hídrics. Per això cal la detecció primerenca de la sequera per implementar estratègies i mesures de mitigació abans que passi l'esdeveniment. En aquest objectiu un predictor de sequera basat en índexs climàtics i índexs de sequera pot ser útil, ja que la seva combinació permet millorar la capacitat de resposta dels prenedors de decisions per a la gestió de la sequera.

En aquesta investigació es caracteritzat les sequeres de la demarcació hidrogràfica de Manabí per entendre l'inici, desenvolupament i la fi de l'esdeveniment. S'ha realitzat una anàlisi de les sequeres per identificar l'impacte econòmic que té l'esdeveniment a la demarcació. Finalment s'ha desenvolupat un sistema de predicció de sequera basat en El Nen Oscil·lació de l'Sud (ENSO) i índexs de sequeres, i han establert mesures de gestió de sequeres que permetin als prenedors de decisions preparar-se a l'esdeveniment.

La caracterització de les sequeres a la demarcació, part de l'anàlisi de les sèries històriques de precipitació i temperatura en el període octubre / 1964 - setembre / 2012; per obtenir la sèrie històrica d'índexs de sequera. Els índexs aplicats són l'Índex de Precipitació Estandarditzat (SPI) i l'Índex de Severitat de Sequera de Palmer (PDSI). Els resultats dels índexs es van validar amb els comunicats de premsa històrics disponibles en el Sistema d'Inventari de Desastres. Els resultats indiquen que a la DHM les sequeres són estacionals i anuals. A la Zona Nord i Centre l'esdeveniment és de curta durada, i pot durar

entre 3 i 9 mesos i amb freqüència són incipients i lleus. A la Zona Sud, les sequeres poden durar més d'un any, arribant a ser extremes.

L'anàlisi de les sequeres es va realitzar en base a les dades de precipitació, aportacions i volums d'embassament; registrats durant el període d'estudi. Per establir l'impacte econòmic de l'esdeveniment en el sector agrícola i ramader es pren com a base les dades disponibles al Banc Central de l'Equador, el Ministeri d'Agricultura i Ramaderia - Sistema d'Informació Pública Agrícola, i l'Institut Nacional d'Estadística i Censos. L'any 2009 es va presentar les majors pèrdues econòmiques amb \$ 47,8 milions d dòlars en el sector agrícola.

Per al desenvolupament de sistema de predicció de sequeres es va correlacionar l'Índex de Oscil·lació de l'Sud (SOI), l'Índex de Nen Oceànic (ONI), la Temperatura de la Superfície de la Mar (SST) en les regions Nen 4.3, 3.4 i 1+2; i els índexs de sequera aplicats, SPI i PDSI, per estimar la relació entre els esdeveniments ENSO i l'ocurrència de sequera a la demarcació. L'anàlisi de les correlacions permet establir un sistema de detecció primerenca de sequera basat en anomalies SST regió Nen 1+2 (lag -7), SST regió Nen 3 (lag -9) i SST regió Nen 3.4 (lag -9) i en tots dos índexs de sequera. El sistema proposat s'ha d'aplicar al desembre per detectar la sequera estacional i al maig per detectar la sequera anual.

Les mesures de mitigació de sequeres es divideixen en estratègiques, tàctiques i d'emergència. Per establir les etapes, els indicadors i els llimars de la sequera, es pren com a referència els específics internacionals i els Directrius publicats per la Comissió Nacional de l'Aigua - Mèxic (CONAGUA).

El desenvolupament d'aquesta investigació és un punt de partida per a l'elaboració d'un Pla Especial de Sequera, que permeti l'articulació de mesures de control, avaluació de riscos, organització de la presa de decisions i implantació de mesures de mitigació.

Abstract

Drought ranked first among the natural phenomena that affects humans. It affects agriculture, water resources, ecology and society; and although it has a wide ranging impacts on all sectors, the agriculture has been most affected sector, it can decrease crop yields, quality and revenue and affect livestock by reducing grass and feed availability. Droughts have increased significantly in recent decades, and climate change is expected to contribute to this growing trend, which poses greater risks for those sectors that depend on precipitation and water resources. Therefore, early detection of drought is necessary to implement mitigation strategies and measures before the event occurs. In this aim a drought predictor based on climatic indices and drought indices can be useful, since their combination allows improving the answer capacity of decision makers for drought management.

In this research the droughts of Manabí River Basin District (MRBD) are characterized to understand the beginning, development and end of the event. An analysis of droughts is carried out to identify the economic impact that the event has on the River Basin District. A drought prediction system based on El Niño Southern Oscillation (ENSO) and drought indices has been developed, and drought management measures have been established that allow decision makers to prepare for the event.

The characterization of droughts in the River Basin District, start of the analysis of the historical series of precipitation and temperature in the period October/1964 - September/2012 to obtain the historical series of drought indices. The indices applied are the Standardized Precipitation Index (SPI) and the Palmer Drought Severity Index (PDSI). Index results were validated with the historical press releases available in the Disaster Inventory System. The results indicate that in the DHM the droughts are seasonal and annual. In the North and Central Zone the event is of short duration, and can last between 3 and 9 months and are often incipient and mild. In the South Zone, droughts can last more than a year, becoming extreme.

Drought analysis was performed based on precipitation data, streamflow and reservoir volumes; registered during the study period. To establish the economic impact of the event in the agricultural and livestock sector, the data available at the Central Bank of Ecuador (BCE in Spanish), the Ministry of Agriculture and Livestock - Agricultural Public Information System (MAG - SIPA in Spanish), the National Institute of Statistics and Censuses (INEC in Spanish). In 2009, the greatest economic losses were presented with \$ 47.8 million of dollars in the agricultural sector.

For the development of the drought prediction system, the Southern Oscillation Index (SOI), the Ocean Niño Index (ONI), the Sea Surface Temperature (SST) in the Niño 4.3, 3.4 and 1+2 regions; and the applied drought indices, SPI and PDSI, were correlated to estimate the relationship between ENSO events and the occurrence of drought in the River Basin District. The correlation analysis allows establishing an early drought detection system based on anomalies SST Niño 1+2 region (lag -7), SST Niño 3 region (lag -9) and SST Niño 3.4 region (lag -9) and in both drought indices. The proposed system should be applied in December to detect seasonal drought and in May to detect annual drought.

Drought mitigation measures are divided into strategic, tactical and emergency. In order to establish the stages, the indicators and the thresholds of the drought, the international specific ones and the Guidelines published by the National Water Commission - Mexico (CONAGUA) are taken as reference.

The development of this research is a starting point for the development of a Special Drought Plan, which allows the articulation of control measures, risk assessment, organization of decision-making and implementation of mitigation measures.

Contenido

1.- INTRODUCCIÓN.....	18
1.1 Motivación y contexto	19
1.2 Objetivos y metas	21
1.3 Estructura del documento	22
2.- ESTADO DEL ARTE	24
2.1 Conceptualización de las Sequías.....	25
2.2 Tipos de sequía	26
2.2.1 Sequía meteorológica	26
2.2.2 Sequía agrícola	26
2.2.3 Sequía hidrológica.....	27
2.2.4 Sequía operativa	27
2.2.5 Sequía socioeconómica.....	27
2.3 Índices de sequía.....	29
2.3.1 Índice de Anomalía de Precipitación (RAI)	29
2.3.2 Deciles.....	30
2.3.3 Índice de Humedad del Cultivo (CMI)	30
2.3.4 Índice de sequía Keetch - Byram (KBDI)	30
2.3.5 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI).....	30
2.3.6 Porcentaje de Precipitación Normal (PPN)	31
2.3.7 Índice de Suministro de Agua Superficial (SWSI).....	31
2.3.8 Índice Nacional de Precipitaciones (NRI).....	31
2.3.9 Índice de Salud de la Vegetación (VHI).....	32
2.3.10 Índice de Reclamación de Sequía (RDI)	32
2.3.11 Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)	32
2.3.12 Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI).....	34
2.3.13 Auto-calibración del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (SC- PDSI)	35
2.4 Impactos de la sequía.....	36
2.5 Escasez de agua	38
2.6 Impacto del cambio climático en las sequías	39
2.7 Eventos climáticos El Niño Oscilación del Sur	40

2.7.1	El Niño.....	40
2.7.2	Regiones El Niño	40
2.7.3	La Niña	41
2.8	Índices Climáticos	42
2.8.1	Oscilación del Atlántico Norte (North Atlantic Oscillation, NAO) ..	42
2.8.2	Índice de Oscilación del Sur (Southern Oscillation Index, SOI)	42
2.8.3	Temperatura superficial del Mar (Sea Surface Temperature, SST)	42
2.8.4	Índice Oceánico de El Niño (Oceanic Niño Index, ONI)	43
2.8.5	Índice multivariado de ENOS (Multivariante ENSO Índice, MEI) ...	43
2.9	Detección temprana de la sequía.....	44
2.10	Medidas para prevenir y reducir impacto de las sequías.....	46
2.11	Sequía en Ecuador y Manabí.....	47
2.11.1	Gestión de la sequía en Manabí.....	50
3.-	ÁREA DE ESTUDIO. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE MANABÍ (DHM) ..	52
3.1	Características Físicas	53
3.2	Uso del Suelo	56
3.3	Formaciones geológicas	57
3.4	Áreas Protegidas	58
3.5	Infraestructura Hidráulica	59
3.6	Clima	60
3.7	Estaciones de Registros Climáticos.....	65
4.-	METODOLOGÍA	66
4.1	Caracterización de las sequías en la DHM.....	69
4.1.1	Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)	69
4.1.2	Índice de Severidad de Sequía de Palmer	70
4.2	Análisis de las sequías históricas en la DHM.....	71
4.3	Impacto económico de las sequías en la DHM.....	71
4.4	Sistema de predicción de sequía basado en ENSO e índices de sequía.....	72
4.5	Medidas de gestión de sequías para la DHM.....	72
5.-	RESULTADOS	73
5.1	CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS DE LA DHM	74

5.1.1	Identificación de ciclos secos	75
5.1.2	Aplicación de índices.....	79
5.1.3	Análisis de resultados de índices de sequía aplicados.....	80
5.2	ANÁLISIS DE LAS SEQUÍAS HISTÓRICAS EN LA DHM	91
5.2.1	Sequía histórica de 1967/68 – 1969/70	92
5.2.2	Sequía histórica de 1973 – 1974	93
5.2.3	Sequía histórica de 1978/79 – 1981/82	94
5.2.4	Sequía histórica de 1984/85 – 1985/86	96
5.2.5	Sequía histórica de 1989/90 – 1990/91	97
5.2.6	Sequía histórica de 1994/95 – 1995/96	99
5.2.7	Sequía histórica de 1999/00 – 2000/01	100
5.2.8	Sequía histórica de 2004/05 – 2006/07	102
5.2.9	Sequía histórica de 2009-2010.....	103
5.3	IMPACTO ECONÓMICO DE LAS SEQUÍAS EN LA DHM.....	105
5.3.1	Análisis del sector agrícola	111
5.3.2	Análisis del sector Pecuario.....	111
5.3.3	Pérdidas económicas en el sector agropecuario.....	118
5.4	SISTEMA DE PREDICCIÓN DE SEQUÍA BASADO EN ENSO E ÍNDICES DE SEQUÍA.....	122
5.4.1	Monitoreo y alerta temprana/predicción	123
5.4.2	Correlación entre ENSO y Sequías en la Costa Ecuatoriana	124
5.4.3	Metodología para la detección Temprana de Sequía.....	131
5.5	MEDIDAS DE GESTIÓN DE SEQUÍA PARA LA DHM.....	135
5.5.1	Preparación para la sequía.....	136
5.5.2	Desarrollo de Plan de Sequía Local	144
5.5.3	Estrategias para la gestión de sequía en la DHM	152
6.-	CONCLUSIONES	157
7.-	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	169
8.-	REFERENCIAS	172
ANEXOS	182
	Sequía histórica de 1967/68 – 1969/70	184
	Sequía histórica de 1973 – 1974.....	185

Sequía histórica de 1978/79 – 1981/82	186
Sequía histórica de 1984/85 – 1985/86	187
Sequía histórica de 1989/90 – 1990/91	188
Sequía histórica de 1994/95 – 1995/96	189
Sequía histórica de 1999/00 – 2000/01	190
Sequía histórica de 2004/05 – 2006/07	191
Sequía histórica de 2009-2010	192

FIGURAS

FIGURA 2-1 REGIONES EL NIÑO. TOMADO DE NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA).	41
FIGURA 2-2 SEQUÍAS OCURRIDAS EN ECUADOR ENTRE 1988 Y 1998. (AMARILLO 0, NARANJA 1-2, ROJO 4). TOMADO DE COOPI - IRD - OXFAM.	49
FIGURA 3-1 UBICACIÓN DE LA DHM EN EL ECUADOR.	53
FIGURA 3-2 CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA DHM.	54
FIGURA 3-3 MODELO DIGITAL DEL TERRENO DE LA DHM.	55
FIGURA 3-4 USOS DE SUELO EN LA DHM.	56
FIGURA 3-5 FORMACIONES GEOLÓGICAS DE LA DHM.	57
FIGURA 3-6 CUENCA DEL RÍO CHONE EN LA DHM, UBICACIÓN DEL HUMEDAL RAMSAR “LA SEGUA”.	58
FIGURA 3-7 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA DHM.	61
FIGURA 3-8 TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DISTRIBUIDA, CALCULADA RESPECTO DE LAS OBSERVACIONES EN LA DHM DESDE 1964 – 2012.	62
FIGURA 3-9 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DISTRIBUIDA, CALCULADA RESPECTO DE LAS OBSERVACIONES EN LA DHM DESDE 1964 – 2012.	63
FIGURA 3-10 MAPA DE ÍNDICE DE HUMEDAD DE LA UNESCO PARA LA DHM.	64
FIGURA 3-11 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EXISTENTES EN LA PROVINCIA DE MANABÍ.	65
FIGURA 4-1 METODOLOGÍA PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE LA SEQUÍA Y MEDIDAS PARA LA GESTIÓN DE LAS SEQUÍAS	68
FIGURA 5-1 DIVISIÓN DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE MANABÍ POR ZONAS PARA ANÁLISIS CON ÍNDICES DE SEQUÍA. (ZONA NORTE, ZONA CENTRO Y ZONA SUR).	75
FIGURA 5-2 A) PRECIPITACIONES HISTÓRICAS ANUALES QUE ENFATIZAN LOS EVENTOS DE ENOS DURANTE LA FASE DE EL NIÑO, 1982-83 Y 1997-98. B) PRECIPITACIONES PROMEDIO MENSUALES EN LAS ZONAS NORTE, CENTRO Y SUR DE LA DHM.	76
FIGURA 5-3 EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA NORTE DE LA DHM.	77
FIGURA 5-4 EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA CENTRO DE LA DHM.	77
FIGURA 5-5 EVOLUCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL EN LA ZONA SUR DE LA DHM.	78
FIGURA 5-6 SPI DE 3 MESES PARA LAS ZONAS NORTE, CENTRO Y SUR DE LA DHM.	80
FIGURA 5-7 SPI DE 6 MESES PARA LAS ZONAS NORTE, CENTRO Y SUR DE LA DHM.	81
FIGURA 5-8 SPI DE 12 MESES PARA LAS ZONAS NORTE, CENTRO Y SUR DE LA DHM.	82
FIGURA 5-9 SPI DE 24 MESES PARA LAS ZONAS NORTE, CENTRO Y SUR DE LA DHM.	83
FIGURA 5-10 REPRESENTACIÓN DE SPI_3, 6, 12 Y 24 MESES DE LA DHM EN AGOSTO DE 1982.	83
FIGURA 5-11 RESULTADOS DIFERENTES DEL ÍNDICE DE SEQUÍA EN LA ZONA CENTRAL DE LA DHM.	87

**Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales:
Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador**

FIGURA 5-12 PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE SEQUÍAS MODERADAS, SEVERAS Y EXTREMAS, CALCULADAS A PARTIR DE LOS ÍNDICES. SPI-12 Y PDSI EN LA ZONA CENTRAL DE LA DHM.	89
FIGURA 5-13 PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE SEQUÍAS MODERADAS, SEVERAS Y EXTREMAS, CALCULADAS A PARTIR DE LOS ÍNDICES SPI_3 Y SPI_12, ZONA NORTE, ZONA CENTRO Y ZONA SUR DE LA DHM.	90
FIGURA 5-14 SPI GRÁFICO DE 12 MESES DE LA DHM EN FEBRERO 1967 A FEBRERO 1970.	92
FIGURA 5-15 SPI GRÁFICO DE 12 MESES DE LA DHM EN OCTUBRE 1973 A OCTUBRE 1974.	93
FIGURA 5-16 SPI GRÁFICO DE 12 MESES DE LA DHM EN FEBRERO 1978 A FEBRERO 1983.	95
FIGURA 5-17 SPI GRÁFICO DE 12 MESES DE LA DHM EN OCTUBRE 1984 A OCTUBRE 1986.	97
FIGURA 5-18 SPI GRÁFICO DE 12 MESES DE LA DHM EN OCTUBRE 1989 A FEBRERO 1991.	98
FIGURA 5-19 SPI GRÁFICO DE 12 MESES DE LA DHM EN MARZO 1994 A OCTUBRE 1996.	100
FIGURA 5-20 SPI GRÁFICO DE 12 MESES DE LA DHM EN OCTUBRE 1999 A OCTUBRE 2001.	101
FIGURA 5-21 SPI GRÁFICO DE 12 MESES DE LA DHM EN OCTUBRE 2004 A OCTUBRE 2006.	102
FIGURA 5-22 SPI GRÁFICO DE 12 MESES DE LA DHM NOVIEMBRE 2009 A OCTUBRE 2010.	104
FIGURA 5-23 PRODUCCIÓN INTERNA BRUTA DE ECUADOR.	107
FIGURA 5-24 PRODUCCIÓN INTERNA BRUTA DE LAS PROVINCIAS DE MAYOR PRODUCCIÓN EN ECUADOR.	107
FIGURA 5-25 DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA DE LA PROVINCIA DE MANABÍ.	108
FIGURA 5-26 PRODUCCIÓN EN EL SECTOR AGROPECUARIO EN MANABÍ.	108
FIGURA 5-27 SUPERFICIE DE CULTIVOS PERMANENTES PERDIDAS POR SEQUÍA EN ECUADOR ENTRE 2004 Y 2009, VALOR EN HECTÁREAS.	110
FIGURA 5-28 SUPERFICIE DE CULTIVOS TRANSITORIOS PERDIDAS EN HECTÁREAS POR SEQUÍA EN ECUADOR ENTRE 2004 Y 2009.	110
FIGURA 5-29 PRODUCCIÓN DEL SECTOR AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE MANABÍ.	119
FIGURA 5-30 CONTRASTE DE PDSI VS LA EXISTENCIA, PRODUCCIÓN Y MUERTE DE GANADO VACUNO.	113
FIGURA 5-31 CONTRASTE DE PDSI VS LA EXISTENCIA DE GANADO PORCINO Y EQUINO (CABALLOS Y ASNOS).	115
FIGURA 5-32 CONTRASTE DE PDSI VS LA EXISTENCIA DE AVES, VENTAS Y PRODUCCIÓN DE HUEVOS.	117
FIGURA 5-33 INGRESOS EN LA PRODUCCIÓN PECUARIA EN LA PROVINCIA DE MANABÍ.	121
FIGURA 5-34 RELACIÓN DEL ONI CON EL SPI 1, 3, 6 Y 12, DESDE LAG 0 HASTA LAG+12.	124
FIGURA 5-35 RELACIÓN DEL SOI CON EL SPI 1, 3, 6 Y 12, DESDE LAG 0 HASTA LAG+12.	125
FIGURA 5-36 RELACIÓN DEL SST REGIÓN NIÑO 3.4 CON EL SPI 1, 3, 6 Y 12, DESDE LAG 0 HASTA LAG+12.	125
FIGURA 5-37 RELACIÓN DEL SST REGIÓN NIÑO 1+2 CON EL SPI 1, 3, 6 Y 12, DESDE LAG 0 HASTA LAG+12.	126
FIGURA 5-38 RELACIÓN DEL SST REGIÓN NIÑO 3 CON EL SPI 1, 3, 6 Y 12, DESDE LAG 0 HASTA LAG+12.	127
FIGURA 5-39 CORRELACIÓN ENTRE LAS ANOMALÍAS SPI_3, SPI_6, SPI_12 Y SST DE LA REGIÓN 1+2 EN LAS ZONAS NORTE, CENTRO Y SUR DE LA DHM.	127
FIGURA 5-40 CONTRASTE ENTRE SERIE DE PDSI Y VALORES DE ANOMALÍAS DE SST. A) VALORES DE PDSI EN LA ZONA CENTRO DE LA DHM Y EVENTO ENSO "LA NIÑA", CON ÉNFASIS EN LA DISMINUCIÓN DEL ÍNDICE EN	

**Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales:
Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador**

ALGUNOS PERÍODOS. B) ANOMALÍAS DE LA SST REGIÓN NIÑO 1+2, SEÑALANDO LARGOS PERÍODOS CON VALORES NEGATIVOS.	128
FIGURA 5-41 SISTEMA DE DETECCIÓN TEMPRANA DE SEQUÍA APLICADO EN DICIEMBRE Y MAYO	132
FIGURA 5-42 APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DETECCIÓN TEMPRANA DE SEQUÍA EN LA SEQUÍA EXTREMA DE 1982 EN LA DHM.	134
FIGURA 5-43 REQUERIMIENTO DE AGUA DE LOS CULTIVOS PERMANENTES E INGRESOS EN MILLONES DE DÓLARES.	154
FIGURA 5-44 INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS PARA ABASTECER DE AGUA A LOS CULTIVOS TRANSITORIOS DE CEREALES.	154

TABLAS

TABLA 1. CÁLCULO DE LA SERIE PARA DETERMINAR EL SPI.	33
TABLA 2. CLASES DE SEQUÍA DEFINIDAS POR MCKEE, DOESKEN ET AL. 1993.	33
TABLA 3. CLASES DE SEQUÍA DEFINIDAS POR AGNEW 2000.	34
TABLA 4. CLASES DE SEQUÍA DEFINIDAS POR PALMER 1965.	35
TABLA 5 CICLOS SECOS Y SU DURACIÓN EN LA ZONA NORTE DE LA DHM.	78
TABLA 6 CICLOS SECOS Y SU DURACIÓN EN LA ZONA CENTRO DE LA DHM.....	78
TABLA 7 CICLOS SECOS Y SU DURACIÓN EN LA ZONA SUR DE LA DHM.	79
TABLA 8 CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE SEQUÍA PARA SPI (MCKEE ET AL., 1993) Y PDSI (PALMER, 1965).	79
TABLA 9 REGISTROS DE COMUNICADOS DE PRENSA QUE ABORDAN EPISODIOS DE SEQUÍA DE 1982 A 2012.	88
TABLA 10 DISTRIBUCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LABOR AGROPECUARIA DE LAS PROVINCIAS DEL ECUADOR.	109
TABLA 11 SUPERFICIE PÉRDIDAS DURANTE LA SEQUÍA EN MANABÍ.....	111
TABLA 12 PÉRDIDAS EN MILLONES EN DÓLARES POR CULTIVO DEBIDO A LA SEQUÍA EN MANABÍ.....	119
TABLA 13 TASA DE PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN ANUAL RESPECTO A LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA EN MANABÍ.....	120
TABLA 14 RESULTADOS DE LA CORRELACIÓN DE PEARSON DE LOS ÍNDICES DE SEQUÍA UTILIZADOS PARA LAS ZONAS NORTE, CENTRO Y SUR DE LA DHM CON LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS ONI, SOI Y SST.	130
TABLA 15 RESULTADOS DE LA CORRELACIÓN CRUZADA DE LOS ÍNDICES DE SEQUÍA UTILIZADOS PARA LAS ZONAS NORTE, CENTRO Y SUR DE LA DHM CON LOS ÍNDICES CLIMÁTICOS ONI, SOI Y SST.....	130
TABLA 16 CRITERIOS DEFINIDOS PARA ESTABLECER LA PROBABILIDAD DE APARICIÓN FUTURA DE SEQUÍA.....	133
TABLA 17 CLASIFICACIÓN DE ETAPAS DE SEQUÍA EN FUNCIÓN DE LOS VALORES DE SPI Y PDSI.....	138
TABLA 18 CLASIFICACIÓN DE MEDIDAS DE SEQUÍA EN FUNCIÓN DE LA INTENSIDAD DEL EVENTO.	140

Siglas y acrónimos

BCE:	Banco Central del Ecuador
DHG:	Demarcación Hidrográfica del Guayas
DHM:	Demarcación Hidrográfica de Manabí
ENSO:	Oscilación del Sur El Niño
INAMHI:	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador
INEC:	Instituto Nacional de Estadística y Censos
IPCC:	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
MAG:	Ministerio de Agricultura y Ganadería (Ecuador)
ONI:	Índice de Niño Oceánico
PATRICAL:	Precipitación-aportación en tramos de red integrados con calidad del agua
PDSI:	Índice de Severidad de Sequía de Palmer
PIB:	Producto Interno Bruto
SENAGUA:	Secretaría Nacional del Agua (Ecuador)
SIPA:	Sistema de Información Pública Agrícola
SOI:	Índice de Oscilación del Sur
SPI:	Índice de Precipitación Estandarizado
SST:	Temperatura de la Superficie del Mar
UPA:	Unidades de Producción Agrícola

1.- INTRODUCCIÓN

1.1 Motivación y contexto

La sequía es un fenómeno natural que afecta a mucho más que cualquier otro evento natural (FAO, 2013). Tiene la característica de tener un lento desarrollo temporal y una amplia cobertura espacial, condición que dificulta precisar con exactitud la duración y extensión del fenómeno. La causa inicial de toda sequía es la escasez de precipitaciones lo que deriva en una insuficiencia de recursos hídricos necesarios para abastecer la demanda existente.

En los últimos años, se han observado sequías intensas a gran escala, que afectan a grandes zonas a nivel mundial. El desarrollo de una sequía tiene importantes consecuencias para la agricultura, la ecología, los recursos hídricos y la sociedad (Mishra & Singh, 2010). Los efectos varían dependiendo del tipo de sequía y vulnerabilidad de las personas (Wong et al., 2013). Por ejemplo, los agricultores de subsistencia son más propensos a migrar durante una sequía, ya que no tienen fuentes alternativas de alimentos. Las áreas con poblaciones que dependen de la agricultura de subsistencia como fuente principal de alimento son más vulnerables a la hambruna.

En las últimas décadas Ecuador ha incurrido en pérdidas de más de 4 mil millones de dólares por causa de la sequía (Programa Mundial de Alimentos, 2011). En noviembre de 2009, se informaron condiciones climáticas secas en las regiones costeras de Ecuador (Baringer et al., 2010), afectando principalmente a la provincia de Manabí y causando pérdidas sustanciales en el sector agrícola. Se estima que las pérdidas alcanzaron los 262 millones de dólares, sin tener en cuenta el sector ganadero debido a la falta de información (División de Clima, Energía y Tenencia, Directorio Adjunto de Recursos Naturales Generales, 2010).

Los impactos asociados con la sequía conllevan a la preparación a la sequía y el desarrollo de políticas (Wilhite et al., 2005) lo que puede aumentar la capacidad de adaptación y la capacidad de recuperación de la gestión de los recursos hídricos (Engle, 2013). La preparación para la sequía incluye tres categorías básicas; monitoreo y alerta temprana, evaluaciones de vulnerabilidad e impacto, y medidas y planificación de mitigación y respuesta (Wilhite et al., 2005).

La detección temprana de la sequía ayuda a implementar estrategias y medidas de mitigación de la sequía antes de que ocurran (Barua et al., 2015). El monitoreo de la sequía utilizando indicadores apropiados de sequía, brinda información valiosa a los tomadores de decisiones. Un sistema de predicción basado en índices climáticos e índices de sequía permite mejorar la capacidad de respuesta de los tomadores de decisiones para la gestión de la sequía. Los eventos de Oscilación del Sur-El Niño (ENSO) generalmente están vinculados a grandes inundaciones y episodios de sequía (Barlow et al., 2001). Varios estudios se han realizado para encontrar la relación entre los eventos ENSO y las sequías.

Esta investigación responde a las siguientes preguntas:

- ¿Cuáles son las características de las sequías en la Demarcación Hidrográfica de Manabí?
- ¿Cuál es el impacto económico de las sequías en el sector agrícola de la DHM?
- ¿Cuál es el impacto económico de las sequías en el sector ganadero de la DHM?
- ¿Cuáles son las pérdidas económicas de las sequías en el sector agropecuario de la DHM?
- ¿Cuál es la relación entre los eventos ENSO y la ocurrencia de sequía en la demarcación?
- ¿En qué se basa el sistema de predicción de sequía en la DHM?

Por lo tanto, presenta el desarrollo de un sistema de predicción basado en ENSO e índices de sequía, y la implementación de medidas de mitigación y respuesta de la sequía con el fin de mejorar la capacidad de respuesta de los tomadores de decisiones para la gestión del evento en la Demarcación Hidrográfica de Manabí. Es necesario mencionar que la información disponible sobre sequías en Ecuador es limitada, por lo tanto, la ejecución de la investigación se vio condicionada a la información disponible y a la consecuente generación de la misma.

1.2 Objetivos y metas

El objetivo general de esta tesis doctoral es determinar medidas de gestión de sequías para la Demarcación Hidrográfica de Manabí. Para ello se han establecido los siguientes objetivos específicos:

- Caracterizar las sequías históricas de la demarcación, mediante el análisis de los datos climatológicos históricos y la aplicación de los índices de sequía; Standardized Precipitation Index (SPI) y Palmer Drought Severity Index (PDSI).
- Realizar un análisis de las sequías históricas de la Demarcación Hidrográfica de Manabí mediante el análisis de datos de precipitación, aportaciones, volúmenes de embalse y pérdidas registradas durante el período de estudio.
- Establecer medidas de prevención, mitigación y respuesta a una eventual sequía, mediante el desarrollo de un sistema de predicción basado en índices climáticos e índices de sequías y la definición de medidas estratégicas, tácticas y de emergencia.

1.3 Estructura del documento

La presente tesis se estructura en 8 capítulos que se describen brevemente a continuación:

- **Capítulo 1. Introducción.** Se describe el contexto y motivación de la investigación, los objetivos y la estructura del documento.
- **Capítulo 2. Estado del Arte.** Se plasman los aportes de la literatura internacional en la conceptualización de la sequía, los métodos para cuantificar en diferentes escalas de tiempo el evento, la detección temprana de la sequía y las medidas para prevenir y reducir su impacto.
- **Capítulo 3. Área de estudio. Demarcación Hidrográfica de Manabí.** Se caracteriza el área de estudio: descripción física de la demarcación, uso de suelo, formaciones geológicas, áreas protegidas, infraestructuras hidráulicas, clima y estaciones de registros climáticos.
- **Capítulo 4. Metodología.** Se describen las etapas realizadas y las herramientas utilizadas para el desarrollo de la investigación.
- **Capítulo 5. Caracterización de las sequías de la DHM.** Se describen los períodos de sequía registrados históricamente, definiendo la duración, severidad y frecuencia del evento.
- **Capítulo 6. Análisis de las sequías históricas en la DHM.** Se describe el comportamiento de la precipitación, las aportaciones y el nivel de los embalses, durante los períodos de sequías registrados.
- **Capítulo 7. Impacto económico de las sequías en la DHM.** Se presentan las pérdidas económicas en el sector agrícola y ganadero durante los episodios de sequía.
- **Capítulo 8. Sistema de predicción de sequía basado en ENSO e índices de sequía.** Se presenta un sistema de predicción de sequía, basado en índices climáticos e índices de sequía para monitorear el evento.
- **Capítulo 9. Medidas de gestión de sequías para la DHM.** Se describen

medidas estratégicas, tácticas y de emergencia para hacer frente a las sequías.

- **Capítulo 10. Conclusiones.** Se detallan las principales conclusiones obtenidas de la investigación.

2.- ESTADO DEL ARTE

2.1 Conceptualización de las Sequías

La sequía ocupa el primer lugar entre los fenómenos naturales que afecta a los humanos mucho más que cualquier otro evento natural (FAO, 2013). Se caracterizan por tener un lento desarrollo temporal y una amplia cobertura espacial, lo que dificulta precisar con exactitud la duración y extensión del fenómeno. Para establecerse, requieren un mínimo de dos o tres meses, pero pueden durar meses o años (Wilhite et al., 2014). Pueden ocurrir en todas las zonas climáticas por ejemplo, (Smakhtin & Schipper, 2008)(Keshavarz et al., 2014) lo que resulta en un déficit de precipitación desencadenado por anomalías en la circulación (por ejemplo, (Wilhite & Buchanan-Smith, 2005) Toda sequía se origina de una reducción significativa de la precipitación (Wilhite, 1993) aunque existen factores que pueden intensificar su severidad (vientos fuertes, altas temperaturas y baja humedad relativa).

La sequía no tiene una definición universal. Las diferencias en las variables hidrometeorológicas, los factores socioeconómicos, y la naturaleza estocástica de la demanda de agua en las diferentes regiones del mundo se han convertido en un limitación para tener una definición precisa (Mishra & Singh, 2010). Sin embargo existen algunas definiciones de sequía, que son comúnmente utilizadas: “período de tiempo prolongado sin lluvias importantes” (Linsley et al., 1949), “valor anual más pequeño de los caudales diarios” (Gumbel, 1963), “desviación significativa de las condiciones hidrológicas normales de un área” (Palmer, 1965), “porcentaje de años, cuando los cultivos se pierden por la falta de humedad” (FAO, 1983), “deficiencia en la precipitación sostenida y extendida” (WMO, 1986), “fenómeno que se produce naturalmente cuando 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” (United Nations Secretariat General, 1994), “período prolongado, una temporada, un año o varios años deficientes de las precipitaciones respecto a la media estadística de varios años para una región” (Schneider, 1996).

2.2 Tipos de sequía

Existen clasificaciones simples, como la de (SUDENE, 1999), que divide las sequías en hidrológicas, agrícolas y efectivas (equivalentes a sequías socioeconómicas), y clasificaciones más detalladas, como la de (Subrahmanyam, 1967) que distingue seis tipos de sequía: meteorológica, climática, atmosférica, agrícola, hidrológica y de gestión hídrica. Sin embargo, la clasificación actualmente considerada es la propuesta por (Wilhite & Glantz, 1985), y la Sociedad Meteorológica Americana (AMS, 2004): sequía meteorológica, agrícola, hidrológica y socioeconómica.

2.2.1 Sequía meteorológica

La sequía meteorológica se define como una falta de precipitación sobre una región durante un tiempo determinado (Mishra & Singh, 2010). Debido a la dificultad de establecer una duración y magnitud del déficit pluviométrico para diferentes superficies geográficas, algunos autores optan por no especificar umbrales fijos a la hora de definir la sequía meteorológica (Valiente, 2001). Por ejemplo, Palmer, 1965, la define 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) la definen como la falta prolongada de precipitación, inferior a la media. Por su parte (Gibbs, 1975) la define como el déficit de precipitación con respecto a los valores medios.

Autores como (Rind et al., 1990) incluyen la variable evapotranspiración además de la precipitación y definen la sequía meteorológica como, la resultante de un exceso de demanda atmosférica de humedad respecto a su aporte, es decir ($ETP > P$). Para extrapolar una definición de una región a otra, es necesario que ambas muestren pautas climáticas análogas.

2.2.2 Sequía agrícola

La sequía agrícola se define como la disminución de la humedad del suelo en un periodo dado, que puede afectar la producción de los cultivos y conllevar a la

pérdida de la cosecha sin referencia explícita a los recursos hídricos superficiales (Mishra & Singh, 2010).

No es posible establecer umbrales de sequía agrícola (ni siquiera para un área geográfica específica), debido a la diferencia en las necesidades hídricas para cada cultivo (Valiente 2001). Sin embargo, (Davitaya & Kulik, 1962) la definen como el periodo durante el cual sólo hay 19 mm de agua disponible en los primeros 20 cm de suelo. Una sequía meteorológica no llegará a producir una sequía agrícola, siempre que los niveles de humedad en el subsuelo sean suficientes para proporcionar agua a un determinado tipo de cultivo (Valiente 2001). La sequía agrícola está estrechamente relacionada con la seguridad del agua y la producción de cultivos. Puede conducir a importantes pérdidas económicas, especialmente para los países en desarrollo (Godfray et al., 2010; Wilhite et al., 2005).

2.2.3 Sequía hidrológica

La sequía hidrológica se define como un período con escasos recursos hídricos superficiales y subterráneos para satisfacer los usos de agua establecidos de un sistema de gestión de recursos hídricos dado (Mishra & Singh 2010). La sequía hidrológica puede demorar meses para manifestarse, desde el inicio de la escasez pluviométrica o, no llegar a manifestarse, si las lluvias retornan en poco tiempo. Por tanto, la secuencia temporal de la sequía es: meteorológica, agrícola y, por último, hidrológica (Valiente 2001).

2.2.4 Sequía operativa

Sequía operativa es un término utilizado en España. Se considera sequía operativa cuando se producen períodos en estado de fallos anómalos (no satisfacción de un uso) en un sistema de explotación de recursos hídricos (Estrela, 2006). Las causas pueden ser; la escasez de recursos, el exceso de demanda, o la gestión o el diseño no adecuado del sistema de explotación de recursos y de sus reglas de explotación.

2.2.5 Sequía socioeconómica

La sequía socioeconómica se asocia con la falla de los sistemas de recursos hídricos para satisfacer las demandas de agua, relacionando, por tanto, las sequías con la

oferta y la demanda del bien económico Agua (AMS 2004). Es necesario que algún sector económico se vea afectado por la escasez hídrica para hablar de sequía socioeconómica. En términos generales, la sequía socioeconómica sucede a la sequía agrícola en regiones donde el sector tiene un mayor peso en la economía (regiones en desarrollo), y su incidencia es más directa e inmediata que en regiones desarrolladas (Valiente 2001).

2.3 Índices de sequía

Se define un índice de sequía, como una variable capaz de evaluar el efecto y definir la intensidad, la duración, la gravedad y la extensión espacial del evento a diferentes escalas de tiempo (Mishra & Singh 2010). La escala más utilizada es la escala anual, aunque para dar seguimiento a los efectos de una sequía en situaciones relacionadas con la agricultura, el abastecimiento de agua y la extracción de agua del suelo, es recomendable usar la escala mensual (Panu & Sharma, 2002).

En las últimas décadas, varios índices se han desarrollado para cuantificar las sequías (Mishra & Singh 2010), entre ellos; el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (Palmer Drought Severity Index, PDSI) (Palmer 1965); el Índice de Anomalía de Precipitación (Rainfall Anomaly Index, RAI) (Van Rooy, 1965); Deciles (Gibbs & Maher, 1967); el Índice de Humedad del Cultivo (Crop Moisture Index, CMI) (Wayne C. Palmer, 1968); el Índice de sequía Keetch - Byram (Keetch - Byram Drought Index, KBDI) (Keetch & Byram, 1968); el Índice de Sequía Bhalme y Mooly (Bhalme and Mooly Drought Index, BMDI) (Bhalme & Mooley, 1980); el Índice de Suministro de Agua Superficial (Surface Water Supply Index, SWSI) (Shafer & Dezman, 1982); el Índice de Precipitación Estandarizado (Standardized Precipitation Index, SPI) (McKee et al., 1993); el Índice Nacional de Precipitaciones (National Rainfall Index, NRI) (Gommes & Petrassi, 1994); el Índice de Reclamación de Sequía (Reclamation Drought Index, RDI) (Weghorst, 1996); el Índice de Estado (I.e.) adoptado en España para monitorear la sequía operativa de los sistemas hidrológicos (CHJ, 2007). Existen también el Índice de Salud de la Vegetación (Vegetation Health Index, VHI) y el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) (Rouse Jr et al., 1974), que son utilizados como dato indirecto para monitorear la sequía. (NOAA-STAR).

2.3.1 Índice de Anomalía de Precipitación (RAI)

El índice de anomalía de precipitación permite evaluar la sequía meteorológica comparando la precipitación de un lugar y momento determinado con la media de los diez valores extremos de anomalías positivas y negativas de precipitación. El

cálculo del índice puede ser a escala semanal, mensual o anual. La elección de la escala se realiza sobre la base de la distribución de la precipitación (Van Rooy 1965).

2.3.2 Deciles

El concepto “decil” se emplea para detectar la sequía meteorológica. Consiste en discretizar la probabilidad de ocurrencia en décimos. De esta manera, el primer decil es la cantidad de precipitación no excedida por el 10% de los registros históricos, el segundo decil es el que corresponde al 20%, el quinto a la mediana (es decir, la lluvia no superada por el 50% de los datos), y el décimo coincide con el valor máximo histórico (Gibbs & Maher 1967).

2.3.3 Índice de Humedad del Cultivo (CMI)

El índice de humedad del cultivo monitorea los cambios de humedad del suelo a corto plazo. Se basa en datos semanales de temperatura media y precipitación total y el valor del CMI de la semana anterior. El CMI responde rápidamente a cambios de las condiciones de humedad y es ponderado para cada localización y época del año permitiendo realizar el monitoreo espacio temporal de la sequía agrícola (Palmer 1968).

2.3.4 Índice de sequía Keetch - Byram (KBDI)

El Índice de sequía Keetch - Byram es una medida de la sequía meteorológica que refleja el aumento o la pérdida del agua en el suelo. Se diseñó sobre la base de modelos matemáticos para predecir la probabilidad de incendios forestales basado en la humedad del suelo y otras condiciones relacionadas con la sequía. Su cálculo incluye variables de temperatura máxima diaria, precipitación diaria antecedente y precipitación anual (Keetch & Byram 1968).

2.3.5 Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI)

El índice de vegetación diferencial estima la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación. Se construye a partir de imágenes satelitales. Es un indicador numérico que utiliza las bandas visibles e infrarrojo cercano del espectro electromagnético, y se adopta para analizar las mediciones de teledetección y

evaluar si el objetivo siendo observado contiene vegetación verde viva o no. (Rouse et al. 1973).

2.3.6 Porcentaje de Precipitación Normal (PPN)

El porcentaje de precipitación normal se calcula dividiendo la precipitación total registrada en un período determinado para la precipitación media (estimada de una serie de al menos 30 años de información) del mismo período de referencia, expresando el resultado en porcentaje. Bhalme and Mooley 1980 rebautizaron el método como Bhalme and Mooley Drought Index (BMDI), pese a ser un procedimiento estadístico utilizado con antelación. Considerándolo un índice para evaluar la intensidad de la sequía meteorológica, basado en lluvias monzónicas mensuales y su duración.

2.3.7 Índice de Suministro de Agua Superficial (SWSI)

El índice de suministro de agua superficial es un índice de sequía hidrológica desarrollado en Colorado, por Shafer and Dezman 1982 como complemento del índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI). Se obtiene a partir de distribuciones de probabilidad acumulada de datos precipitación, embalses, curso de la nieve, y caudales. Las variables del índice se ponderan en proporción a su probable impacto en los recursos hídricos de superficie total de la cuenca. El SWSI combinado con el PDSI actúa como un mecanismo de alarma para activar el plan de respuesta al evento de sequía, así como también para determinar que el evento ha finalizado con eficacia.

2.3.8 Índice Nacional de Precipitaciones (NRI)

El índice nacional de precipitaciones se calcula por país, tomando la precipitación media anual del territorio según el peso de las medias a largo plazo de cada estación. Los resultados del índice abarcan el ámbito nacional (no permite una escala espacial de detalle). Solo es útil para detectar las sequías agrícolas (Gommes & Petrassi 1994).

2.3.9 Índice de Salud de la Vegetación (VHI)

El índice de salud de la vegetación, es un indicador "*proxy*" de las condiciones de la salud general de la vegetación (Kogan, 1995). Es una estimación combinada del estado de contenido térmico y de humedad de la vegetación. Se deriva de la unión del índice de Condición de la vegetación (Vegetation Condition Index, VCI) y el índice de Condición de la temperatura (Temperature Condition Index, TCI). Se construye a partir de las imágenes satelitales.

2.3.10 Índice de Reclamación de Sequía (RDI)

El índice de reclamación de sequía es un indicador de la sequía hidrológica. Su cálculo se realiza a nivel de cuenca hidrográfica y considera las variables precipitación, temperatura, espesor de nieve en el suelo, caudal y reservas almacenadas. Permite conocer el equilibrio entre la oferta y la demanda hídrica (Weghorst 1996).

2.3.11 Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

El desarrollo del Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), surge de la necesidad de comprender los diferentes impactos que tiene un déficit de precipitación en las aguas subterráneas, almacenamiento de los embalses, la humedad del suelo, la capa de nieve, y el caudal (McKee et al., 1993).

El cálculo del SPI se basa en el registro de precipitación a largo plazo durante un período deseado. Dicho registro se ajusta a una distribución de probabilidad, que luego se transforma a una distribución normal, de modo que la media del SPI para la ubicación y el tiempo deseado es cero (McKee et al., 1993) y (Edwards & McKee, 1997).

El SPI se diseñó para cuantificar el déficit de precipitación a múltiples escalas de tiempo 3, 6, 12, 24 y 48 meses, y reflejar el impacto de la sequía sobre la disponibilidad de los recursos hídricos. Las condiciones de humedad del suelo responden a las anomalías de precipitación a corto plazo, meses e incluso semanas. El almacenamiento de los embalses, las aguas subterráneas y las corrientes de agua responden a largo plazo (años).

Se recomienda usar el SPI para un período continuo de al menos 30 años. Se puede usar SPI_24 o SPI_48 para sequías persistentes, y SPI-3 o SPI-6 para anomalías de lluvia relacionados con la variabilidad intra-estacional (Méndez & Magaña, 2010).

Para el cálculo del SPI se generan series a la escala de tiempo deseada (3, 6, 12, 24, 48 meses), y se la ajusta a una función de distribución. Dado un nivel de precipitación acumulada, se calcula la probabilidad de excedencia, en base a la función de distribución. Para el complemento de la probabilidad, se calcula el valor de la variable normalizada, como la inversa de la función de distribución normal acumulada. El valor resultante corresponde al SPI Tabla 1.

Precipitación mensual	Escala de tres meses	Escala de seis meses
X_1	-	-
X_2	-	-
X_3	$X_1 + X_2 + X_3$	-
X_4	$X_2 + X_3 + X_4$	-
X_5	$X_3 + X_4 + X_5$	-
X_6	$X_4 + X_5 + X_6$	$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6$
X_7	$X_5 + X_6 + X_7$	$X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7$
...
X_n	$X_{n-2} + X_{n-1} + X_n$	$X_{n-5} + X_{n-4} + X_{n-3} + X_{n-2} + X_{n-1} + X_n$

Tabla 1. Cálculo de la serie para determinar el SPI.

Para la caracterización del estado de sequía (McKee et al., 1993) hacen uso del sistema de clasificación mostrado en la Tabla 2, y definen los criterios para un "evento de sequía" para cualquier escala de tiempo. Cada episodio de sequía tiene su principio y fin (duración), y una intensidad por cada mes que el evento continúe. De acuerdo a su clasificación cuando el SPI alcanza una intensidad de -1.0, o inferior, se da inicio a un episodio de sequía, y éste finaliza cuando el índice alcanza valores positivos.

Valor SPI	Clases de Sequía
>2,00	Extremadamente Húmedo
1,50 a 1,99	Muy Húmedo
1,00 a 1,49	Moderadamente Húmedo
-0,99 a 0,99	Normal
-1,00 a -1,49	Sequía Moderada
-1,50 a -1,99	Sequía Severa
<-2,00	Sequía Extrema

Tabla 2. Clases de Sequía definidas por McKee, Doesken et al. 1993.

Los valores de SPI propuestos por (McKee et al., 1993) han sido cuestionados por (Agnew, 2000) y éste ha propuesto umbrales alternativos, más racionales Tabla 3.

Valor SPI	Clases de Sequía
< -1,65	Sequía Extrema
< -1,28	Sequía Severa
< -0,84	Sequía Moderada
< -0,50	Sin Sequía
< 0,00	Sin Sequía

Tabla 3. Clases de Sequía definidas por Agnew 2000.

2.3.12 Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI)

El PDSI fue desarrollado por (Palmer 1965), es un índice para medir el estado del suministro de humedad del suelo y es calculado a partir de un modelo de balance hídrico. El desarrollo del índice fue el primer esfuerzo integral para evaluar el estado de humedad total de una región.

Palmer (1965), consideró un modelo de dos capas para calcular la humedad del suelo, asumiendo que la capa superior tiene una capacidad de campo de 1 pulgada, y que la humedad no es transferida a la capa inferior hasta que esté saturada la capa superior. La precipitación que ocurre en un mes dado se transforma en evapotranspiración, en la demanda de humedad del suelo o es perdida mediante flujo superficial. Para que el índice pueda ser comparado en el tiempo y el espacio, Palmer (1965) definió Valores Climatológicamente Apropriados para las Condiciones Existentes (Climatologically Appropriate for Existing Conditions, CAFEC).

En el balance hidrológico se estima la evapotranspiración potencial, la recarga, el escurrimiento y los coeficientes para cada parámetro, que son obtenidos a partir de un cociente entre los valores reales y los potenciales.

El sistema de clasificación del PDSI para definir intensidades de sequía se establece en la Tabla 4. Valores negativos del índice indican condiciones de sequía, mientras que valores positivos indican condiciones de humedad.

Valor PDSI	Clases de Sequía
4,0 o más	Extremadamente Húmedo
3,0 a 3,99	Muy Húmedo
2,0 a 2,99	Moderadamente Húmedo
1,0 a 1,99	Ligeramente Húmedo
0,5 a 0,99	Húmedo Incipiente
0,49 a -0,49	Normal
-0,5 a -0,99	Sequía Incipiente
-1,0 a -1,99	Sequía Reducida
-2,0 a -2,99	Sequía Moderada
-3,0 a -3,99	Sequía Severa
-4,0 o menos	Sequía Extrema

Tabla 4. Clases de Sequía definidas por Palmer 1965.

2.3.13 Auto-calibración del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (SC-PDSI)

El PDSI ha sido ampliamente utilizado para cuantificar las condiciones de sequía en un lugar y tiempo determinado. Sin embargo, una crítica común del índice es que sus valores no son comparables entre diferentes regiones climatológicas (Wells et al., 2004).

Para mejorar el rendimiento del PDSI se presentó una auto-calibración del Índice de Severidad de Sequía de Palmer (Self-Calibrating Palmer Drought Severity Index, SC-PDSI). La calibración del comportamiento del índice en cualquier ubicación se logra mediante la correcta ponderación de la característica climática, que afecta a la gama de valores PDSI, y el cálculo automático de los factores de duración, que ajusta la sensibilidad del índice. Estas dos modificaciones permiten representar los climas de diversos lugares de manera más realista. La evaluación de la SC-PDSI en estados y divisiones climáticas de los Estados Unidos muestra que es más comparable espacialmente que el PDSI (Wells et al., 2004).

2.4 Impactos de la sequía

Las sequías afectan a grandes zonas de Europa, África, Australia, Asia, América del Norte, Central y Sur. Su impacto económico y social ha generado atención a nivel mundial dado lugar. Los efectos de las sequías varían en función del tipo de sequía y la vulnerabilidad de las personas (Wong et al., 2013).

Afectan a la agricultura, los recursos hídricos, la ecología y la sociedad (Mishra & Singh, 2010). Pueden conllevar a la disminución de la productividad agrícola y de la capacidad de carga del ganado, reducción del abastecimiento de agua, deterioro de su calidad y alteración de los hábitats ribereños, interrupción de la generación de energía hidroeléctrica, suspensión de las actividades recreativas, afectación de actividades socioeconómicas, migración masiva, hambruna, conflicto social y guerras. La sequía también tiene efectos adversos sobre la contaminación del aire a nivel local o regional (Hu et al., 2019) mediante la reducción de la expulsión húmeda de contaminantes, especialmente en áreas con pequeñas bases de precipitación (Dawson et al., 2007) afectando sus procesos químicos y cambiando sus vidas atmosféricas (Wang et al., 2015). Por otra parte, las altas temperaturas afectan principalmente a los procesos químicos de los contaminantes del aire, y la disminución de la precipitación combinada con temperaturas altas aumentan en gran medida la mortalidad de árboles (Allen et al., 2010).

La sequía afecta a los ciclos de agua y de carbono al afectar tipos de cobertura terrestre, lo que afecta los servicios de los ecosistemas (Bahn et al., 2016). Por ejemplo; los humedales son recursos importantes de agua limpia, apoyan la diversidad biológica, controlan las inundaciones y aumentan la calidad de vida de la población local y la vida silvestre. La razón más importante para la destrucción de los humedales en zonas áridas es la limitación de agua (Downard et al., 2014; Minckley et al., 2013). (Maleki et al., 2018) presentan una herramienta para reducir los efectos negativos de la sequía (MC-SDSS) basado en la priorización de la restauración de humedales.

Aunque las sequías no causan el colapso ni la falla destructiva de las infraestructuras; éstas pueden condicionar las operaciones de los sistemas de

recursos hídricos imponiendo condiciones superiores a las de diseño, lo que se traduce en graves consecuencias económicas y sociales (Fernández, 1997).

La sequía tiene un amplio impacto en todos los sectores, aunque la agricultura ha sido el sector más afectado (Wilhite et al., 2014). Las sequías pueden disminuir el rendimiento de los cultivos, la calidad y los ingresos y afectar al ganado al reducir la disponibilidad de pasto y alimento (Rey et al., 2016). En el sector agrícola de Texas se han registrado pérdidas económicas de \$ 7,62 mil millones como resultado de la sequía de 2011 (Combs, 2012; Fannin, 2012; Guerrero, 2012) mientras que en 2015 se han registrado impactos económicos agrícolas en California de \$ 2,7 mil millones (Howitt et al., 2014). En el estado de Karnataka, India, la pérdida total de ingresos agrícolas representa 3.900 millones durante la sequía de 2008. En Irán, una sequía severa como la que ocurrió en el año de cosecha 1999–2000 impone un costo directo de 1.605 millones de dólares. En noviembre de 2009, la provincia de Manabí registró pérdidas sustanciales en el sector agrícola que alcanzaron los 262 millones de dólares (Climate, Energy and Tenure Division, Deputy Directory-General Natural Resources, 2010).

2.5 Escasez de agua

El término escasez de agua no parece tener una definición universal (EC, 2012) porque su definición depende tanto del espacio como del contexto (Quiring, 2009), aunque en términos generales, cubre todos los aspectos relacionados con la disponibilidad restringida de agua. Minoia, (2007) define la escasez de agua como una situación en la que no hay suficientes recursos hídricos disponibles para satisfacer los requisitos promedio a largo plazo. Así mismo Van Loon & Van Lanen (2013) consideran que el fenómeno representa la sobreexplotación de los recursos hídricos cuando la demanda de agua es mayor que la disponibilidad de agua.

La escasez de agua se ha generalizado en la mayoría de las regiones áridas y semiáridas (Kahil et al., 2016; Schwabe et al., 2013; Watkins, 2006), y es probable que estas regiones sufran una disminución en la disponibilidad de recursos hídricos y experimenten sequías más prolongadas, más severas y frecuentes debido a los impactos del cambio climático futuros proyectados (IPCC, 2014).

Se han sugerido varias respuestas políticas para hacer frente a la escasez de agua y mitigar los impactos negativos de las sequías, como la reducción de las asignaciones de agua, el uso conjunto de las aguas superficiales y subterráneas, el reciclaje y la reutilización de aguas residuales, las transferencias de agua, la desalinización del agua de mar, el cambio de cultivos, mejorando la eficiencia del uso del agua, adoptar tecnologías de conservación del agua e implementar instrumentos económicos (Kahil et al., 2016).

2.6 Impacto del cambio climático en las sequías

En las últimas décadas, las sequías se han incrementado significativamente y se espera que el cambio climático contribuya a esta tendencia creciente, lo que plantea mayores riesgos para aquellos sectores que dependen de la precipitación y los recursos hídricos (IPCC, 2014).

Varios estudios (King et al., 2017; Park et al., 2018) han demostrado que debido al calentamiento global, la sequía puede ser más frecuentes y graves en el futuro. Por ejemplo; (Touma et al., 2015) mencionan que, en muchas regiones del mundo especialmente para las zonas tropicales y subtropicales, se espera un aumento de la duración y la ocurrencia de la sequía a lo largo de los períodos 2010-2054 y 2055-2099. Sin embargo, debido a las incertidumbres relacionadas con las proyecciones climáticas, el cambio potencial en el futuro la sequía sigue siendo un elemento de debate (Dai, 2012; Sheffield et al., 2012).

Los estudios de impacto de sequía se centran principalmente en los impactos de cambio climático antropogénico. Por ejemplo; (Mondal & Mujumdar, 2015) encontraron que en el siglo XXI debido a los efectos del cambio climático antropogénico, los niveles de retorno sequía pueden sufrir cambios transitorios a escala de cuenca. (Naumann et al., 2018) encontraron que la mayoría de las regiones del mundo sufrirían un aumento progresivo y significativo en la frecuencia de la sequía en un entorno de calentamiento. (Kiem et al., 2016) mostraron que debido a los efectos conjuntos de la disminución de la precipitación y el aumento de la evapotranspiración potencial, las sequías más frecuentes y más graves pueden ocurrir en Australia.

2.7 Eventos climáticos El Niño Oscilación del Sur

2.7.1 El Niño

"Oscilación del Sur-El Niño" (Por sus siglas en inglés, ENSO) es la interacción de un fenómeno oceánico - atmosférico, que ocurre cada dos o siete años aproximadamente, en la región del océano Pacífico tropical. El elemento central está relacionado a la variabilidad climática de corto plazo a través del globo y particularmente en el trópico.

"Tiene dos fases: En el océano se manifiesta como una oscilación de la temperatura superficial del mar entre una fase cálida ("El Niño") y una fase fría ("La Niña") a lo largo del Pacífico tropical, y en la atmósfera como una oscilación entre una fase negativa ("El Niño") y una fase positiva ("La Niña") de la Oscilación del Sur" (Santistevan, 2008).

"La Oscilación del Sur, es un enlace de sistemas barométricos en el Océano Pacífico, visto como un balanceo de presiones entre el pacífico tropical sudoriental y la región Australasia (suroeste de Oceanía), que controla las variaciones de presión superficial, vientos, temperatura y precipitaciones en los trópicos de esta cuenca oceánica" (Quinn, 1992).

2.7.2 Regiones El Niño

Se han definido cuatro regiones de acción para comprender cómo se desarrollan los eventos El Niño/La Niña del ciclo ENSO a lo largo del Océano Pacífico Ecuatorial. De oeste a este, las regiones son: Niño 4, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 1+2(Figura 2-1) (Santistevan, 2008).

- "Regiones Niño 4 y 3: Se encuentran ubicadas en el lado occidental del Pacífico y se caracterizan por presentar las máximas anomalías de temperatura superficial del mar".
- "Región Niño 3.4: Es una subregión comprendida entre las regiones Niño 4 y 3 y representa un buen indicador de la correlación entre la temperatura superficial del mar y el Índice de Oscilación del Sur".

- “Región Niño 1+2: Incluye las costas de Perú y Ecuador incluidas las Islas Galápagos, esta región representa un indicador de los cambios inducidos por El Niño en los patrones de variabilidad de la costa del Pacífico de América del Sur”.

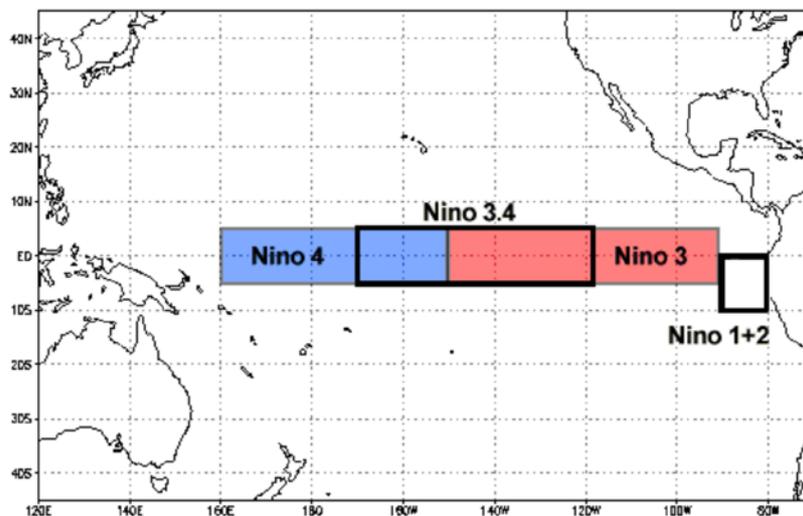


Figura 2-1 Regiones El Niño. Tomado de National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

2.7.3 La Niña

La Niña, la fase fría del ciclo ENSO presenta condiciones contrarias al evento El Niño. Algunos autores la denominan también como "El Viejo" o "El Anti-niño".

Está generalmente relacionada con la presencia de anomalías negativas de la temperatura superficial del mar, con una termoclina menos profunda que lo normal en el Pacífico Ecuatorial, al oeste de la Línea de Cambio de Fecha. En la región del Pacífico Ecuatorial oriental este evento tiende a fortalecer el desarrollo del Frente Ecuatorial, así como eventos de surgencias (Tutasi et al., 2011).

2.8 Índices Climáticos

Un índice climático es un valor que puede ser usado para describir el estado y los cambios en el sistema climático. La expresión numérica resume una serie de procesos físicos que se desarrollan en la atmósfera y el océano y dentro de la capa propia de su interacción. Los índices climáticos permiten cuantificar las relaciones entre las variables climáticas y los fenómenos de variabilidad climática (Oviedo Torres, 2011).

2.8.1 Oscilación del Atlántico Norte (North Atlantic Oscillation, NAO)

La Oscilación del Atlántico Norte (en inglés NAO) fue identificada por primera vez a principios del siglo XX por Sir Gilbert Walker (1924). Consiste en una oscilación atmosférica de masa entre el anticiclón subtropical de las Azores (38° Norte) y la región de bajas presiones cerca de Islandia (65° Norte). Este índice describe la variabilidad de la circulación atmosférica de una amplia región que abarca desde el centro de Norteamérica hasta Europa e incluso parte del norte de Asia. El índice climático mide la diferencia de presión en superficie entre Ponta Delgada (Azores) y la estación de Stykkisholmur (Islandia) (Oviedo Torres, 2011).

2.8.2 Índice de Oscilación del Sur (Southern Oscillation Index, SOI)

Es un indicador que mide la diferencia entre la anomalía promedio mensual de la presión atmosférica superficial en Tahití (Polinesia francesa), y el Puerto de Darwin. La magnitud de esta oscilación está relacionada con frecuencia con el desarrollo e intensidad de los eventos de El Niño y la Niña. Cuando el valor del índice es positivo (+8, +5 dato normalizado), tenemos el evento La Niña y cuando es negativo (-8, -5 dato normalizado), tenemos el evento es El Niño.

2.8.3 Temperatura superficial del Mar (Sea Surface Temperature, SST)

La temperatura superficial del mar es un valioso indicador de la estructura térmica de la capa superior de los océanos. En consecuencia, utilizamos la SST como variable explicativa de esta dinámica, tomando en consideración también que esta variable está estrechamente relacionada con los procesos convectivos que se generan en la atmósfera que se yace sobre ella.

2.8.4 Índice Oceánico de El Niño (Oceanic Niño Index, ONI)

Es una serie de tiempo de las anomalías de la temperatura superficial marina calculadas a partir de mediciones in situ efectuadas en la región El Niño 3.4 (5° N-5° S, 120-170° O). El periodo base abarca de 1971 a 2000 y los datos se obtienen con el método de medias móviles aplicado a periodos de tres meses. La temperatura utilizada para calcular el índice pertenece al banco de datos Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST.v2) del National Climatic Data Center de la NOAA. Los episodios cálidos (El Niño) y fríos (La Niña) son definidos cuando la anomalía se encuentra por arriba o por debajo de un valor umbral (± 0.5 °C) durante, al menos, cinco períodos consecutivos (Quiroz, 2011).

2.8.5 Índice multivariado de ENOS (Multivariante ENSO Índice, MEI)

Este índice puede ser entendido como la media ponderada de seis variables sobre el Pacífico tropical (región Niño 3) a saber: presión atmosférica a nivel del mar, componente zonal (este-oeste) y meridional (norte-sur) del viento en superficie, temperatura de la superficie del mar, temperatura del aire en superficie, y cantidad total de nubosidad. Los valores positivos del MEI representan la fase cálida de ENSO (EL Niño).

2.9 Detección temprana de la sequía

Los impactos asociados con la sequía han contribuido a la tendencia hacia una mejor preparación para la sequía y el desarrollo de políticas (Wilhite et al., 2005). La preparación ante la sequía y las políticas que facilitan su implementación pueden aumentar la capacidad de adaptación y la capacidad de recuperación de la gestión de los recursos hídricos (Engle, 2013). Las características que constituyen la preparación efectiva para la sequía son diferentes según la escala a la que se evalúa, así como el sector de interés (Gutiérrez et al., 2014). La preparación para la sequía incluye tres categorías básicas; monitoreo y alerta temprana, evaluaciones de vulnerabilidad e impacto, y medidas y planificación de mitigación y respuesta (Wilhite et al., 2005).

La detección temprana de la sequía ayuda a implementar estrategias y medidas de mitigación de la sequía antes de que ocurran (Barua et al., 2015). La implementación de un sistema de alerta temprana (SAT) permite reducir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de respuesta de las personas en riesgo. Los patrones climáticos impredecibles resultantes del cambio climático, como la ocurrencia de sequías cada vez más severas, hacen que esta tecnología sea importante para los esfuerzos de adaptación al cambio climático en muchos países.

Los sistemas de alerta efectivos requieren monitoreo de la sequía utilizando indicadores apropiados de sequía, datos meteorológicos y pronósticos, una señal de advertencia, conciencia pública y educación, cooperación institucional y arreglos para compartir datos. La información obtenida brinda a los tomadores de decisiones indicaciones claras de las regiones que están potencialmente en riesgo. La calidad de la toma de decisiones depende en parte de la información disponible y la forma en que esta información es procesada por individuos, grupos y sistemas (ICSU, 2008). Un SAT eficaz debe integrar datos de precipitación con otros datos tales como el caudal, capa de nieve, niveles de agua subterránea, embalses y niveles de los lagos, y la humedad del suelo a fin de evaluar la sequía y las condiciones de suministro de agua.

Un sistema de alerta temprana combinado con el inicio lento de una sequía puede dar suficiente tiempo de anticipación a los tomadores de decisiones locales para mitigar las amenazas de sequía, por ejemplo, organizando el suministro de alimentos de emergencia, planificando programas de recolección de agua o introduciendo iniciativas mejoradas de agricultura de secano. Sin embargo, es más eficaz diseñar sistemas de alerta temprana de sequías y de información (SATI) que se basan en múltiples indicadores físicos, e índices climáticos en combinación con la alerta temprana y los indicadores sociales. SATI eficaces son una parte integral de los esfuerzos internacionales para mejorar la gestión de la sequía y la preparación y debe ser la base de mitigación de los planes y de una política nacional de la sequía.

2.10 Medidas para prevenir y reducir impacto de las sequías

Aunque no es posible evitar la ocurrencia de sequía, pueden reducirse sus impactos negativos mediante un manejo eficiente del evento enfocado en minimizar la vulnerabilidad ambiental, económica y social. Las respuestas a la sequía por parte de los gobiernos de todo el mundo son generalmente reactivas: "modo de gestión de crisis" (Wilhite y Pulwarty, 2005), es necesaria la adopción de políticas nacionales de sequía que proporcionen un marco para una gestión proactiva y basada en el riesgo (Wilhite, 2014) como sistemas de monitoreo y alerta temprana, evaluaciones de vulnerabilidad e impacto, y medidas y planificación de mitigación y respuesta (Wilhite et al., 2005). Los países que no han desarrollado tales sistemas, incluso en parte, revelan una mayor vulnerabilidad (IPCC, 2012).

Para limitar los impactos adversos de la sequía, se utilizan medidas estructurales y no estructurales útiles, por ejemplo, se utilizan medidas estratégicas, tácticas y de emergencia en España (CHJ, 2007). Las medidas estratégicas son acciones a largo plazo de carácter institucional e infraestructural, las medidas tácticas son acciones a corto plazo y están destinadas a conservar recursos a través de mejoras en la gestión, el uso conjunto de aguas superficiales y subterráneas y ahorros voluntarios en grandes unidades de consumo. Las medidas de emergencia se activan en un estado de emergencia y están destinadas a extender los recursos disponibles el mayor tiempo posible, por lo que es necesario establecer restricciones para usos de menor prioridad e incluso generalizar restricciones en fases avanzadas. Entre las medidas estructurales es útil utilizar, por ejemplo, construcción de presas, acueductos y estaciones de bombeo (Gutiérrez et al., 2014), depósitos de llanuras de inundación (De Martino et al., 2012), tanques de captura de aguas pluviales (Paola et al., 2013). Los sistemas de agua dulce en gran parte del mundo experimentarán un estrés significativo como resultado del cambio climático (Kundzewicz et al., 2007) para hacer frente a esto, es útil para usar medidas, sugeridas por De Paola et al., (2015). Estrela y Vargas, (2012), destacan el vínculo entre el sistema nacional de indicadores de sequía y las acciones a tomar en los planes de gestión de sequía desarrollados en España, muestran que representan

herramientas estratégicas con resultados positivos en la alerta de sequía y la mitigación de impactos, respectivamente.

El conocimiento del comportamiento de las sequías ha sido un importante aspecto en el planeamiento y manejo de los sistemas de recursos hídricos. Generalmente los embalses cumplen la importante función de suplir los requerimientos de la demanda durante situaciones de sequías (Shin & Salas 2000). El único modo de abastecer y dar satisfacción a las demandas en una situación de desfase entre la necesidad y la disponibilidad del recurso es acumulando agua en épocas de abundancia y sobrantes para transferirla en las épocas de mayor consumo y baja disponibilidad. Ello se logra con la regulación (proceso de acumulación y transferencia) de los embalses. Los embalses tienen entonces como objeto y utilidad regular el recurso hídrico permitiendo; transferir agua en épocas de mayor demanda, aprovechar un mayor porcentaje de la oferta natural anual y al mismo tiempo brindar una mayor garantía de servicio (Alder 2006).

2.11 Sequía en Ecuador y Manabí

Varias provincias de Ecuador son afectadas significativa y periódicamente por las sequías. De acuerdo a la información registrada en la base DesInventar de la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (RED), las provincias más afectadas por las sequías son El Oro y Manabí con cuatro sequías en 12 años (datos desde 1988), seguido de Tungurahua, Azuay, Pichincha, Guayas, Carchi y Esmeraldas (Figura 2-2).

Según los datos de déficit hídrico en el período 1974-2000 que registra el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), las provincias potencialmente expuestas a las sequías son Manabí, Guayas, y la franja occidental sur del Ecuador. También son lugares potencialmente secos, los alrededores del valle del Chota, la ciudad de Esmeraldas, la provincia de Loja y el sector de Santa Isabel en la provincia del Azuay (D'Ercole & Trujillo, 2003).

Aunque en Ecuador los registros de sequía están disponibles desde el año 1988, se conoce que en períodos anteriores se han producido eventos de sequías que han

llegado a ser devastadores, como por ejemplo la sequía ocurrida en la provincia de Loja en el año 1968 que originó un movimiento migratorio hacia las ciudades de Guayaquil, Quito y del Oriente. Así lo demuestra el censo realizado en el año 1990, que refleja una reducción poblacional en la provincia del 43%.

De acuerdo a la reseña presentada por el gobierno ecuatoriano ante la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas 1977, Ecuador tiene dos zonas desérticas; El Oro y La Palmira. Aunque las Naciones Unidas consideran que las provincias de Manabí, Loja y Chimborazo son las más afectadas por la desertificación y sequía (D'Ercole & Trujillo, 2003).

Ecuador ha incurrido en pérdidas por causa de la sequía en más de \$ 4 mil millones en las últimas décadas (World Food Programme, 2011). La disminución de precipitación registrada en el último trimestre del 2009 hasta enero del 2010 provocó la reducción de caudales en algunos ríos del Ecuador, y la consecuente suspensión de la generación hidroeléctrica, situación que obligó al gobierno nacional a declarar un estado de emergencia eléctrica. La compañía de generación hidroeléctrica Hidropaute genera en condiciones normales el 60% de la hidroelectricidad en el país y debido a la sequía llegó a generar en promedio un 30%. Además, varias áreas geográficas del país y en especial las provincias centrales de la costa y la mayoría de la sierra, tuvieron inconvenientes con la disponibilidad del recurso hídrico para consumo humano, agrícola y ganadero.

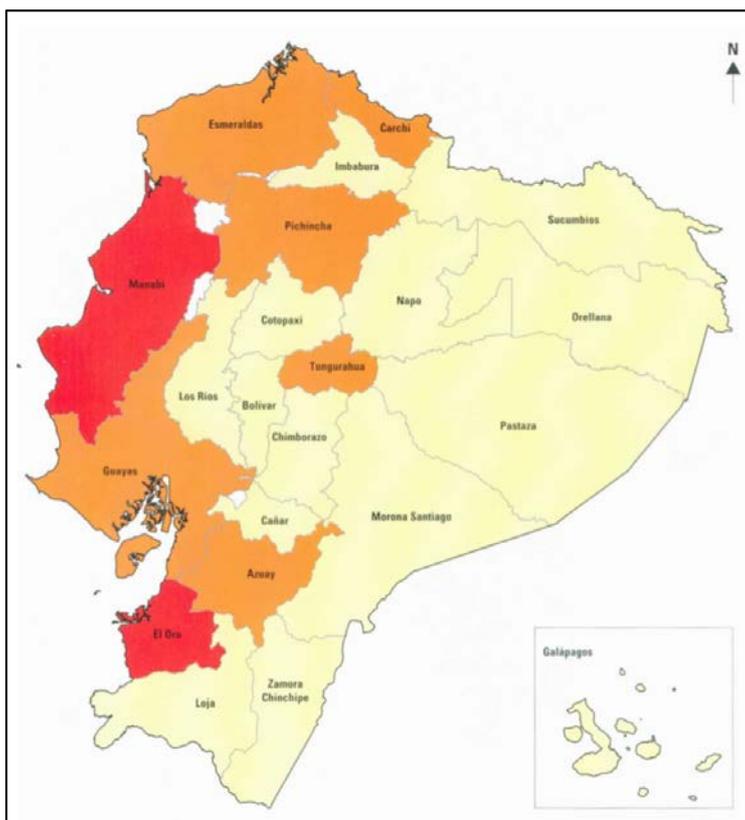


Figura 2-2 Sequías ocurridas en Ecuador entre 1988 y 1998. (amarillo 0, naranja 1-2, rojo 4). Tomado de CÔOPI - IRD - OXFAM.

Como se mencionó anteriormente, la provincia de Manabí es una de las más afectadas por las sequías. El evento ha ocasionado grandes pérdidas económicas en el sector agrícola. En el año 2009 las pérdidas alcanzarían la cifra de \$262 millones sin considerar al sector ganadero (Carvajal et al., 2010). La sequía constituye la amenaza de mayor probabilidad de ocurrencia en las cuencas del río Chone y Portoviejo con un potencial impacto respecto a su extensión. El 47,2% de la cuenca del río Chone y el 94% de la cuenca del río Portoviejo, tienen un nivel entre alto y máximo de ocurrencia de sequía. Los períodos con escasez de lluvia en la cuenca del río Chone, duran un promedio de 5,5 meses; mientras que en la cuenca del río Portoviejo, persisten un promedio de 7,3 meses (MAE & PNUD 2009). Los efectos devastadores causados por las sequías muestran la fragilidad de las condiciones ecológicas y topográficas de las cuencas, así como también la fragilidad institucional, contexto que pone en riesgo permanente a la población cada vez que se presenta el evento.

2.11.1 Gestión de la sequía en Manabí

“En el Plan Hidráulico de Manabí (PHIMA) el enfoque que se le ha dado al manejo de la sequía es calcular la precipitación total anual que correspondería a una sequía con un determinado período de retorno y cuantificar las zonas bajo condiciones muy severas de sequía. Los resultados muestran que los años secos más comunes que se han presentado responden a precipitaciones que corresponden a períodos de retorno de sequías de 10 y 25 años. Para períodos continuos de dos o más años secos existe el riesgo de que se presenten cada 25 años (Carvajal et al., 2010). Se podría decir que de cada 4 años existe el riesgo de que uno de ellos sea de sequía extrema y que de cada 25 años existe el riesgo de que dos o más años seguidos sean de sequía; siendo este último el que más incide en la formulación del Plan Hidráulico. El área cubierta con sequías de períodos de retorno entre 2 y 50 años abarca superficies del 10 y 30% respectivamente del área total de la provincia, estando concentradas en las zonas de desarrollo suroeste y central de la provincia de Manabí”.

Para disminuir los efectos de la sequía se construyeron represas para almacenar el agua para la temporada seca. Sin embargo, las represas construidas se concentran principalmente en las cuencas hidrográficas de los ríos Chone y Portoviejo, es decir en la zona centro de la provincia.

Para controlar las inundaciones y sequías que afectan a Manabí, el gobierno nacional creó la Corporación Reguladora del Manejo Hídrico de Manabí (CRM). El CRM fue fusionada con el Centro de Desarrollo del Norte de Manabí (CEDEM) en septiembre del 2009, para la conformación del organismo de gestión de recursos hídricos por Demarcación Hidrográfica de Manabí. La Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) asumió el manejo de dichas entidades.

Las dificultades en el marco normativo e institucional han limitado el manejo del recurso hídrico y la gestión de riesgo en Ecuador. Las dificultades en el marco institucional están al interior de las organizaciones, y en la coordinación interinstitucional (Carvajal et al. 2010). Durante el estudio del Proyecto Adaptación al Cambio Climático a través de una Efectiva Gobernabilidad del Agua en el Ecuador (PACC), se estimó el Índice de Vulnerabilidad Institucional (IVINS) y el Índice de

vulnerabilidad de la infraestructura (IVINF). El IVINS permite identificar aquellas zonas prioritarias donde se requiere un fortalecimiento de la capacidad institucional (intra e interinstitucional) como inversión para reducir la vulnerabilidad frente a potenciales eventos climáticos. El IVINF describe la calidad de la infraestructura existente, que podría prevenir la ocurrencia de desastres o mitigar la magnitud de sus impactos.

El PACC establece que la mayoría de los cantones de Manabí tienen una capacidad institucional baja (vulnerabilidad alta), siendo los cantones Portoviejo, Tosagua y Bolívar los más vulnerables. Los cantones Chone (cuena del río Chone) y Portoviejo (cuena del río Portoviejo) tienen una capacidad institucional menor al promedio de todas las zonas estudiadas. Sin embargo, la mayoría de los cantones existentes al interior de las cuencas Chone y Portoviejo muestran una alta capacidad en infraestructura (vulnerabilidad baja) para prevenir o disminuir el impacto de las sequías, debido a las importantes obras hídricas (sistemas de riego, embalses, trasvases, redes climatológicas) con las que se cuenta (Carvajal et al., 2010).

En el país las instituciones públicas entre ellas las del sector hídrico se han debilitado, llegando incluso a desaparecer, esto se debe a las múltiples reformas estructurales aprobadas por los gobiernos de turno. Mediante el Decreto Ejecutivo 1088 del 15 de mayo de 2008, el gobierno impulsó un proceso acelerado de institucionalización de la gestión integrada para lo cual ha creado como ente rector del sector hídrico la Secretaría del Agua (SENAGUA) con todas las capacidades para crear e implementar políticas públicas que garanticen el pleno cumplimiento de los mandatos constitucionales, los instrumentos jurídicos, técnicos y sociales para impulsar la distribución equitativa del agua, y la debida planificación para asegurar las inversiones necesarias para potenciar las contribuciones del sector (SENAGUA 2010).

3.- ÁREA DE ESTUDIO. DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DE MANABÍ (DHM)

3.1 Características Físicas

La Demarcación Hidrográfica de Manabí (DHM) se ubica al oeste de Ecuador entre las coordenadas geográficas $1^{\circ}5'W$ - $79^{\circ}44'W$ y $1^{\circ}50'S$ - $0^{\circ}26'N$, cubriendo una extensión de 11.483,68 km², ubicada en el sexto lugar respecto al tamaño de las Demarcaciones Hidrográficas del Ecuador (Figura 3-1). Fue establecida y delimitada según el Acuerdo 66-2010 de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA). Limita al norte con los ríos Muisne y Balzar (pertenecientes a la demarcación hidrográfica de Esmeraldas); al sur con los ríos Manglar Alto y Valdivia (pertenecientes a la demarcación hidrográfica del Guayas - DHG); al este con los ríos Daule y Blanco (DHG) y al oeste con el océano Pacífico.



Figura 3-1 Ubicación de la DHM en el Ecuador.

Está formada por diecisiete cuencas hidrográficas (Figura 3-1) e incluye a tres provincias del Ecuador, éstas son Manabí, Santa Elena y Esmeraldas, siendo Manabí la provincia con mayor territorio en la demarcación con un porcentaje de 97,7%. El

2,3% restante lo ocupan las demás provincias con 1,1% (Santa Elena) y 1,2% (Esmeraldas). Cuenta con una población aproximada de 1'149.748 habitantes correspondiente al 7,9% de la población nacional.

Las cuencas más representativas de la DHM son la cuenca del río Chone, la cuenca del río Portoviejo y la cuenca del río Jama. Cubren un 54% del territorio total (11502 km²) de la DHM, es decir abarcan una extensión de 6202 km². Las cuencas del río Chone y río Portoviejo poseen las principales infraestructuras de la demarcación para la gestión de los recursos hídricos (embalses, trasvases y sistemas de riego).

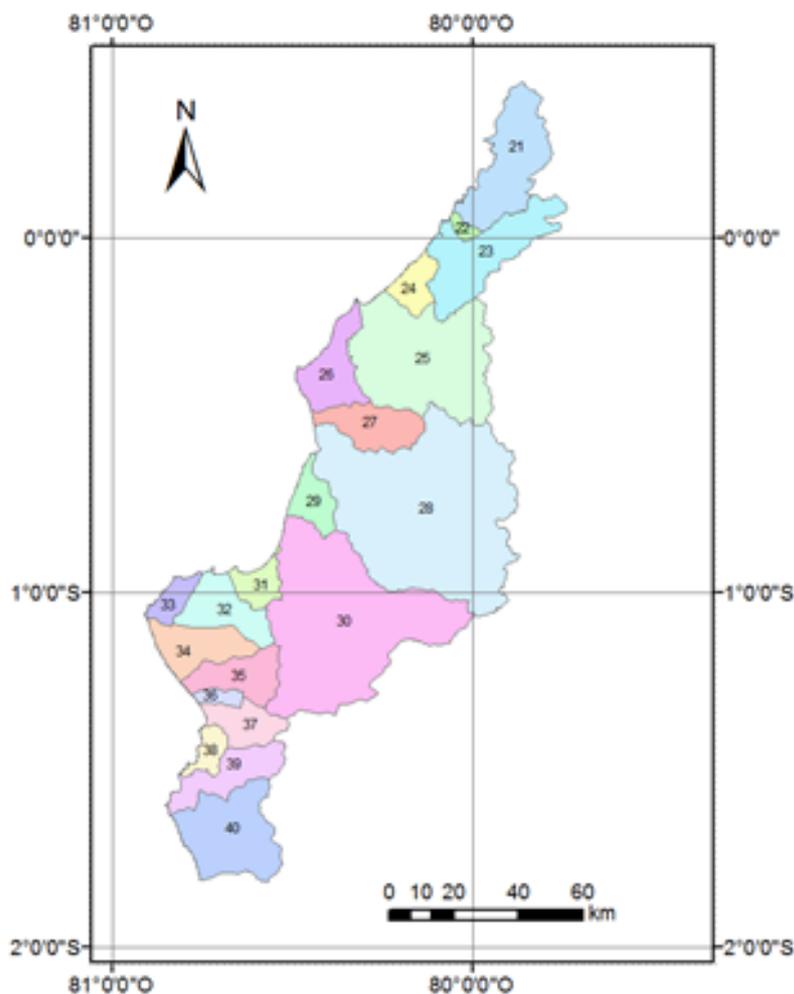


Figura 3-2 Cuencas hidrográficas de la DHM.

La Demarcación Hidrográfica de Manabí, se caracteriza por no recibir aguas provenientes del deshielo de los nevados de la Cordillera de los Andes, debido a la

existencia de la cordillera costanera “Cordillera de Chongón y Colonche” al este de la demarcación. Esta cordillera impide el escurrimiento de las aguas, y es considerada la columna vertebral de la región. Todos los ríos de la DHM desembocan en el Océano Pacífico.

La gran red hídrica que tiene la DHM es producto de las cadenas montañosas. Los ríos que resaltan la red son el río Portoviejo, el río Chone y el río Jama. El río Chone tiene la peculiaridad de formar en su desembocadura, un estuario; el cual es controlado mediante una pequeña presa que impide el ingreso de agua marina hacia el río (Figura 3-3).

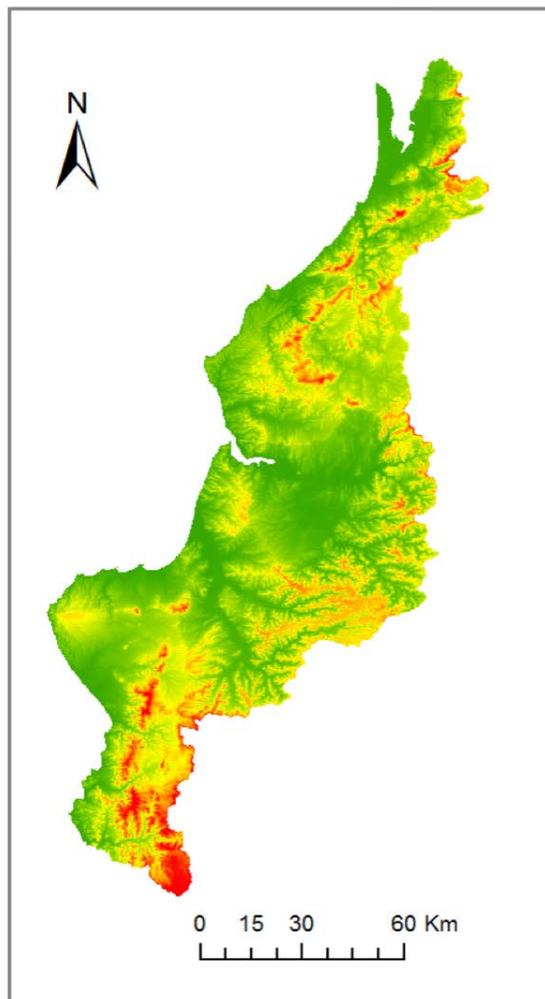


Figura 3-3 Modelo digital del terreno de la DHM.

3.2 Uso del Suelo

El principal uso del suelo en la DHM es el agropecuario con un 67%, seguido de un 18,8% de bosques y un 10,3% de vegetación arbustiva, el 3,7% restante lo ocupan los usos antrópicos, las asociaciones agropecuarias, eriales y cuerpos de agua. Dentro de este último grupo se encuentra el sector acuicultor que utiliza el agua del estuario del río Chone para sus fines (Figura 3-4).

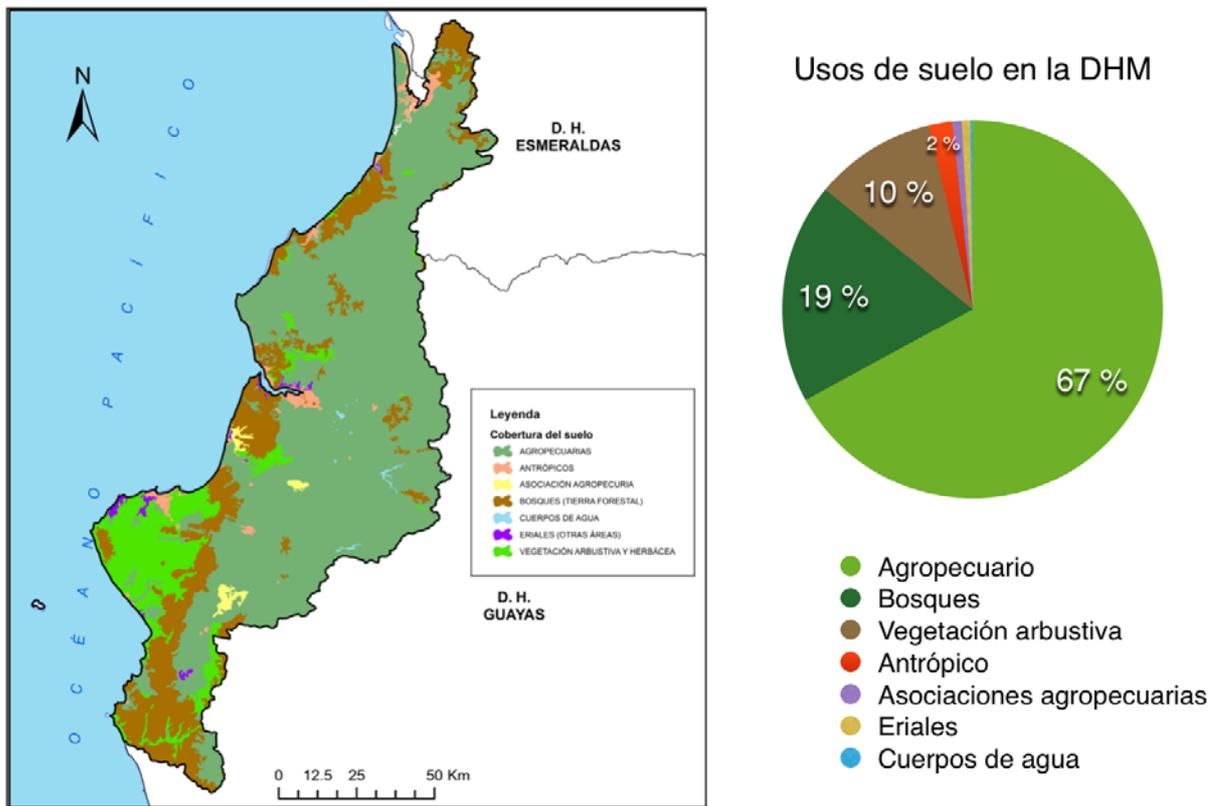


Figura 3-4 Usos de suelo en la DHM.

3.3 Formaciones geológicas

Las elevaciones máximas de la DHM son de 700 msnm, debido a que se encuentra ubicada en provincias de la zona costanera. Las elevaciones se sitúan al norte en las cuencas del río Jama, en las zonas de cabeceras de las cuencas del río Chone y río Portoviejo, y en la parte sur de la demarcación. Las elevaciones son producto de las diversas formaciones geológicas existentes en la zona, siendo las de mayor afloramiento las formaciones Borbón y Onzole en partes altas; Tosagua y Angostura en la zona norte, Cayo al sur en la parte media; y formaciones de depósitos aluviales en las zonas bajas de la DHM (Figura 3-5).

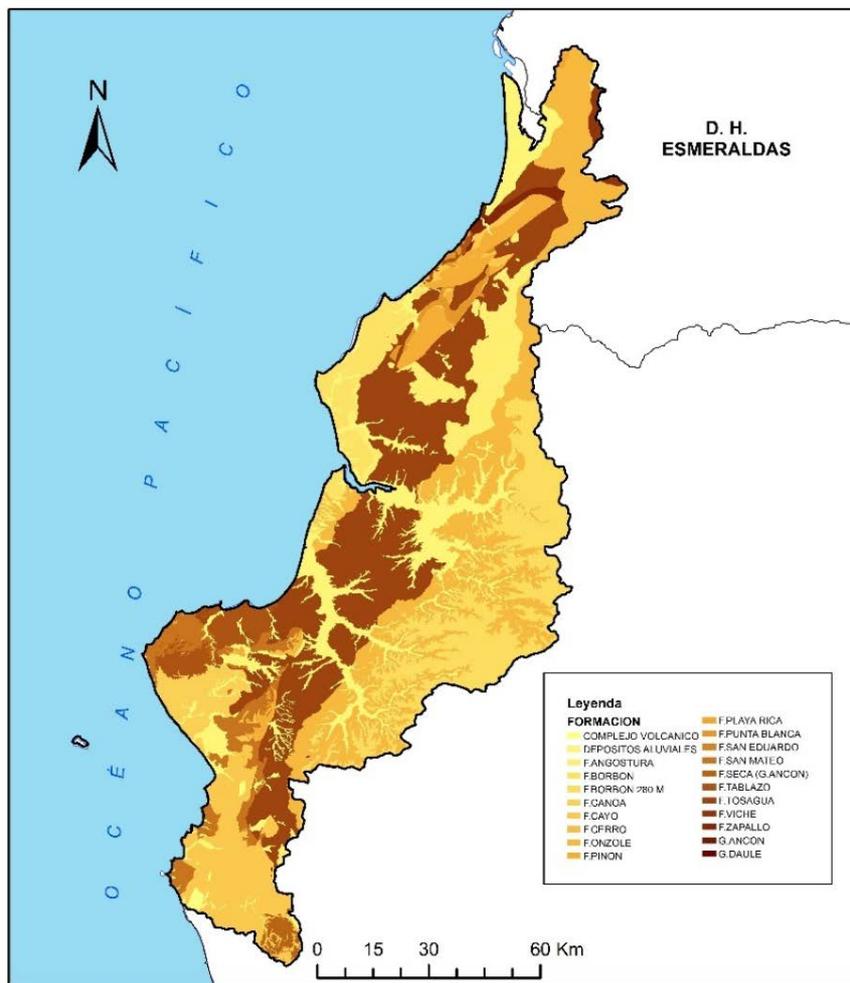


Figura 3-5 Formaciones geológicas de la DHM.

3.4 Áreas Protegidas

La DHM tiene áreas que por su naturaleza son protegidas, la mayor parte de ellas perteneciente a bosques de diversos tipos. Entre estas áreas encontramos un Humedal RAMSAR “La Segua”, el mismo inicialmente formó parte del estuario del río Chone con abundantes pantanos y manglares.

El humedal nació con la separación del estuario, a causa de la deforestación de la parte media de la cuenca del río Chone y el acarreo de abundante sedimento (Figura 3-6). La Segua tiene una extensión de 1.742 ha, y fue declarado el año 2000 área protegida para la conservación de la naturaleza y la investigación debido al gran número de especies de aves y peces existentes en él.

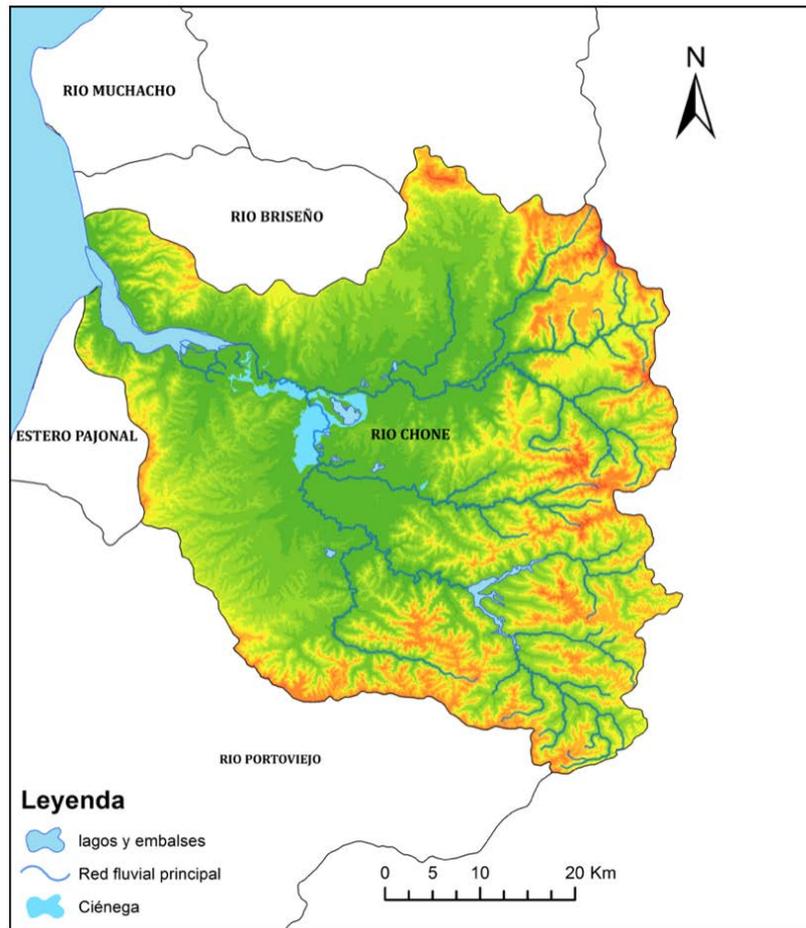


Figura 3-6 Cuenca del río Chone en la DHM, ubicación del humedal RAMSAR “La Segua”.

3.5 Infraestructura Hidráulica

Las instituciones encargadas de la gestión del recurso optaron por la construcción de embalses (3) con fines de regulación de caudales en el invierno y almacenamiento para riego en el verano, y disponer constantemente de los recursos hídricos. Además, optan por la construcción de sistemas de riego (2) para satisfacer las demandas agrícolas, y de trasvases (3) para suplir demandas en períodos secos.

En el año 1971 se construyó en la cabecera de la cuenca del río Portoviejo el embalse “Poza Honda” con una capacidad de almacenamiento de 100 hm³ para el abastecimiento urbano y agrícola. Mientras que en la cabecera de la subcuenca del río Carrizal (cuenca del río Chone) se construyó en 1995 el embalse “La Esperanza” con una capacidad de 450 hm³ para la regulación de avenidas, abastecimiento de agua potable y agua para riego.

En el año 2017 fue construido el embalse “Río Grande”, con una capacidad de 113 hm³, almacena el agua de las cabeceras de la cuenca del río Chone, se ubica en la subcuenca del río grande al margen derecho de la cuenca del río Chone.

El sistema de riego “Poza Honda - río Chico” se construyó en el año 1971 para irrigar 12.135 hectáreas. Este sistema riega la zona media y baja de la cuenca del río Portoviejo mediante canales abiertos de hormigón, primarios y secundarios.

En el año 2005 se construyó el sistema de riego “Carrizal - Chone” para irrigar 13.000 hectáreas. Es un sistema presurizado que se divide en dos etapas. La primera etapa permite dotar de agua a 7.250 ha, mientras que la segunda abastece a 5.750 ha. En los actuales momentos el sistema solo opera la primera etapa.

El sistema de trasvase está constituido en tres tramos: 1) Inicia en el embalse Daule - Peripa perteneciente a la Demarcación hidrográfica del Guayas y termina en el embalse La Esperanza (Trasvase gravitacional-túnel). 2) Inicia en el embalse La Esperanza y termina en el embalse Poza Honda (Trasvase mediante sistema de bombeo, sifón y túnel). 3) Inicia en el embalse Poza Honda y termina en el río Mancha Grande ubicado en la cabecera de la subcuenca del río Chico. (Trasvase gravitacional-túnel).

3.6 Clima

La Demarcación Hidrográfica de Manabí, tiene tres tipos de climas tropicales de oeste a este: clima megatérmico semiárido, clima megatérmico seco/subhúmedo y clima megatérmico húmedo (Pourrut, 1983; Ríos y Josefina, 2016).

Para mayor comprensión se divide la DHM en tres zonas, definidas según su ubicación geográfica: Zona Norte (ZN), Zona Centro (ZC) y Zona Sur (ZS), con un área de 3.265 km², 5.331 km² y 2.702 km², respectivamente. En la Zona Norte y Zona Centro, los climas predominantes son el clima megatérmico seco/subhúmedo y el clima megatérmico húmedo, mientras que la Zona Sur está dominada por un clima megatérmico semiárido. La Zona Centro es la región más representativa porque tiene las principales infraestructuras hidrológicas de la demarcación, y porque tiene las dos cuencas más grandes: la cuenca del río Chone y la cuenca del río Portoviejo.

La precipitación y temperatura varían temporal y espacialmente de oeste a este de menos a más (Figura 3-7). La DHM tiene dos estaciones definidas: la estación húmeda de diciembre a mayo, con precipitaciones de 196 mm/mes y temperaturas mensuales los 26,3°C. La estación seca de junio a noviembre, con niveles de precipitación de 19 mm/mes y una temperatura de 24,8 °C. Los meses de transición son diciembre y junio entre la estación de invierno y verano, respectivamente (Figura 3-8 y Figura 3-9).

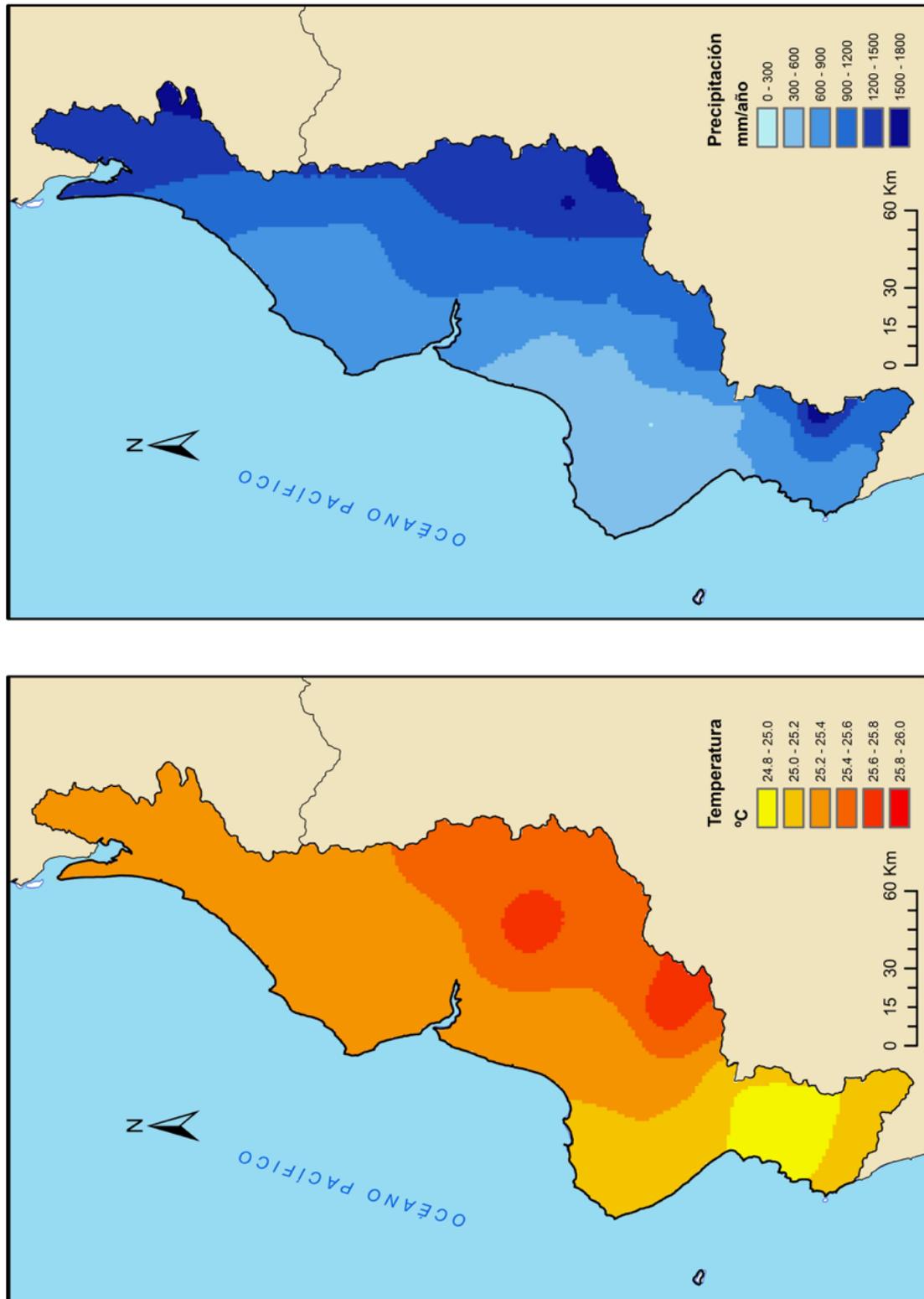


Figura 3-7 Distribución espacial de la temperatura y precipitación anual en la DHM.

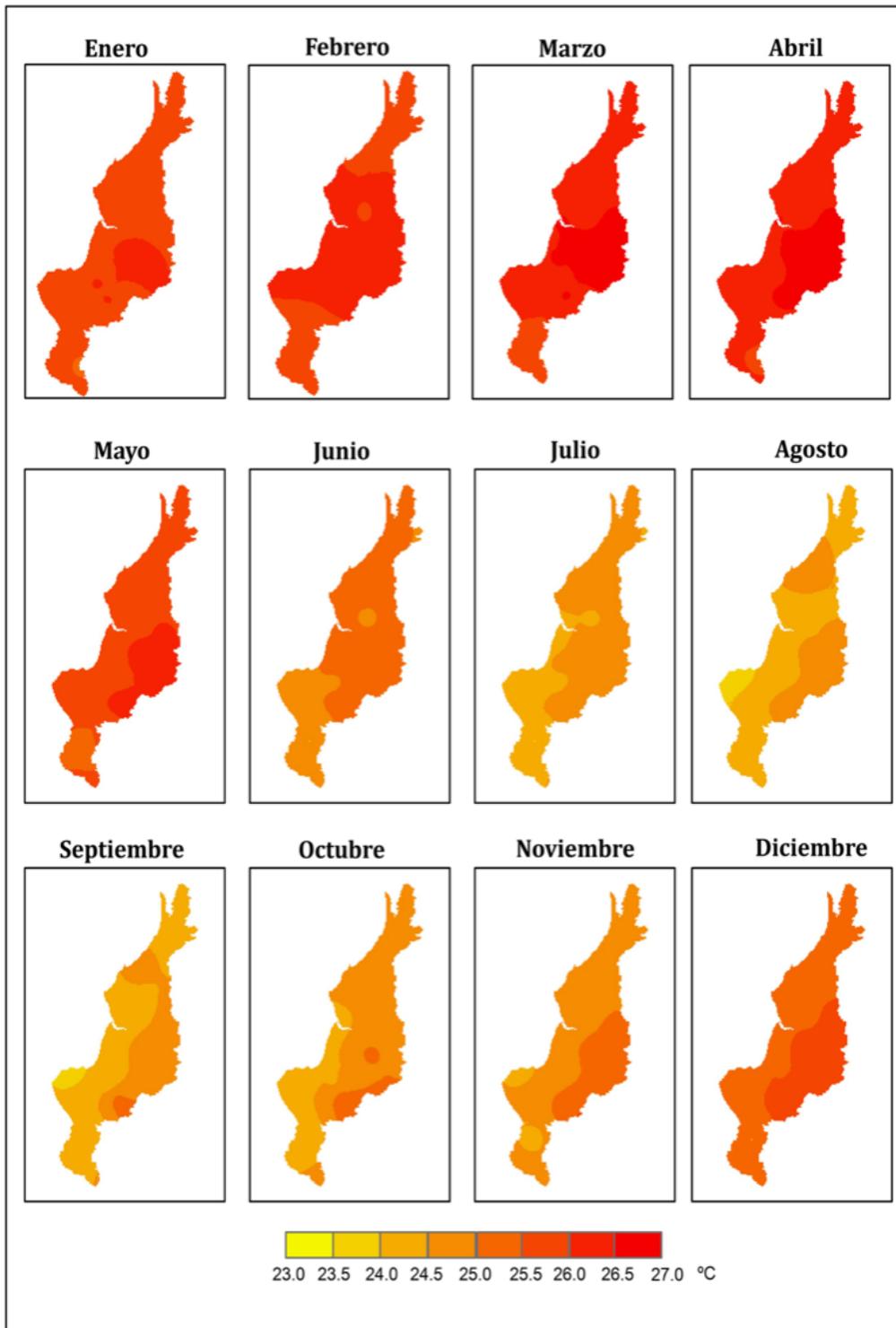


Figura 3-8 Temperatura media mensual distribuida, calculada respecto de las observaciones en la DHM desde 1964 - 2012.

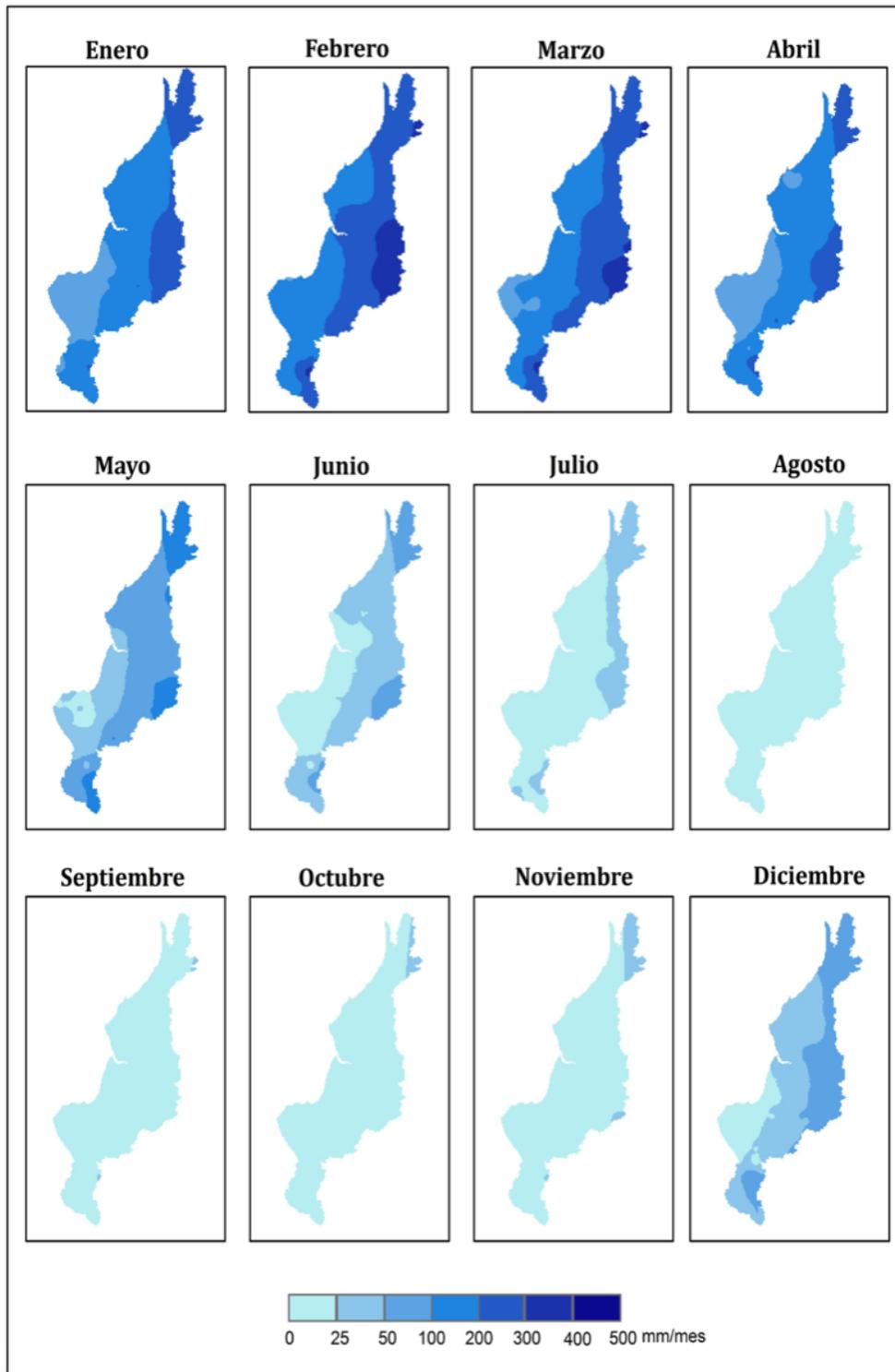


Figura 3-9 Precipitación media mensual distribuida, calculada respecto de las observaciones en la DHM desde 1964 - 2012.

La demarcación está directamente influenciada por las dos fases del evento ENSO (Vargas et al., 2006; Vicente-Serrano et al., 2016; Zambrano Mera et al., 2018). En años “El Niño” se puede registrar el doble de la precipitación normal, y el período de lluvias puede extenderse hasta la estación seca.

De acuerdo a los valores del índice de humedad de la UNESCO, la mayor parte de la demarcación se encuentra en estado subhúmedo a húmedo, exceptuando la zona suroeste que presenta condiciones semiáridas (Figura 3-10).

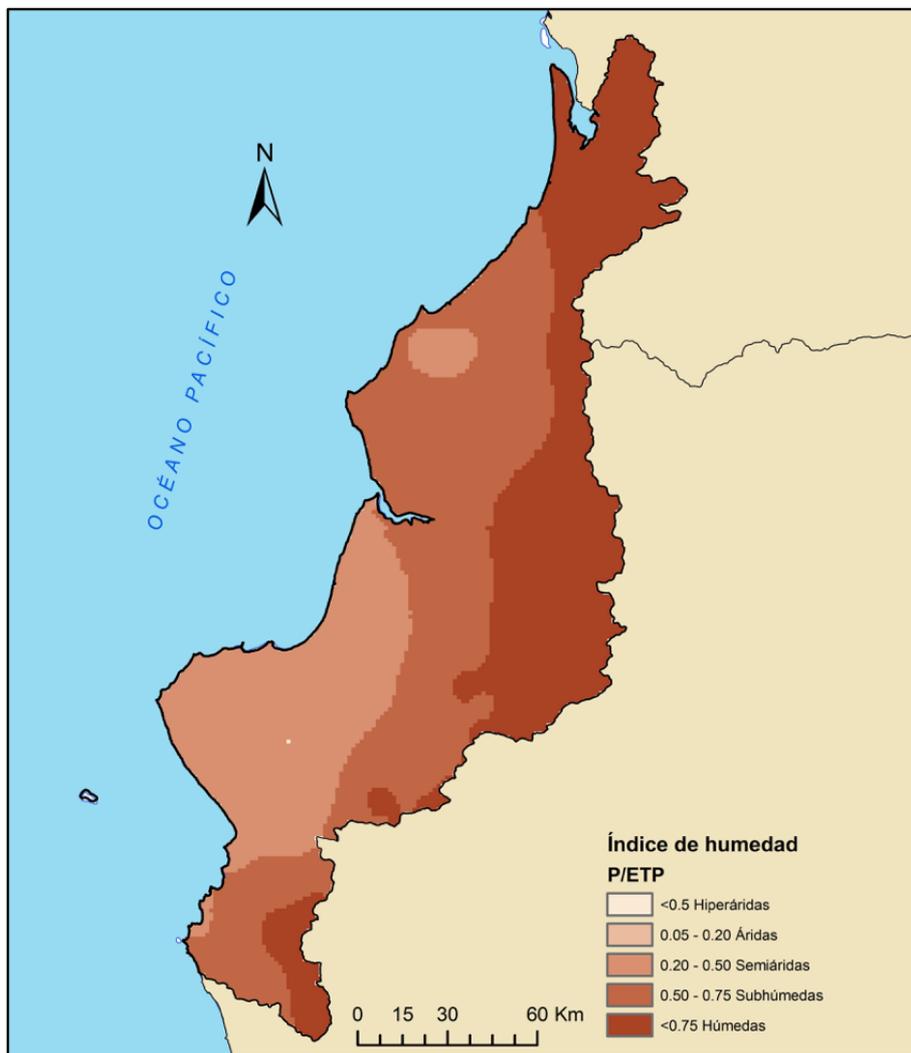


Figura 3-10 Mapa de Índice de Humedad de la UNESCO para la DHM.

3.7 Estaciones de Registros Climáticos

En la provincia de Manabí existen 88 estaciones que registran datos climáticos, de las cuales 68 se encuentran ubicadas en la Demarcación Hidrográfica de Manabí. Éstas se dividen en 27 climatológicas convencionales (datos de temperatura, precipitación, velocidad del viento, etc.) y 41 pluviométricas. El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), es la institución encargada de monitorear el clima en Ecuador. El INAMHI recoge el registro diario y mensual de las estaciones antes mencionadas (Figura 3-11).

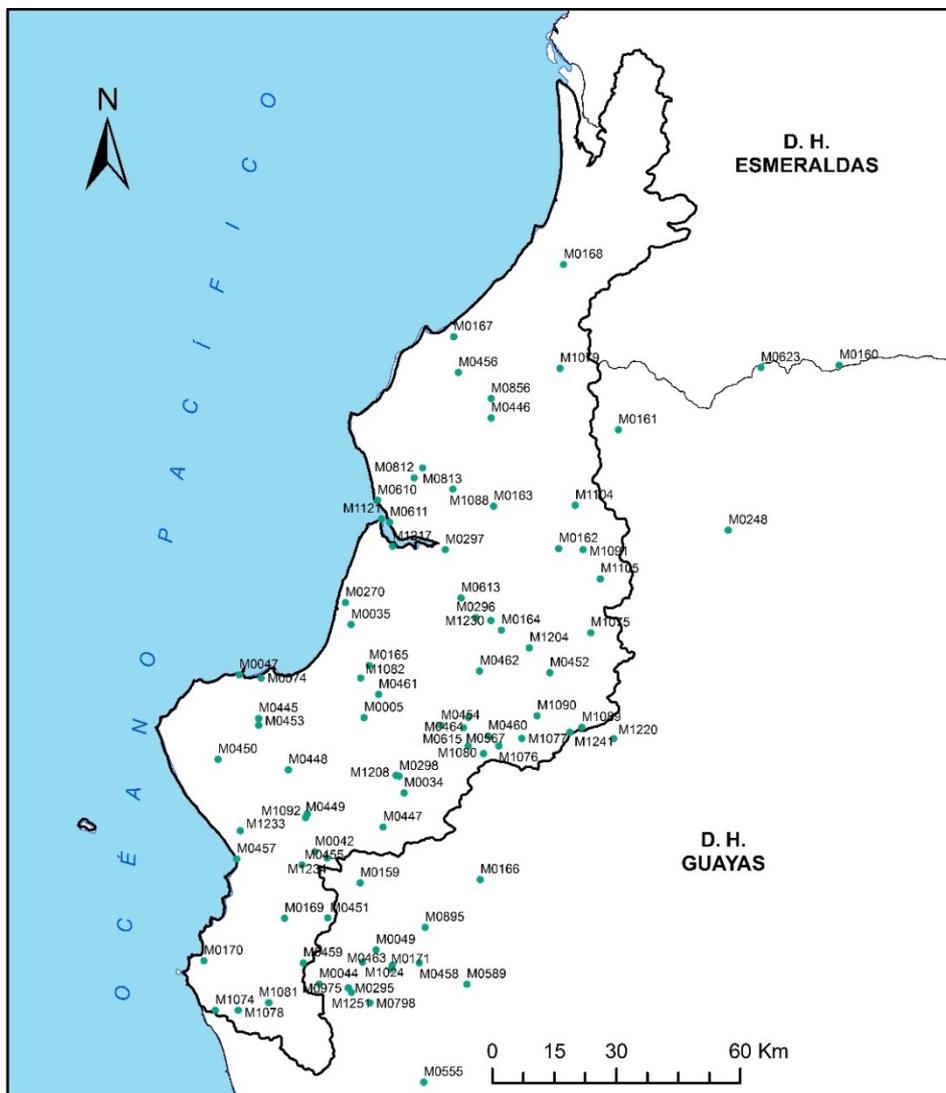


Figura 3-11 Estaciones pluviométricas existentes en la provincia de Manabí.

4.- METODOLOGÍA

La determinación de medidas de gestión de sequías para la Demarcación Hidrográfica de Manabí comprende la caracterización de las sequías en el área de estudio para entender el inicio, desarrollo y el fin del evento, la identificación del impacto económico que tiene la sequía en la demarcación, la correlación entre índices climáticos e índices de sequía para establecer un sistema de predicción de sequía basado en Oscilación del Sur-El Niño (ENSO) e índices de sequías, y se han establecido medidas de gestión de sequías que permitan a los tomadores de decisiones prepararse al evento.

Para el desarrollo de la investigación es necesario recolectar datos climáticos de precipitación y temperatura proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI), datos hidrológicos suministrados por la Secretaría del Agua (SENAGUA), datos de producción agrícola otorgados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), y datos económicos provistos por el Banco Central del Ecuador (BCE). Los datos históricos en la Demarcación hidrográfica de Manabí (DHM) comprenden el período 1964-2012.

En este estudio, utilizamos las series históricas de precipitación y temperatura para obtener la serie histórica de índices de sequía SPI y PDSI e identificar la ocurrencia de sequía en la DHM. Los resultados de los índices se validaron con los comunicados de prensa históricos disponibles en el Sistema de Inventario de Desastres (DesInventar en español). Además se realizó un análisis del comportamiento histórico de la precipitación, las aportaciones y volúmenes del embalse La Esperanza, durante los años de sequía. Asimismo, se realizó el análisis de los impactos de la sequía en la agricultura y la ganadería en Manabí.

Con los valores de SPI a múltiples escalas y los valores PDSI, fue posible determinar la correlación entre la ocurrencia de la sequía y la Oscilación del Sur-El Niño. Para detectar la influencia de los eventos ENSO en los patrones de precipitación en la DHM, utilizamos la serie de datos de temperatura de la superficie del mar (SST) para las regiones de Niño desde enero de 1982 hasta septiembre de 2012; la serie de datos del Índice de Niño Oceánico (ONI) y el Índice de Oscilación del Sur, de octubre

de 1964 a septiembre de 2012. Los datos se obtuvieron de la página web de los Centros Nacionales de Información Ambiental (NCEI) y de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), <http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso>.

Finalmente se determinan medidas de prevención, mitigación y respuesta para afrontar la sequía mediante el desarrollo de un sistema de predicción basado en índices climáticos e índices de sequías y la definición de medidas estratégicas, tácticas y de emergencia. Las medidas se aplicarán de acuerdo con la etapa del evento, las cuales están definidas en este estudio en base a los valores de intensidad de sequía conforme al Índice de Precipitación Estandarizado y el Índice de Severidad de Sequía de Palmer.

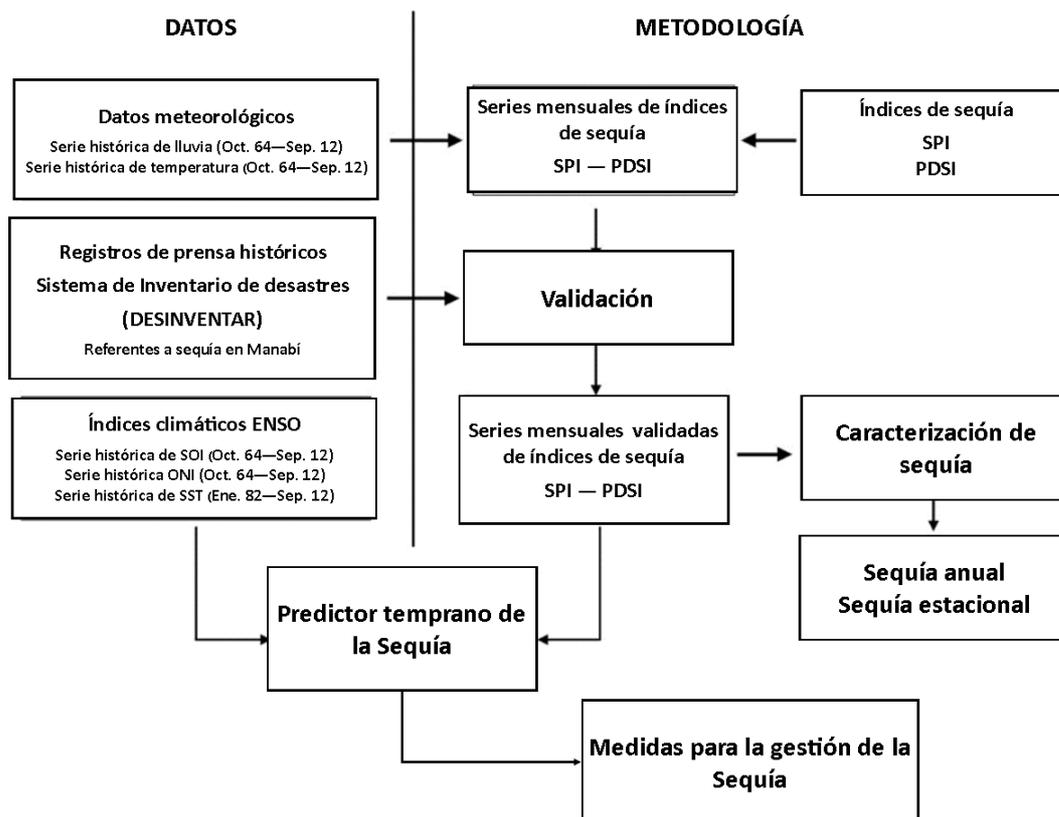


Figura 4-1 Metodología para la detección temprana de la Sequía y medidas para la gestión de las sequías

4.1 Caracterización de las sequías en la DHM

Para la caracterización de las sequías se utilizó las series de datos mensuales de precipitación y temperatura obtenidas de 89 estaciones distribuidas a lo largo de la provincia de Manabí-Ecuador. El 25% de los datos correspondió a una recopilación durante un período de más de 30 años. Una vez identificada la cantidad de datos de registro de las variables se decidió que el análisis comprendería el período octubre/1964 – septiembre/2012. Solo se utilizó series de años completos, es decir, que tengan 12 meses de registro. Además, no se consideró los períodos donde se produjo el fenómeno de El Niño. Estas series se insertaron en el modelo distribuido PATRICAL (Pérez-Martín et al., 2014) con el objetivo de obtener información climática espacial de la demarcación hidrográfica para su uso de acuerdo con el área de interés. La fuente de los datos fue el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), un instituto de investigación gubernamental afiliado a la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos de Ecuador, que se ocupa del monitoreo y control general del clima.

Para cuantificar las sequías se ha aplicado el Índice de Precipitación Estandarizado (Standardized Precipitation Index, SPI) (McKee, Doesken et al. 1993), y el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (Palmer Drought Severity Index, PDSI) (Palmer, 1965). Los resultados de los índices se validaron con los comunicados de prensa históricos disponibles en el Sistema de Inventario de Desastres (DesInventar).

4.1.1 Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

Se utilizó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) para estimar el déficit de precipitación en múltiples escalas. El cálculo del SPI, para un lugar determinado, se basó en un registro de precipitación a largo plazo para un período específico. Este registro a largo plazo se ajustó a una distribución de probabilidad, que luego se transformó en una distribución normal, de modo que los valores promedio de SPI para una ubicación y tiempo determinados se vuelven cero (Edwards & McKee, 1997). Para este estudio, calculamos SPI para 3, 6, 12 y 24 meses a través de la ecuación propuesta por McKee et al., (1993), para la zona norte, centro y sur de la DHM.

Considerando la magnitud que representa realizar cálculos del índice (4 escalas de tiempo en 3 áreas de estudio), se decidió usar el software SPI_SL_6, creado por el Centro Nacional de Mitigación de la Sequía de la Universidad de Nebraska - Lincoln. Previamente se calculó el SPI-1 usando la ecuación propuesta por McKee et al., (1993) para correlacionarlo con el SPI-1 obtenido del software, ya que éste ajusta la serie de precipitación histórica a la distribución gamma. Se obtuvo una alta correlación positiva de 0,95.

4.1.2 Índice de Severidad de Sequía de Palmer

El índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI) se utilizó para medir el estado del suministro de humedad. Se calculó a partir del modelo de balance hídrico, teniendo en cuenta más que el déficit de precipitación en un lugar determinado (Palmer, 1965). Palmer definió los valores Climatológicamente apropiados para las condiciones existentes (CAFEC) para normalizar los cálculos de modo que, dimensionalmente, el índice se pueda comparar en el tiempo y el espacio. En los cálculos del balance hídrico, estimamos la evapotranspiración potencial, la recarga, la escorrentía y los coeficientes para cada parámetro, que se obtuvieron a partir de un cociente entre los valores reales y potenciales.

Para la estimación PDSI, Palmer, 1965 presenta dos formulaciones para la estimación de escorrentía potencial (PRO). Palmer define PRO como la capacidad de agua disponible (AWC) menos la recarga potencial (PR) (PDSIa). Sin embargo, reconoció que este enfoque no es una forma particularmente elegante de manejar el problema, por lo que redefinió PRO como tres veces la precipitación normal durante un mes (3P) menos el PR (PDSIb). Más tarde mencionó que, aunque este seguirá siendo un enfoque arbitrario, al menos reconoció que P y AWC no son conceptos relacionados.

Para caracterizar las sequías en la DHM, se utilizó la formulación PDSIb para la estimación de PRO porque el primer enfoque PDSIa subestima el número de sequías en la demarcación. Para los cálculos de PDSI, utilizamos la versión sugerida para el Modelo Hidrológico Agregado de Témez (Pérez-Martín et al., 2015; Témez, 1977) para la cuenca del río Chone (subcuenca del río Carrizal) y el río Portoviejo

(cabeceras del río Portoviejo y subcuenca del río Chico). El modelo fue calibrado y validado obteniendo un Bias de 4% y un coeficiente de Nash de 0,75, calificado como una buena simulación de acuerdo con (Moriasi et al., 2007). El índice se calculó a escala mensual desde octubre/64 hasta septiembre/12.

4.2 Análisis de las sequías históricas en la DHM

El análisis de las sequías ocurridas en la Demarcación Hidrográfica de Manabí (DHM) se realizó en base a los datos de precipitación, aportaciones y volúmenes de embalse; registrados durante el período de estudio octubre/1964 - septiembre/2012. Los datos de volúmenes se establecieron mediante la simulación histórica del nivel del agua en el embalse La Esperanza del sistema de explotación del río Carrizal en la cuenca del río Chone. Se consideró una demanda urbana de 12 hm³, agrícola de 200 hm³ y ecológica de 20 hm³. Los datos de las demandas corresponden a los datos de diseño del embalse La Esperanza.

4.3 Impacto económico de las sequías en la DHM

El análisis de los impactos de la sequía en la agricultura y la ganadería en Manabí se realiza en base a los datos disponibles en el Banco Central del Ecuador (BCE), el Ministerio de Agricultura y Ganadería - Sistema de Información Pública Agrícola (MAG - SIPA), y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC).

El análisis de pérdidas en el sector agrícola incluye la superficie cultivada (tierras de cultivo cosechadas) y los ingresos brutos (el valor total de mercado de los productos agrícolas) de los cultivos con mayor producción (arroz, maíz, banano, café, cacao, plátano), durante las sequías presentadas entre 2004 y 2012. El valor bruto de los productos agrícolas se define como las toneladas producidas multiplicadas por su valor de mercado por unidad en un año determinado. Todos los valores aquí se informan de acuerdo con los precios internacionales en dólares de 2011 publicados por el Instituto Nacional de Estadística y Censos. Los ingresos brutos no reflejan los ingresos netos (ganancias o ingresos agrícolas) y no incluyen los costos de producción.

4.4 Sistema de predicción de sequía basado en ENSO e índices de sequía

Con el objetivo de establecer un sistema de predicción de sequía, basado en ENSO e indicadores de sequía, se correlacionó el Índice de Oscilación del Sur (SOI), el Índice de Niño Oceánico (ONI), la Temperatura de la Superficie del Mar (SST) y los índices de sequía SPI y PDSI para estimar la relación entre los eventos ENSO y la ocurrencia de sequía en la DHM.

Para comprender el desarrollo de los eventos El Niño/La Niña en el ciclo ENSO a lo largo del Océano Pacífico ecuatorial, se han definido 4 regiones: Niño 4 (150° O-160° E y 5° N-5° S); Niño 3.4 (120° O-170° O y 5° N-5° S); Niño 3 (90° O-150° O y 5° N-5° S) y Niño 1+2 (90° O-80° O y 0° -10° S) abarcando las costas de Perú y Ecuador. Para el análisis, se utilizó la correlación r y la correlación cruzada de Pearson (Díaz y Manuel, 2014). El análisis de correlación consideró el SPI (3, 6, 12 meses), el PDSI mensual y los índices climáticos ONI, SOI y SST (Niño 4, 3.4, 3 y 1+2) para las zonas norte, centro y sur de la DHM desde el año 1982, debido a la disponibilidad de datos.

4.5 Medidas de gestión de sequías para la DHM

Se determinan acciones para afrontar la sequía antes de que ocurra (medidas estratégicas), cuando está iniciando (medidas tácticas), o cuando ya está presente (medidas de emergencia). Para establecer las etapas, los indicadores y los umbrales de la sequía, se toma como referencia los estándares internacionales y los Lineamientos publicados por la Comisión Nacional del Agua - México (CONAGUA) en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 22 de noviembre de 2012.

Las etapas de la sequía son: Condición anormal seca (E0), sequía moderada (E1), sequía severa (E2), sequía extrema (E3) y sequía excepcional (E4). Los rangos de intensidad del evento se basan en valores de SPI y PDSI: Cuando los valores de los índices están continuamente por debajo de -0.5, se considera el inicio de un evento de sequía, en consecuencia, el evento terminará cuando los índices alcancen valores superiores a -0.5.

5.- RESULTADOS

5.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS SEQUÍAS DE LA DHM

5.1.1 Identificación de ciclos secos

Para el análisis se dividió la DHM en tres zonas (Figura 5-1), nombradas según su ubicación geográfica: Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur, con un área de 3.265 km², 5.331 km² y 2.702 km², respectivamente. En la Zona Norte y Zona Centro, los climas predominantes son el clima megatérmico seco/subhúmedo y el clima megatérmico húmedo, mientras que la Zona Sur está dominado por un clima megatérmico semiárido. La Zona Centro es la región más representativa porque tiene las principales infraestructuras de la demarcación para la gestión de los recursos hídricos y porque tiene las dos cuencas más grandes: la cuenca del río Chone y la cuenca del río Portoviejo.

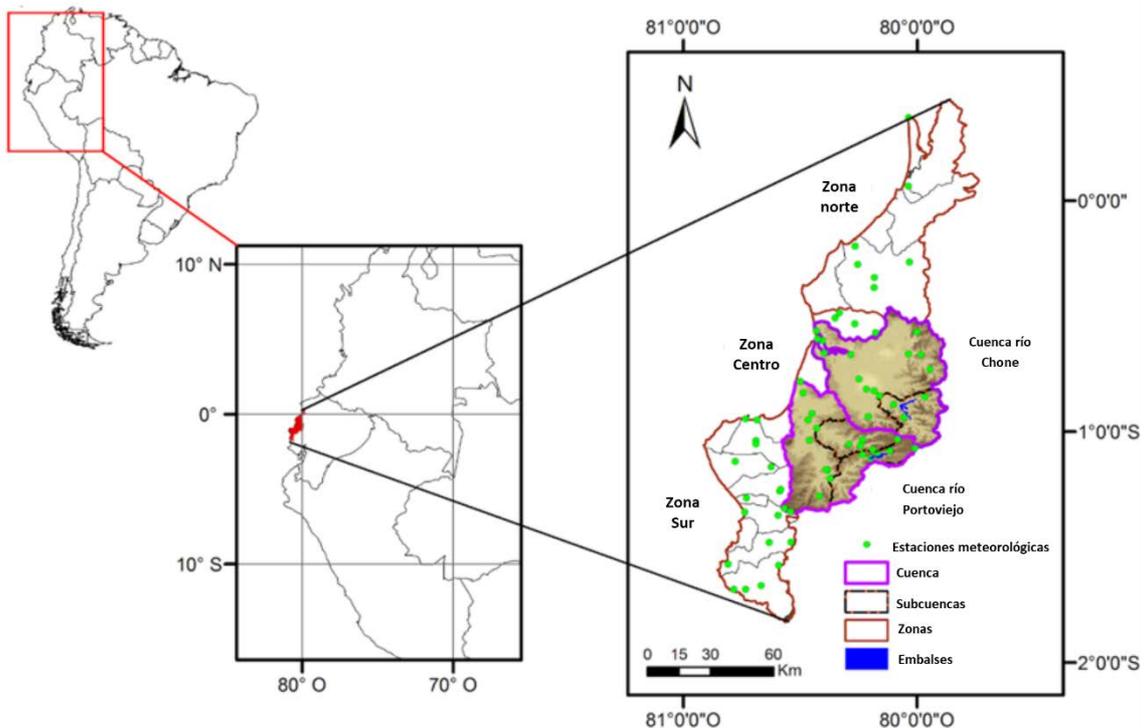


Figura 5-1 División de la Demarcación Hidrográfica de Manabí por zonas para análisis con índices de sequía. (Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur).

La Figura 5-2a muestra que entre 1964 y 2012, la precipitación promedio anual en la DHM fue 995 mm. El nivel de precipitación anual más alto se registró en 1982/83, con 2.855 mm y 1997/98 con 3.352 mm, como consecuencia del evento Oscilación del Sur-El Niño (en inglés ENSO) durante la fase de El Niño (Bell et al., 1999), (D'Ercole y Trujillo, 2003). El nivel de precipitación más bajo se registró en 1967/68

con 353 mm. En un año normal, la precipitación media anual alcanza los 903 mm. La DHM tiene dos estaciones (Figura 5-2b): húmedo (diciembre a mayo) y seco (junio a noviembre), común de un clima tropical. Las estaciones húmedas y secas tienen precipitaciones medias mensuales de 196 mm y 19 mm, respectivamente.

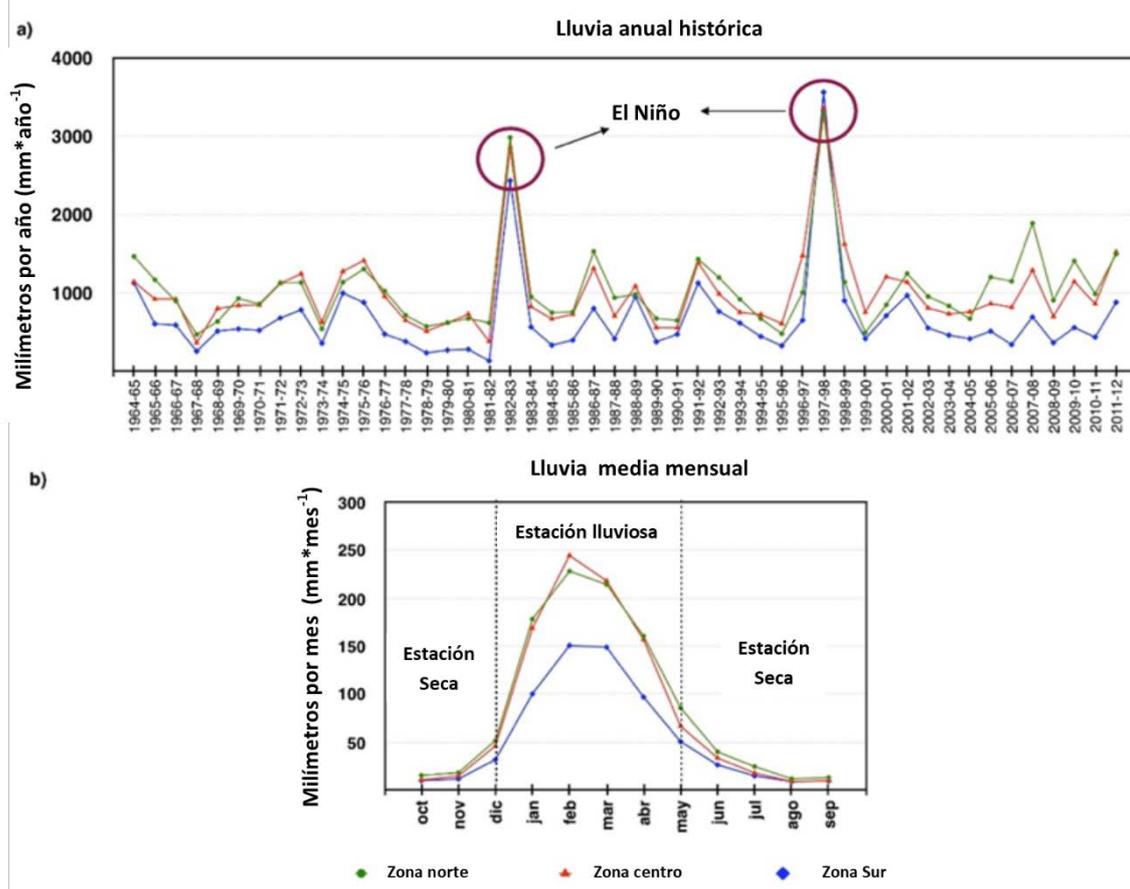


Figura 5-2 a) Precipitaciones históricas anuales que enfatizan los eventos de ENOS durante la fase de El Niño, 1982-83 y 1997-98. b) Precipitaciones promedio mensuales en las zonas norte, centro y sur de la DHM.

Los ciclos secos fueron identificados en la Zona Norte (2.000), Centro (1.000) y Sur (3.000) de la demarcación. Se consideran ciclos secos aquellos que registran una precipitación por debajo de su mediana anual. Se calculó la mediana al tener una serie sesgada por la presencia del fenómeno de El Niño (Figura 5-3, Figura 5-4 y Figura 5-5).

En la Zona Norte se reflejan 10 ciclos secos, iniciando en el período 1966/67-70/71 y culminando en 2008/09 con una duración de 1 y 5 meses. En la Zona Centro, se registró 11 períodos secos, siendo el primer período 1967/68-68/69, y el último

período 2008/09. La duración de los ciclos es de 1-3 meses, exceptuando el período 1977/78 (5 meses). En la Zona Sur al igual que en la zona 1.000, el primer ciclo seco se registró en el período 1967/68-68/69 aunque el último evento seco se registró en el período 2010-2011. En la Tabla 5, Tabla 6 y Tabla 7 se muestra un resumen de los ciclos secos y su duración en la DHM.

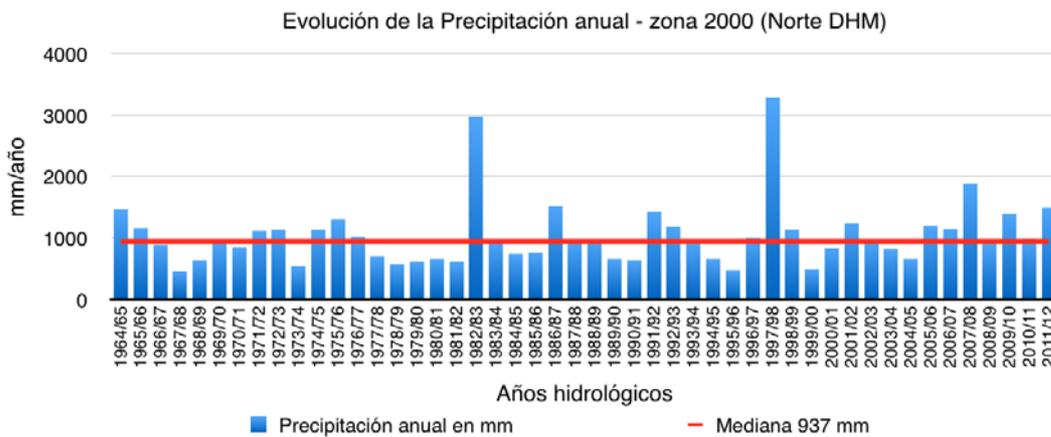


Figura 5-3 Evolución de la precipitación anual en la Zona Norte de la DHM.

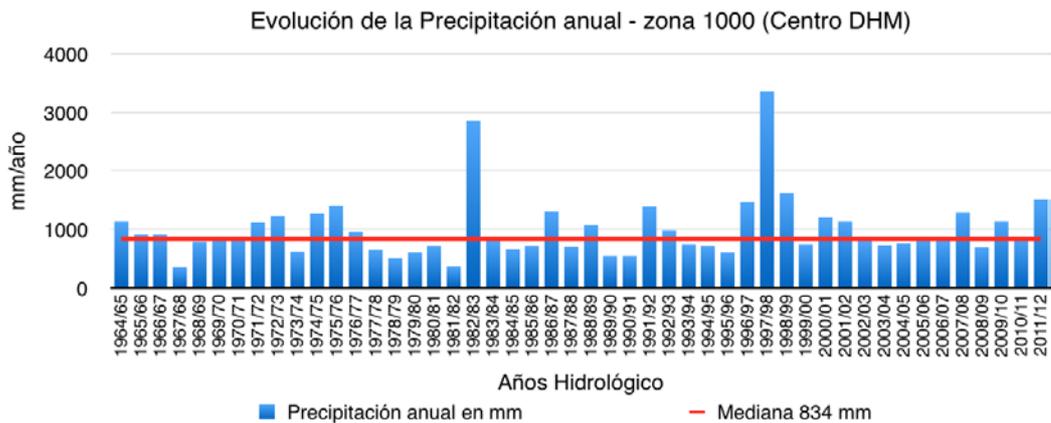


Figura 5-4 Evolución de la precipitación anual en la Zona Centro de la DHM.

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

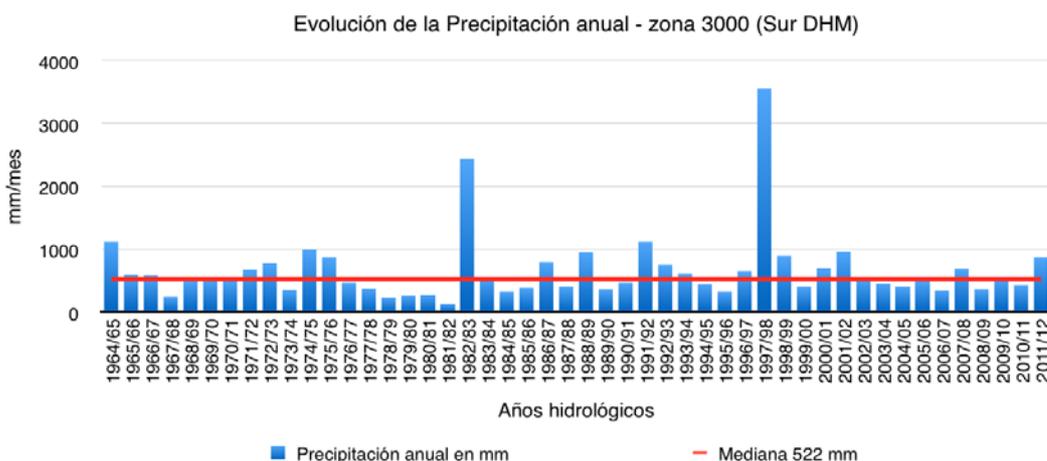


Figura 5-5 Evolución de la precipitación anual en la Zona Sur de la DHM.

ZONA NORTE		
CICLO	DURACIÓN (AÑOS)	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)
1966/67 hasta 70/71	5	749
1973/74	1	533
1977/78 hasta 81/82	5	631
1983/84 hasta 85/86	3	811
1987/88	1	931
1989/90 hasta 90/91	2	652
1993/94 hasta 95/96	3	681
1999/00 hasta 00/01	2	661
2002/03 hasta 04/05	3	812
2008 hasta 2009	1	898

Tabla 5 Ciclos secos y su duración en la Zona Norte de la DHM.

ZONA CENTRO		
CICLO	DURACIÓN (AÑOS)	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)
1967/68 hasta 69/70	3	659
1973/74	1	618
1977/78 hasta 81/82	5	568
1983/84 hasta 85/86	3	732
1987/88	1	698
1989/90 hasta 90/91	2	548
1993/94 hasta 95/96	3	686
1999/00	1	744
2002/03 hasta 04/05	3	758
2006/07	1	809
2008/09	1	691

Tabla 6 Ciclos secos y su duración en la Zona Centro de la DHM.

ZONA SUR		
CICLO	DURACIÓN (AÑOS)	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)
1967/68 hasta 68/69	2	374
1970/71	1	513
1973/74	1	348
1976/77 hasta 81/82	6	286
1984/85 hasta 85/86	2	355
1987/88	1	405
1989/90 hasta 90/91	2	415
1994/95 hasta 95/96	2	375
1999/00	1	406
2003/04 hasta 06/07	4	422
2008/09	1	355
2010/11	1	426

Tabla 7 Ciclos secos y su duración en la Zona Sur de la DHM.

5.1.2 Aplicación de índices

Los eventos de sequía en la DHM han sido determinados de acuerdo al sistema de clasificación de McKee et al., (1993) y Palmer (1995), para el Índice de Precipitación Estandarizado y el Índice de Severidad de Sequía de Palmer, respectivamente. Los criterios de clasificación de sequía se muestran en la Tabla 8.

Classification of drought			
Categoría de sequía SPI	Valor de SPI (McKee et al., 1993)	Categoría de sequía PDSI	Valor de PDSI (W. C. Palmer, 1965)
Extremadamente húmedo	2,00 o más	Extremadamente húmedo	4,00 o más
Muy húmedo	1,50 to 1,99	Muy húmedo	3,00 to 3,99
Moderadamente húmedo	1,00 to 1,49	Moderadamente húmedo	2,00 to 2,99
		Ligeramente húmedo	1,00 to 1,99
		Húmedo incipiente	0,50 to 0,99
Normal	-0,99 to 0,99	Normal	0,49 to -0,49
		Sequía incipiente	-0,50 to -0,99
		Sequía reducida	-1,00 to -1,99
Moderadamente seco	-1,00 to -1,49	Sequía moderada	-2,00 to -2,99
Severamente seco	-1,50 to -1,99	Sequía severa	-3,00 to -3,99
Extremadamente seco	-2,00 o menos	Sequía extrema	-4,00 o menos

Tabla 8 Criterios de clasificación de sequía para SPI (McKee et al., 1993) y PDSI (Palmer, 1965).

5.1.3 Análisis de resultados de índices de sequía aplicados

5.1.3.1 Índice de Precipitación Estandarizado a corto plazo, SPI 3 meses

En el período 1966/1968 se presentó una sequía que de carácter moderada sin embargo alcanzó condiciones de sequía extrema en 1967 y 1968. La sequía extrema solo se presentó en las Zonas Norte y Centro.

En 1970 el evento aparece, pero se recupera rápidamente. En el año 1973 se vuelve a presentar una sequía moderada, y finaliza en 1974. En el año 1978 se presenta una sequía moderada que se extiende hasta el año 1981 llegando a ser extrema. La sequía extrema solo se presentó en las Zona Centro. En el período 1982-1983 se manifiesta el fenómeno “El Niño”, un evento históricamente evidenciado en Ecuador por el incremento de la temperatura del océano y un aumento de la precipitación. En esta situación opuesta a la sequía, los valores de SPI son $>2,00$; es decir condiciones extremadamente húmedas.

En la Figura 5-6 se muestra el cálculo del SP1_3 para las Zonas Norte (2.000), Centro (1.000) y Sur (3.000) de la demarcación.

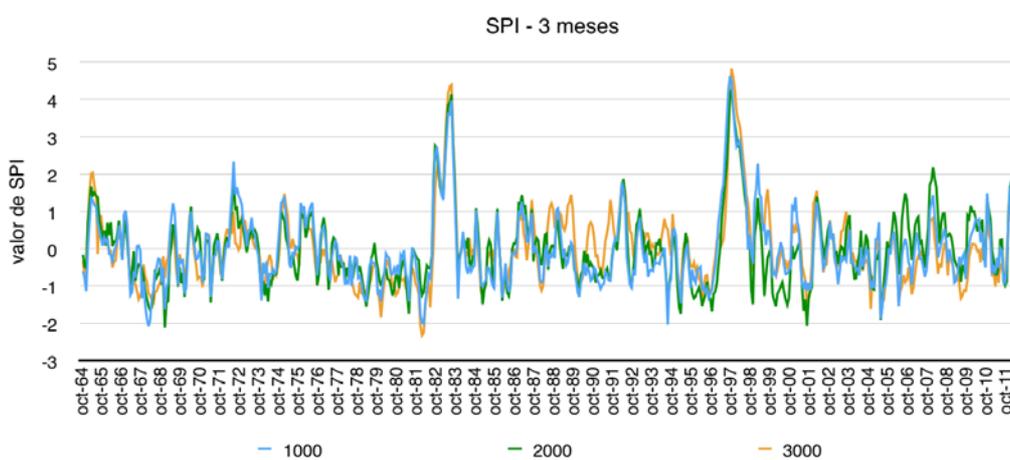


Figura 5-6 SPI de 3 meses para las Zonas Norte, Centro y Sur de la DHM.

5.1.3.2 Índice de Precipitación Estandarizado a mediano plazo, SPI 6 meses

En el año 1966 el SPI₆ refleja el inicio de una sequía que llegó a ser severa extendiéndose hasta el año 1968 en las Zonas Norte y Centro. En el período 1969/1971 la precipitación aumenta y disminuye constantemente por encima y

debajo de la media. En el año 1973 se presentó una sequía moderada en las Zonas Norte y Centro. En el período 1978/1982, se manifiesta una sequía que llega a ser extrema en el año 1981 en las Zonas Centro y Sur. En el período 1982/1983 se refleja el fenómeno “El Niño”. En los años 1984 y 1985; y en el período 1989/1991, se presenta una sequía moderada.

Entre los años 1994 y 1996, se manifiesta un evento de sequía que se recupera con la presencia del fenómeno “El Niño” (1997/1998). En el año 1999 se presentó una sequía en la Zona Norte que dura hasta el año 2001. En el año 2004 el SPI refleja una sequía en las Zonas Centro y Sur que se extendió hasta el año 2007. En el 2009 se presentó un evento seco únicamente en la Zona Sur.

En la Figura 5-7 se muestra el cálculo del SP1_6 para las Zonas Norte (2.000), Centro (1.000) y Sur (3.000) de la demarcación.

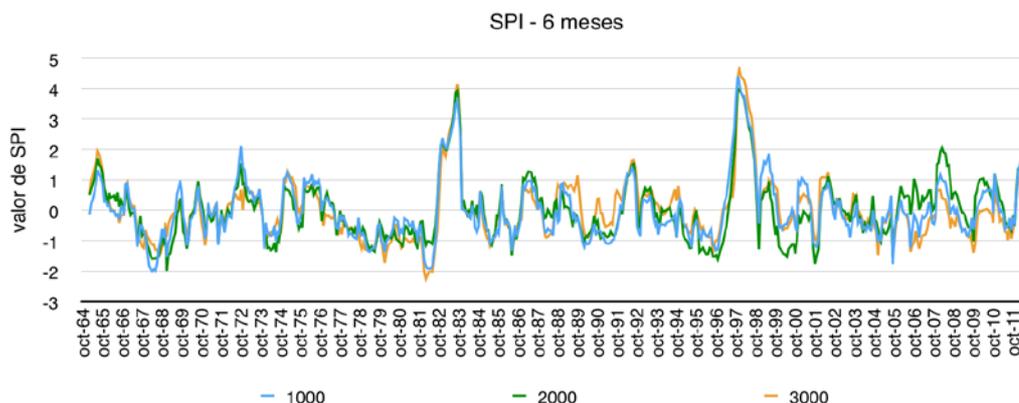


Figura 5-7 SPI de 6 meses para las Zonas Norte, Centro y Sur de la DHM.

5.1.3.3 Índice de Precipitación Estandarizado a largo plazo, SPI 12 meses

En el período 1967/1968 el índice registra un evento de sequía en las Zonas Norte y Centro, que alcanzó condiciones de severidad. En el período 1973/1974 se manifiesta la sequía únicamente en la Zona Norte. En el año 1978 se presenta un nuevo evento de sequía en las Zonas Centro y Sur, éste se extiende hasta el año 1982, llegando a ser severa. En el año 1986 se observa un episodio de sequía en las zonas Norte y Centro. En el período 1989/1991 el evento se vuelve a manifestar, aunque

solo lo hace en la zona Centro. En el año 1995 se presenta la sequía en las Zonas Norte y Centro. El evento perduró hasta el año 1996 en la Zona Norte.

Posterior al evento “El Niño” (1997-1998) se produjo una sequía severa en la Zona Norte, que se mantuvo hasta el año 2000. En el 2004 el SPI₁₂ refleja evento de sequía únicamente en la Zona Centro. En el 2006 el evento seco se manifestó en la Zona Sur, siendo éste el último evento de sequía que refleja el SPI₁₂.

En la Figura 5-8 se muestra el cálculo del SP1₁₂ para las Zonas Norte (2.000), Centro (1.000) y Sur (3.000) de la demarcación.

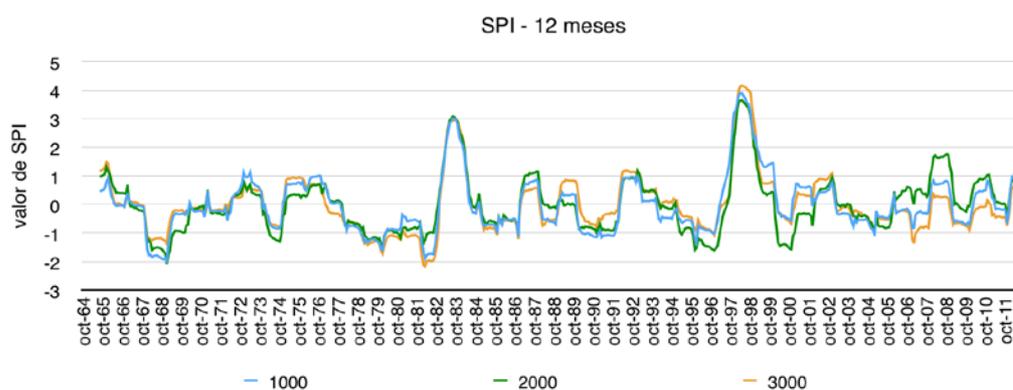


Figura 5-8 SPI de 12 meses para las Zonas Norte, Centro y Sur de la DHM.

5.1.3.4 Índice de Precipitación Estandarizado a largo plazo, SPI 24 meses

En el período 1967/1969, el SPI₂₄ refleja un evento de sequía en la Zona Centro, que llega a ser extrema ($SPI < -2$) en el año 1968. En el período 1978/1982 se manifiesta una sequía severa. En el año 1986 y en el período 1990/1991 se presentó una sequía moderada. En el período 1995/1996 se manifestó una sequía severa, siendo éste el último evento que refleja el SPI₂₄.

En la Figura 5-9 se muestra el cálculo del SP1₂₄ para las Zonas Norte (2.000), Centro (1.000) y Sur (3.000) de la demarcación. En Figura 5-10 se representa la sequía ocurrida en agosto de 1982 a escalas de SPI₃, SPI₆, SPI₁₂, SPI₂₄.

El cálculo del SPI en varias escalas permite monitorear las condiciones de sequía a corto y largo plazo. La presencia de la sequía en las zonas de la demarcación se puede identificar en función de la acumulación de precipitación.

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

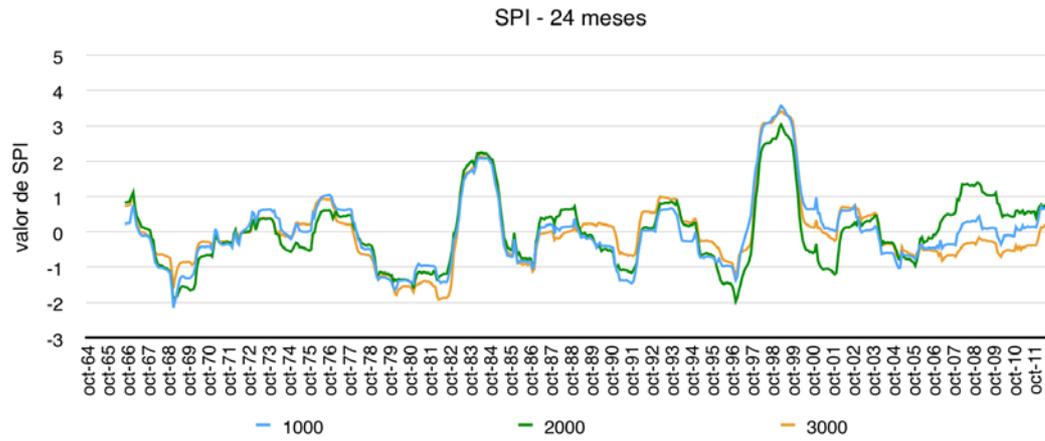


Figura 5-9 SPI de 24 meses para las Zonas Norte, Centro y Sur de la DHM.

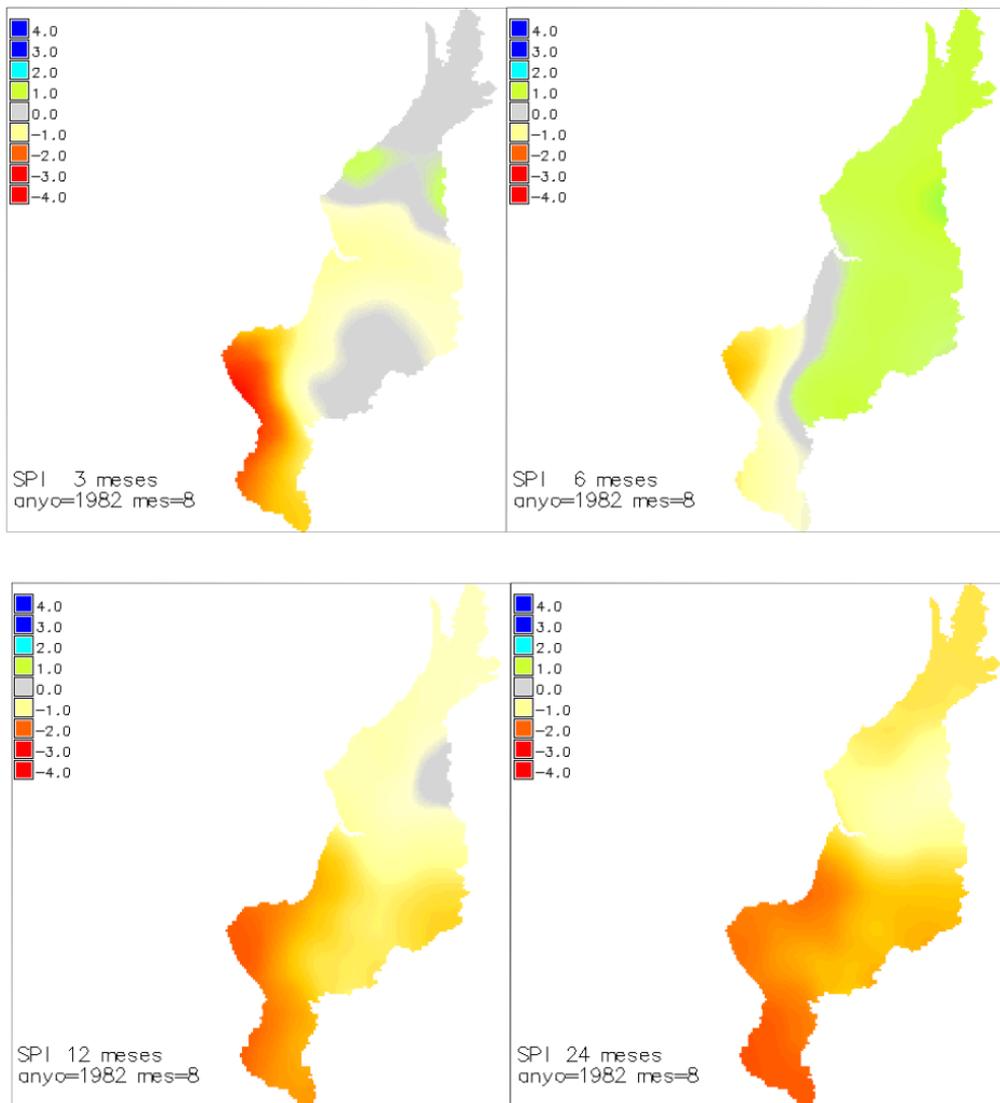


Figura 5-10 Representación de SPI₃, 6, 12 y 24 meses de la DHM en agosto de 1982.

5.1.3.5 Índice de Severidad de sequía de Palmer modificado, PDSIb

En la subcuenca del río Carrizal, identificamos condiciones extremadamente húmedas (>4) debido a niveles de precipitación superiores al promedio en estaciones húmedas y temperaturas inferiores al nivel medio en la estación seca. Esto resultó en un exceso de humedad del suelo. Se observaron condiciones similares en los períodos 1982/83 y 1997/98 después de la ocurrencia del evento ENSO.

Del mismo modo, hay evidencia de dos períodos secos (febrero/68- abril/69; marzo/77 - noviembre/82) considerados extremos (<-4), tres períodos (abril/90 - diciembre/90; Marzo/95 - Junio/97; Diciembre/04 - Noviembre/05) de sequías moderadas ($-2,00$ a $-2,99$); y seis períodos de sequías disminuidas ($-1,00$ a $-1,99$) y sequías incipientes ($-0,50$ a $-0,99$). Se observaron eventos similares en las subcuencas del río Portoviejo y del río Chico.

La Figura 5-11 muestra los valores de PDSIa (Fig. 5-11a) y PDSIb (Fig. 5-11b). Usando la primera formulación, los eventos de sequía extrema fueron subestimados, mientras que, al usar la segunda formulación, los eventos se hicieron visibles. PDSI ha sido ampliamente cuestionado porque sus valores resultantes no pueden compararse entre diferentes regiones climatológicas. Para mejorar la comparabilidad espacial, Wells et al., (2004) proponen un Índice de Sequía de Sequía Palmer autocalibrado (sc_PDSI), que hizo posible representar climas de manera más realista en diferentes lugares. sc_PDSI produjo mejores resultados que el PDSI original durante el siglo XX en Europa y América del Norte (Van der Schrier, Briffa, Jones, et al., 2006; Van der Schrier, Briffa, Osborn, et al., 2006; Van der Schrier et al., 2007).

Los resultados obtenidos del SPI₁₂ (Fig. 5-11c) fueron similares a los del PDSI. Los índices mostraron una correlación muy fuerte (0,85) en el período de análisis. McKee et al., (1995) encontraron que, en la mayoría de las estaciones en los Estados Unidos, el PDSI está altamente correlacionado con el SPI a los 10 a 14 meses, por ejemplo, el PDSI en Fort Collins, Colorado, mostró un coeficiente de correlación de aproximadamente 0,9 con el SPI cuando estuvo cerca de los 12 meses. De acuerdo

al SPI₁₂, los períodos de sequía en la DHM comenzaron en febrero/68. En la Zona Norte, hubo una sequía moderada que se volvió extrema en febrero/69 y terminó en junio/69. En la Zona Sur, hubo una sequía severa que terminó en febrero/69, seguida de un período seco moderado hasta abril/69.

En enero/79, hubo otro episodio de sequía, que terminó en marzo/80 en la Zona Norte y Zona Centro, y continuó hasta enero/81 en la Zona Sur. En abril/81 comenzó una sequía moderada en la Zona Sur, que alcanzó niveles extremos en marzo/82. El evento finalizó en noviembre/83. En la Zona Sur, una sequía moderada comenzó en abril/90 y terminó en enero/91. En abril/91, el evento reapareció y terminó en diciembre/91. En diciembre/94, una sequía moderada surgió en la Zona Norte y terminó en abril/95, y otro evento comenzó en abril/07 y terminó en febrero/01. Los períodos húmedos en la DHM ocurrieron en marzo/83 - mayo/84 y diciembre/97 - abril/99, este último terminó en abril/99 en la Zona Norte. En la Zona Sur, el evento continuó hasta enero/00, aunque comenzó a disminuir desde abril/99. El último período húmedo ocurrió en la Zona Norte y Zona Centro desde mayo/12 - septiembre/12.

En la DHM, los períodos secos generalmente comienzan en abril y duran hasta noviembre durante un año seco. Condiciones similares ocurren en la Demarcación Hidrográfica de Esmeraldas, ubicada al norte de la DHM, con períodos secos y húmedos durante los meses que se consideran secos (INAMHI, 2000). Las distribuciones en los períodos seco y húmedo fueron similares en las zonas de la DHM. El período febrero/82 - diciembre/83 fue el más seco, mientras que diciembre/97 - abril/99 fue el más húmedo debido a la presencia del evento ENSO, fase El Niño.

Los episodios secos y húmedos son similares entre ambos índices. Aunque, el PDSI reflejó en el 2009 un evento de sequía que no fue visible en el SPI₁₂. Se considera que el aumento en el nivel de temperatura promedio de 0.1°C desde el año 2001 en la DHM fue quizás responsable de la diferencia de eventos entre SPI y PDSI, toda vez que el PDSI proviene de un balance hídrico del suelo (Wayne C. Palmer, 1965) que tiene en cuenta la evapotranspiración potencial (PET) como una variable de

entrada, y que puede variar según la temperatura. La investigación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) afirma que las temperaturas promedio globales han aumentado 0,18°C cada década desde 1951-2012 (IPCC, 2014). Arndt et al., (2010) mencionan que, en noviembre de 2009, se registraron condiciones secas en las costas de Ecuador.

Se considera el SPI₁₂ un buen indicador agrícola porque muestra resultados que son similares al PDSI mensual, aunque, debido a las variaciones en los factores climáticos, PDSI se considera el mejor indicador agrícola para la DHM porque se basa en un modelo de balance de agua que utiliza tanto la precipitación como la temperatura, a diferencia del SPI, que se basa solo en registros estadísticos previos de precipitación. (Dai, 2011) confirmó que PDSI está por encima de otros índices de sequía que se basan en estadísticas, por considerar el impacto básico del calentamiento global a través del balance hídrico de Palmer.

Los resultados obtenidos del SPI₁₂ y el PDSI mensual se validaron con los comunicados de prensa históricos que abordan las sequías, registrados en el Sistema de Inventario de Desastres. En base a los comunicados se establece que el SPI₁₂ y el PDSI mensual reflejan los períodos secos y húmedos que se manifiestan en la Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur de la DHM. Según los registros históricos del año 1982, la agricultura fue el sector más afectado, con un impacto en todas las zonas de estudio. Los registros también hacen referencia a los períodos húmedos en la DHM debido a la ocurrencia de El Niño.

El SPI₃ es el indicador que coincide en sus resultados en todos los períodos en los que hubo registro de prensa; esto se atribuye a la cantidad de eventos de sequía registrados que son cortos pero de gran intensidad. El PDSI también coincide en gran parte con estos eventos, pero lo hace al mostrar valores leves de sequía que no se desarrollan debido a la rápida recuperación de la humedad del suelo. El uso conjunto de estos índices a pequeña escala permite obtener resultados más confiables en la detección de sequías. La Figura 5-11 muestra la coincidencia entre los resultados de los valores de los índices PDSI, SPI₁₂ y SPI₃ con los comunicados de prensa que se muestran en la Tabla 9.

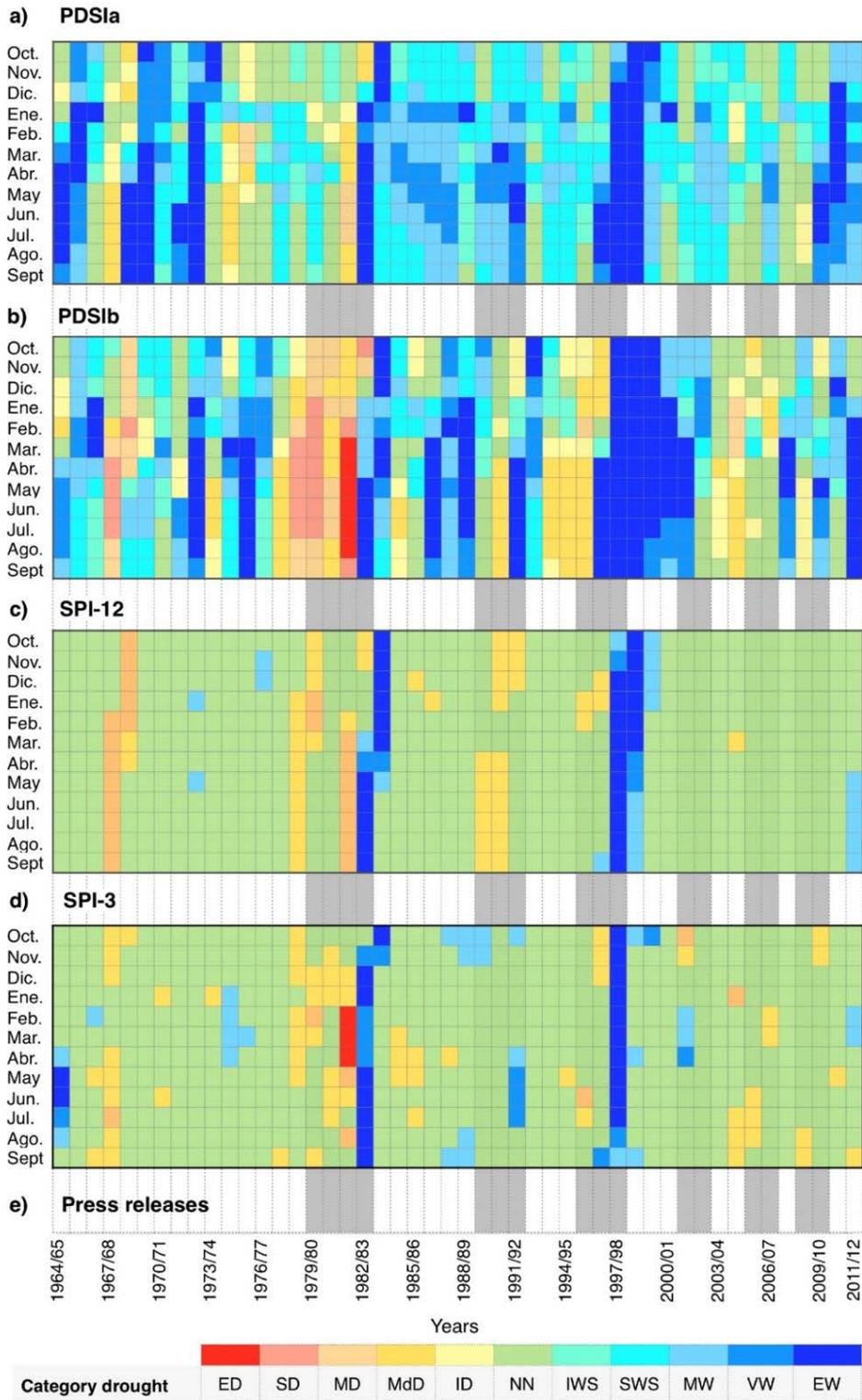


Figura 5-11 Resultados diferentes del índice de sequía en la zona central de la DHM.

a) PDSIa, donde la escorrentía potencial es igual a la capacidad de agua disponible menos la recarga potencial ($PRO = AWC - PR$); b) PDSIb, donde la escorrentía potencial es igual a tres veces la precipitación menos la recarga potencial ($PRO = 3P - PR$). c) SPI₁₂, utilizado en la zona centro de la DHM. d) SP₃, utilizado en la zona centro de la DHM. e) Comunicados de prensa sobre eventos de sequía.

Evento	Fecha (mes/año)	Zona	Sector afectado	Registro (mes/año)
Sequía	03/82	Centro y Sur	Agricultura y ganadería	02/80 – 03/82
El Niño (inundación)	08/83	Norte, Centro y Sur	Agricultura y ganadería	12/82 – 08/83
Sequía	05/90	Centro	Agricultura y ganadería	02/90 – 05/90
Sequía	07/91	Centro	Agricultura y ganadería e industria	01/91 – 07/91
Sequía	01/97	Norte y Centro	Agricultura y ganadería	01/96 – 01/97
El Niño (inundación)	08/98	Norte, Centro y Sur	Agricultura y ganadería	12/97 – 08/98
Sequía	01/02	Norte	Agricultura y ganadería	11/01 – 01/02
Sequía	03/06	Centro y Sur	Agricultura y ganadería	05/05 – 03/06
Sequía	12/09	Norte, Centro y Sur	Agricultura y ganadería	09/09 – 12/09

Tabla 9 Registros de comunicados de prensa que abordan episodios de sequía de 1982 a 2012.

5.1.3.6 Frecuencia y duración de las sequías

La ocurrencia de sequía se analizó en la Tabla 8 definiendo los tipos de sequía en relación con los valores de SPI y PDSI. Con respecto a esto, la distribución de frecuencia del SPI₁₂ y del PDSI mensual se dividió en siete y 11 categorías, respectivamente. La relación entre la ocurrencia de sequía y cada una de las categorías de SPI y PDSI y el número total de episodios contados para todas las zonas de la DHM se representan como frecuencia de sequía.

La probabilidad de ocurrencia de sequías moderadas, severas y extremas en la DHM se muestra para el período 1964/65 - 2011/12. Según los resultados del SPI₁₂ a un mes, las sequías moderadas tuvieron la frecuencia más alta (11% a 14%), las sequías severas tuvieron una frecuencia del 2% al 4% y las sequías extremas, menos del 2%. La probabilidad de ocurrencia de sequía por meses acumulados a SPI_{3, 12} se muestra en la Figura 5-12.

De acuerdo con los valores PDSI, la probabilidad de ocurrencia de sequías moderadas fue de 9,5%, sequías severas, 5% y sequías extremas, 1% (Figura 5-13). La duración de las sequías moderadas, severas y extremas puede ser de hasta nueve

meses, un año y más de un año, respectivamente. Las sequías incipientes y leves tuvieron una duración de nueve meses. En la DHM, se ha observado una sequía severa cada 13 años. Climate, Energy & Tenure Division, Deputy Directory-General Natural Resources, (2010) y D'Ercole & Trujillo (2003) indican que en la provincia de Manabí los años secos más comunes ocurren debido a precipitaciones que corresponden a períodos de retorno de la sequía (10 y 25 años). Para períodos continuos, de dos o más años secos, uno de ellos tiene el riesgo de ser extremadamente seco y cada 25 años, dos o más años tienen el riesgo de ser seco.

Los resultados obtenidos de los índices de sequía y validados a través de comunicados de prensa permiten concluir que, las sequías en los climas tropicales húmedos y subhúmedos ecuatorianos son de corta duración, pueden durar entre 3 y 9 meses y con frecuencia son incipientes y leves. Aparecen en la estación seca y terminan al comienzo de la estación húmeda. En el área de estudio se producen sequías estacionales y anuales. En el clima tropical semiárido, las sequías pueden durar más de un año, llegando a ser extremas.

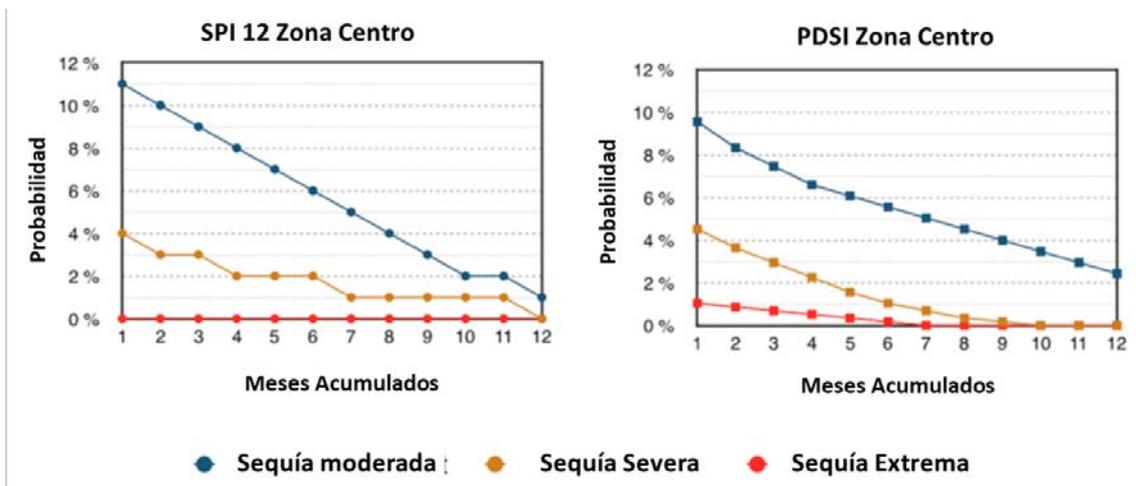


Figura 5-12 Probabilidad de ocurrencia de sequías moderadas, severas y extremas, calculadas a partir de los índices. SPI-12 y PDSI en la zona central de la DHM.

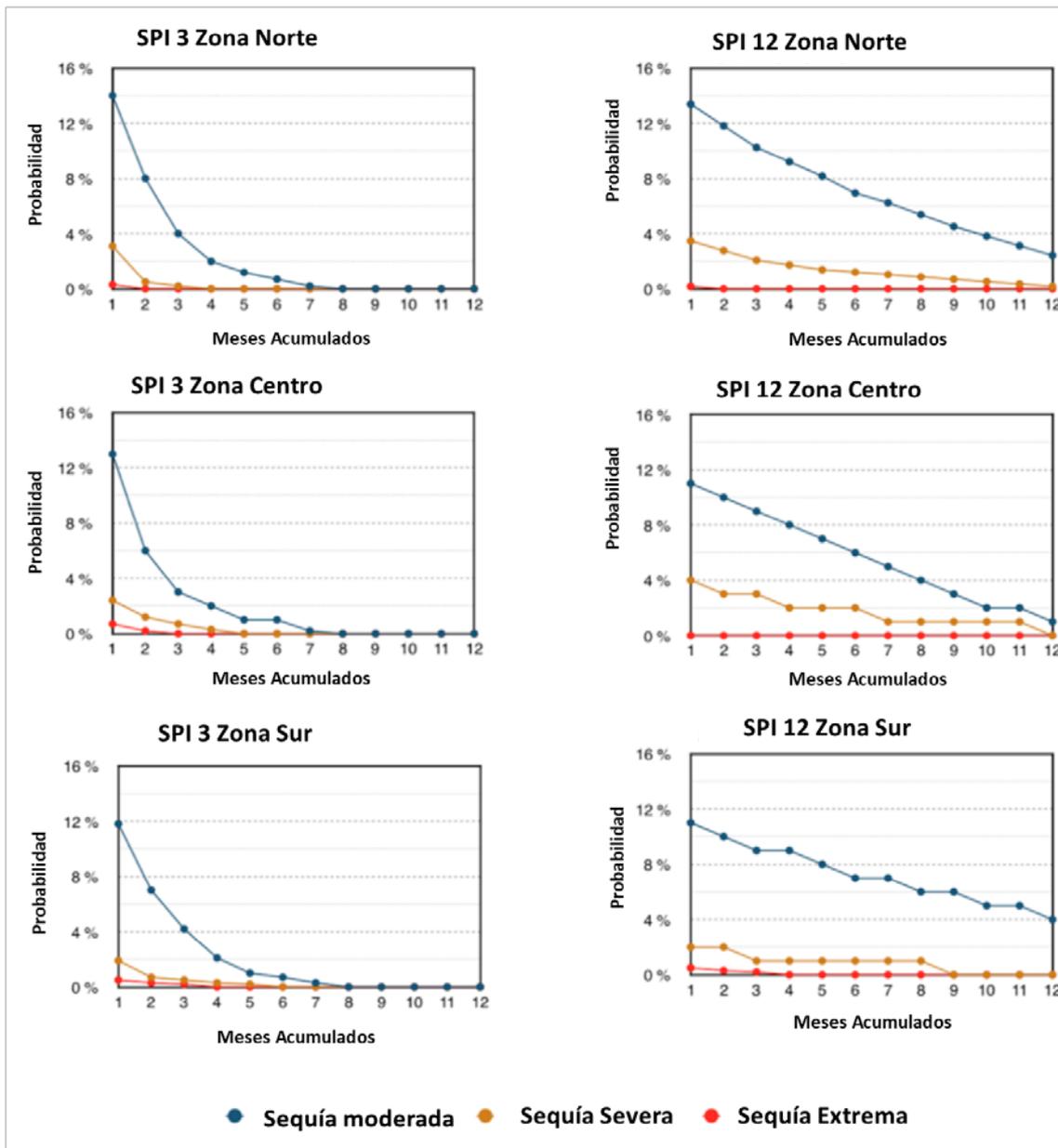


Figura 5-13 Probabilidad de ocurrencia de sequías moderadas, severas y extremas, calculadas a partir de los índices SPI_3 y SPI_12, Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur de la DHM.

5.2 ANÁLISIS DE LAS SEQUÍAS HISTÓRICAS EN LA DHM

5.2.1 Sequía histórica de 1967/68 - 1969/70

La sequía 1967/68 - 1969/70 se manifestó en las tres zonas de la DHM. En el año 1968 la sequía fue moderada, llegando a ser extrema en la Zona Norte en el año 1969. Condiciones normales comienzan a presentarse en el año 1970, siendo las últimas zonas en recuperarse la Norte y la Sur (Figura 5-14).

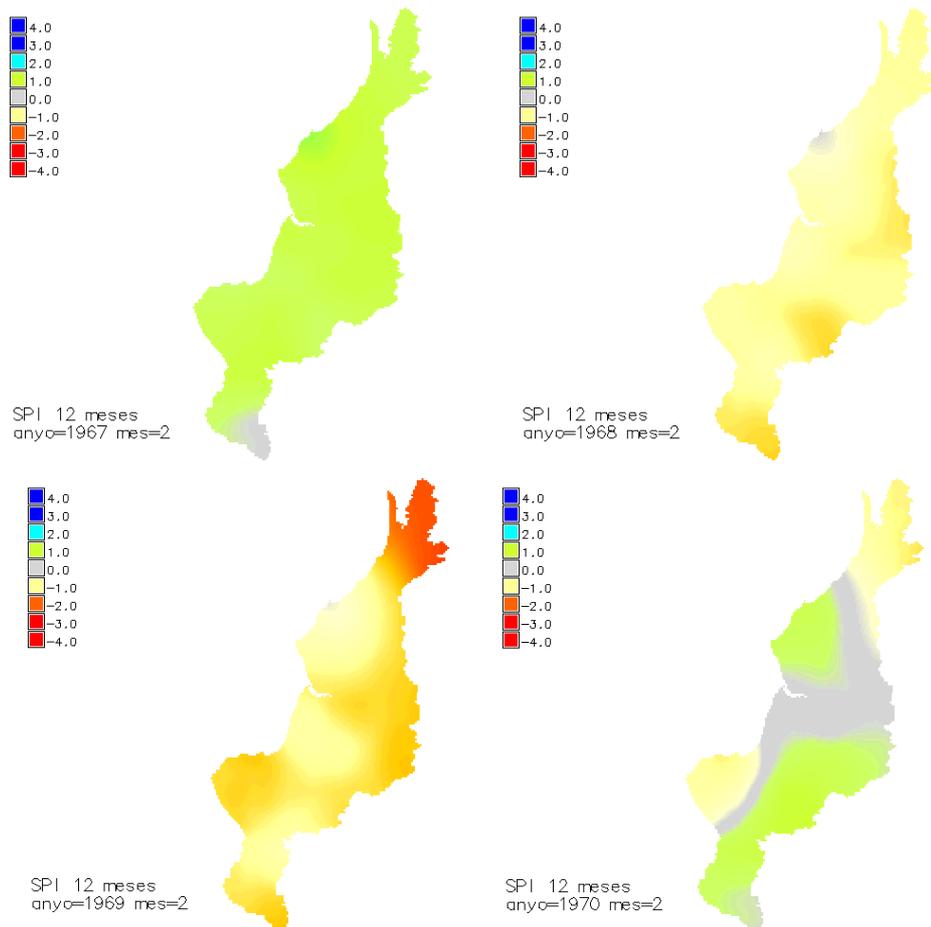


Figura 5-14 SPI gráfico de 12 meses de la DHM en febrero 1967 a febrero 1970.

Esta sequía se inscribe en el ciclo seco de precipitaciones y aportaciones del período 1966/67 - 1970/71, alcanzando su gravedad en los años hidrológicos 1967/68 - 1969/70.

La precipitación y las aportaciones en la DHM durante la sequía histórica de 1967/68 - 1969/70 se situó por debajo de la media con 84 mm/mes y 35 hm³/mes respectivamente. En los meses de enero a mayo de 1967 se registró un volumen en el embalse de 450 hm³ (su capacidad máxima) y empezó a descender desde junio

(434 hm³) hasta diciembre de 1968, alcanzando 127 hm³. En enero a marzo de 1970 se registran aportaciones por debajo de la media y en efecto el volumen almacenado es inferior (209 hm³).

En el Anexo 1 se muestra la precipitación registrada en la DHM durante la sequía histórica, así como la precipitación media (339 mm) del período de análisis (octubre/64 – septiembre/2012). Además, se presentan las aportaciones y volumen almacenado durante el evento.

5.2.2 Sequía histórica de 1973 - 1974

La sequía 1973 - 1974 se manifestó en las en las tres zonas de la demarcación hidrográfica. En el año 1974 la sequía fue moderada y llegó a ser severa en un área de la zona Sur (Figura 5-15).

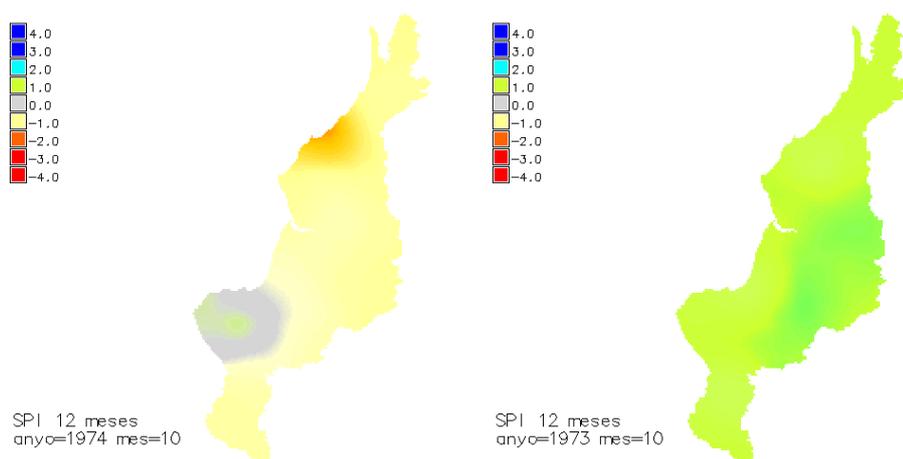


Figura 5-15 SPI gráfico de 12 meses de la DHM en octubre 1973 a octubre 1974.

La sequía que tuvo lugar entre 1973 - 1974 se enmarca dentro del período seco de precipitaciones y aportaciones de los años hidrológicos 1970/71 - 1973/74.

La precipitación y las aportaciones en la DHM durante la sequía histórica de 1973 - 1974 se situaron por debajo de la media con 44 mm/mes y 13 hm³/mes respectivamente. En los meses de enero a marzo de 1973 se registró precipitaciones y aportaciones normales y una disminución de éstas de abril a mayo.

En contraste se refleja en los meses de enero a julio de 1973 un volumen en el embalse de 450 hm³ (su capacidad máxima) y un descenso desde agosto (425 hm³)

hasta enero de 1974, alcanzando 329 hm³. En febrero del mismo año se registran precipitaciones de 365 mm y por ende aportaciones normales, sin embargo, éstas disminuyen significativamente de marzo a mayo y en efecto el volumen almacenado llega a alcanzar 280 hm³ en diciembre de 1974.

En el Anexo 1 se muestra la precipitación registrada en la DHM durante la sequía histórica, así como la precipitación media (339 mm) del período de análisis (octubre/64 - septiembre/2012). Además, se presentan las aportaciones y volumen almacenado durante el evento.

5.2.3 Sequía histórica de 1978/79 - 1981/82

La sequía 1978/79 - 1981/82 se manifestó en la demarcación hidrográfica en la Zona Norte, Centro y Sur. La sequía inició en el año 1978 en condiciones moderadas, y se tornó severa en el año 1979 en la zona centro. La sequía se mantuvo en 1980 y fue moderada en la Zona Norte y severo en algunas áreas de la Zona Centro y Sur. En 1981 el evento fue moderado en gran parte de la demarcación, solo en lugares puntuales de la Zona Norte y Sur la sequía fue severa. El evento de sequía se mantuvo hasta el año 1982, éste fue moderado en la Zona Norte, y severo en la Zona Centro y Sur. Las condiciones de humedad se recuperaron en el mes de diciembre (Figura 5-16).

Esta sequía se inscribe en el ciclo seco de precipitaciones y aportaciones del período 1976/77 - 1981/82, alcanzando su gravedad en los años hidrológicos 1978/79 - 1981/82.

La precipitación y las aportaciones en la DHM durante la sequía histórica de 1978/79 - 1981/82 se situó por debajo de la media con 104 mm/mes y 10 hm³/mes respectivamente. Desde abril de 1977 se registran disminuciones de la precipitación llegando a ser nulas en noviembre del mismo año. De enero de 1978 a enero 1981 se registran precipitaciones y aportaciones por debajo de la media, y aunque en febrero de 1981 se registró precipitaciones y aportaciones normales, éstas disminuyeron significativamente de marzo 1981 a septiembre de 1982.

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

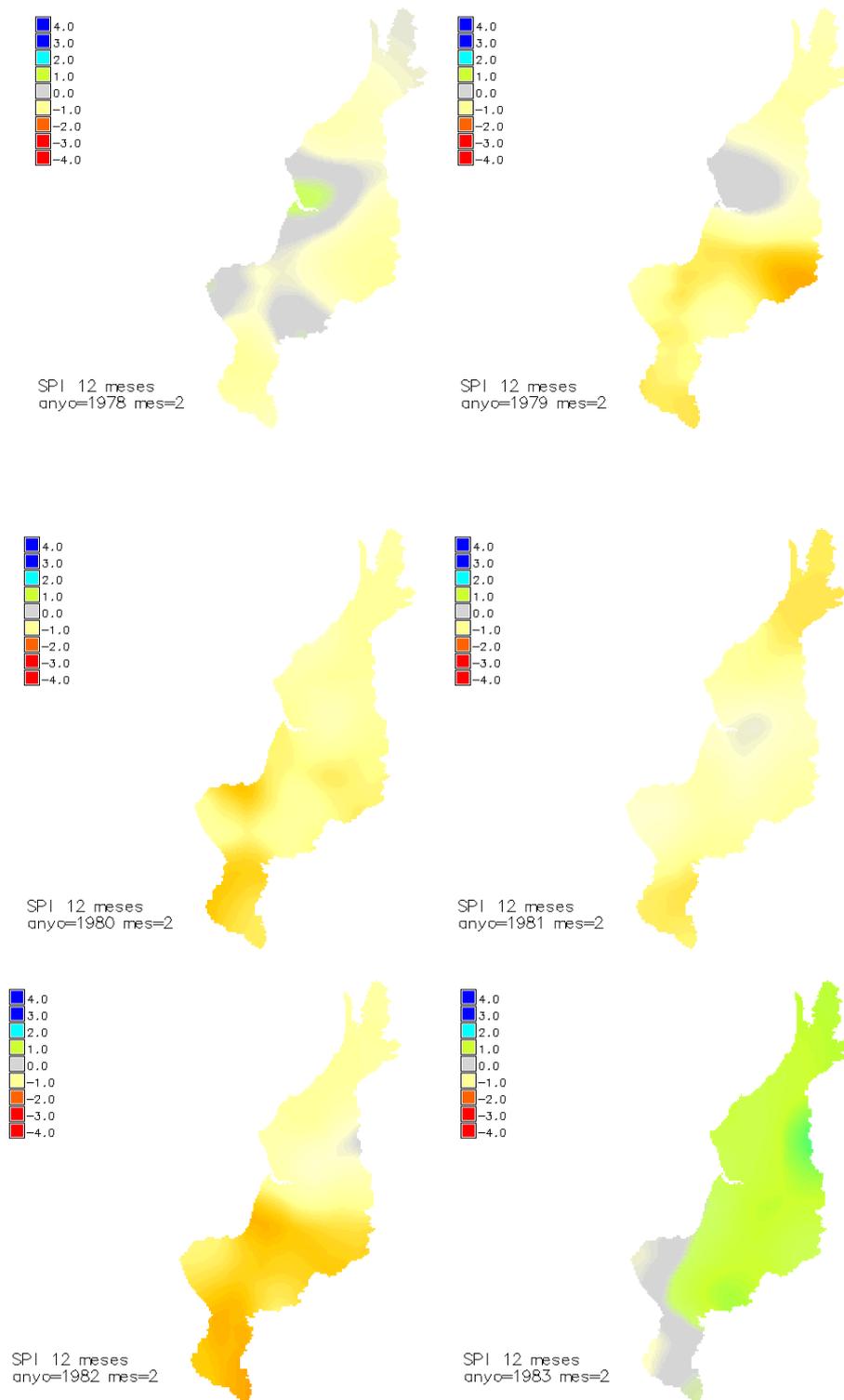


Figura 5-16 SPI gráfico de 12 meses de la DHM en febrero 1978 a febrero 1983.

En los meses de enero a junio de 1977 se registró un volumen en el embalse de 450 hm³ (su capacidad máxima) y empezó a descender desde julio (422 hm³) hasta

diciembre alcanzando 307 hm³. En enero de 1978 se registran precipitaciones de 193 mm (superiores a diciembre que registran 29 mm) y por ende el volumen del embalse asciende (321 hm³). Sin embargo, éstas disminuyen significativamente de mayo de 1978 a diciembre 1979 y en efecto el volumen almacenado disminuye llegando a registrar 90 hm³ (volumen muerto).

En febrero de 1980 el volumen se recupera (111 hm³) alcanzando en abril (168 hm³), éste vuelve a descender en mayo (159 hm³) hasta llegar a los 90 hm³ en septiembre. Las condiciones mejoran en febrero de 1981 (181 hm³) hasta mayo 266 hm³ y el volumen vuelve a caer hasta su límite (90 hm³) en mayo 1982. Estas condiciones permanecen hasta noviembre del mismo año y se recuperan en diciembre (114 hm³).

En el Anexo 1 se muestra la precipitación registrada en la DHM durante la sequía histórica, así como la precipitación media (339 mm) del período de análisis (octubre/64 - septiembre/2012). Además, se presentan las aportaciones y volumen almacenado durante el evento.

5.2.4 Sequía histórica de 1984/85 - 1985/86

La sequía 1984/85 - 1985/86 se manifestó en las tres zonas de la demarcación. El evento inició en 1984 en la Zona Centro y comenzó a manifestarse en el transcurso del año en las Zonas Norte y Centro, teniendo un evento moderado en 1985. La sequía se intensificó en la DHM en 1986 llegando a ser severa en la Zona Centro (Figura 5-17).

La sequía que tuvo lugar entre 1984/85 - 1985/86 se enmarca dentro del período seco de precipitaciones y aportaciones de los años hidrológicos 1983/84 - 1985/86.

La precipitación y las aportaciones en la DHM durante la sequía histórica de 1984/85 - 1985/86 se situó por debajo de la media con 168 mm/mes y 26 hm³/mes respectivamente. En enero de 1985 se registran disminuciones de la precipitación que no se recuperan hasta diciembre. En febrero de 1986 se presenta el mismo escenario. En contraste se refleja en mayo de 1985 que el volumen en el embalse comienza a descender de su capacidad máxima (450 hm³) hasta diciembre del

mismo año (249 hm³). Las condiciones se recuperan en enero de 1986 y el embalse alcanza su nivel de almacenamiento máximo en abril del mismo año, pero comienza a descender en mayo hasta diciembre, donde el volumen comienza a recuperarse.

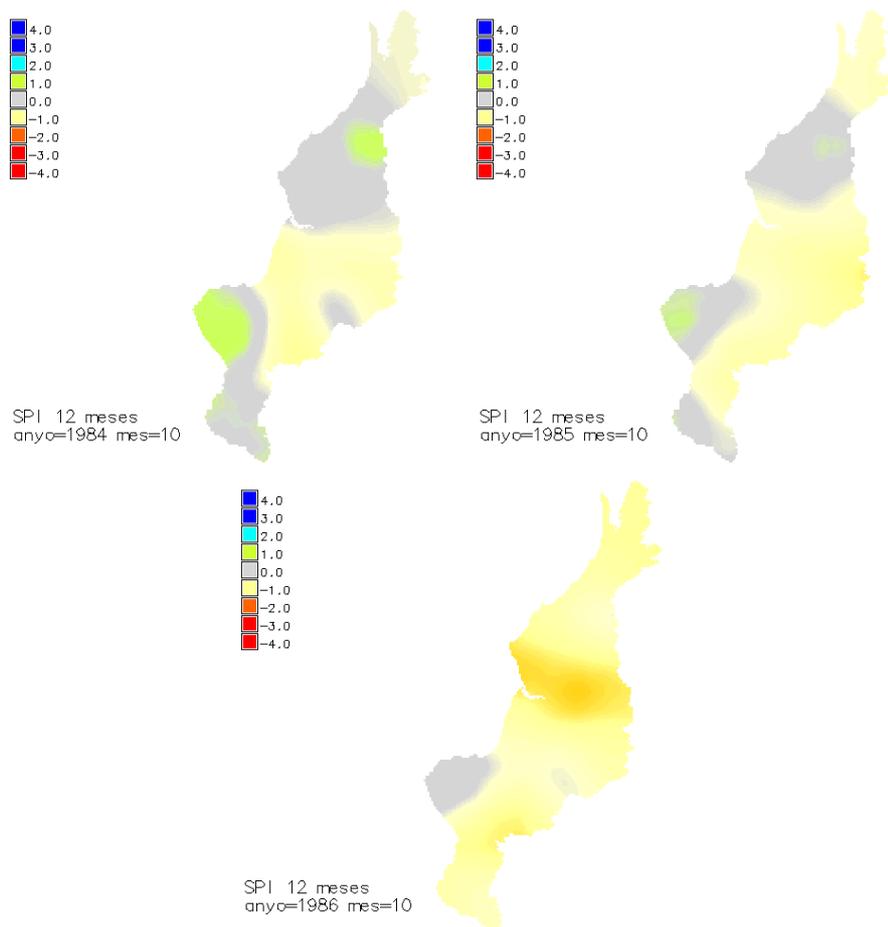


Figura 5-17 SPI gráfico de 12 meses de la DHM en octubre 1984 a octubre 1986.

En el Anexo 1 se muestra la precipitación registrada en la DHM durante la sequía histórica, así como la precipitación media (339 mm) del período de análisis (octubre/64 - septiembre/2012). Además, se presentan las aportaciones y volumen almacenado durante el evento.

5.2.5 Sequía histórica de 1989/90 - 1990/91

La sequía 1989/90 - 1990/91 se manifestó en las tres zonas de la demarcación. El evento inició en 1989 en la Zona Centro y comenzó a manifestarse en 1990 en las

Zonas Norte y Centro, alcanzando severidad en la Zona Centro. El evento se extendió hasta el año 1992 y se presentó parcialmente en la Zona Sur (Figura 5-18).

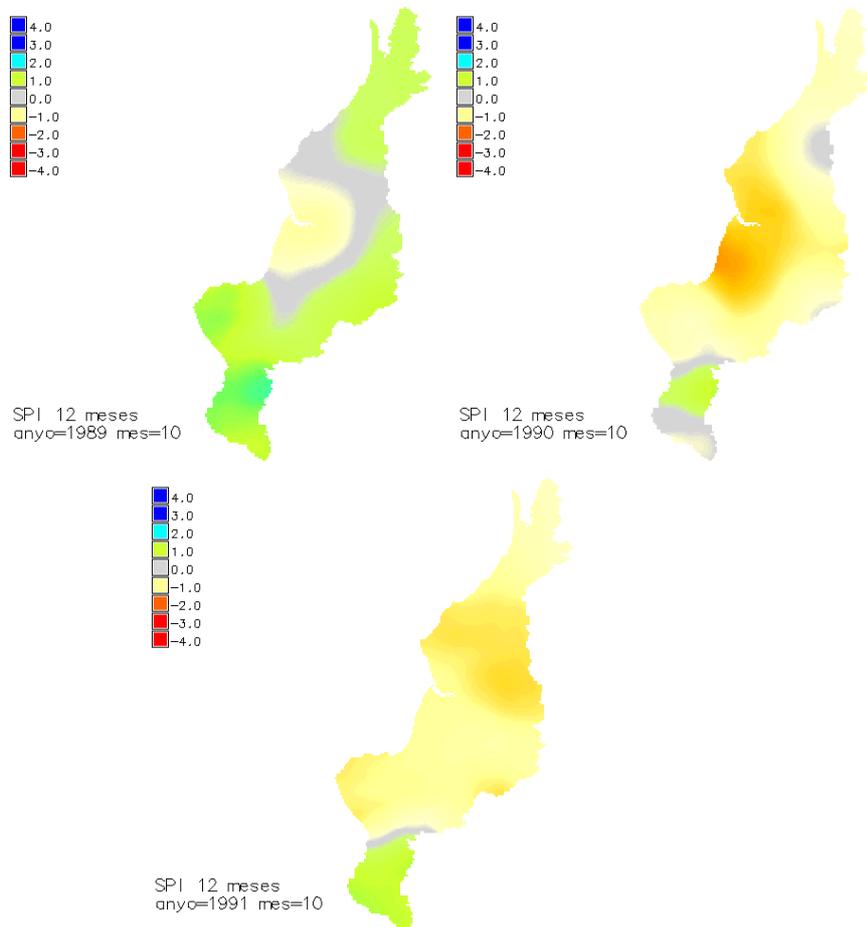


Figura 5-18 SPI gráfico de 12 meses de la DHM en octubre 1989 a febrero 1991.

Esta sequía se inscribe en el ciclo seco de precipitaciones y aportaciones del período 1987/88 - 1990/91, alcanzando su gravedad en los años hidrológicos 1989/90 - 1990/91.

La precipitación y las aportaciones en la DHM durante la sequía histórica de 1989/90 - 1990/91 se situó por debajo de la media con 196 mm/mes y 33 hm³/mes respectivamente. En enero de 1990 se registran disminuciones de la precipitación que no se recuperan hasta abril. En febrero de 1991 se presenta el mismo escenario. En contraste se refleja en mayo de 1990 que el volumen en el embalse comienza a descender de su capacidad máxima (450 hm³) hasta diciembre del mismo año (291

hm³). Las condiciones se recuperan en enero de 1991 y el embalse alcanza 402 hm³ en abril, pero el volumen vuelve a descender hasta diciembre alcanzando 255 hm³.

En el Anexo 1 se muestra la precipitación registrada en la DHM durante la sequía histórica, así como la precipitación media (339 mm) del período de análisis (octubre/64 - septiembre/2012). Además, se presentan las aportaciones y volumen almacenado durante el evento.

5.2.6 Sequía histórica de 1994/95 - 1995/96

La sequía 1994/95 - 1995/96 se manifestó en la DHM en la Zona Norte, Centro y Sur. El evento inició en 1994 y fue moderado, llegando a ser severo en la Zona Norte en 1995. La sequía se tornó moderada en 1996 y alcanzó condiciones severas a finales del mismo año en la Zona Norte y Centro (Figura 5-19).

La sequía que tuvo lugar entre 1994/95 - 1995/96 se enmarca dentro del período seco de precipitaciones y aportaciones de los años hidrológicos 1990/91 - 1995/96.

La precipitación y las aportaciones en la DHM durante la sequía histórica de 1994/95 - 1995/96 se situó por debajo de la media con 92 mm/mes y 18 hm³/mes respectivamente.

En febrero de 1994 se registran disminuciones de la precipitación llegando a recuperarse en diciembre, aunque en marzo de 1995 se registran precipitaciones y aportaciones por debajo de la media, que se mantienen hasta febrero de 1996. Los niveles del embalse registran un descenso en mayo de 1994 a diciembre (239 hm³). Estos se recuperan en enero de 1995 hasta abril y vuelven a descender en mayo hasta enero (226 hm³) de 1996.

En el Anexo 1 se muestra la precipitación registrada en la DHM durante la sequía histórica, así como la precipitación media (339 mm) del período de análisis (octubre/64 - septiembre/2012). Además, se presentan las aportaciones y volumen almacenado durante el evento.

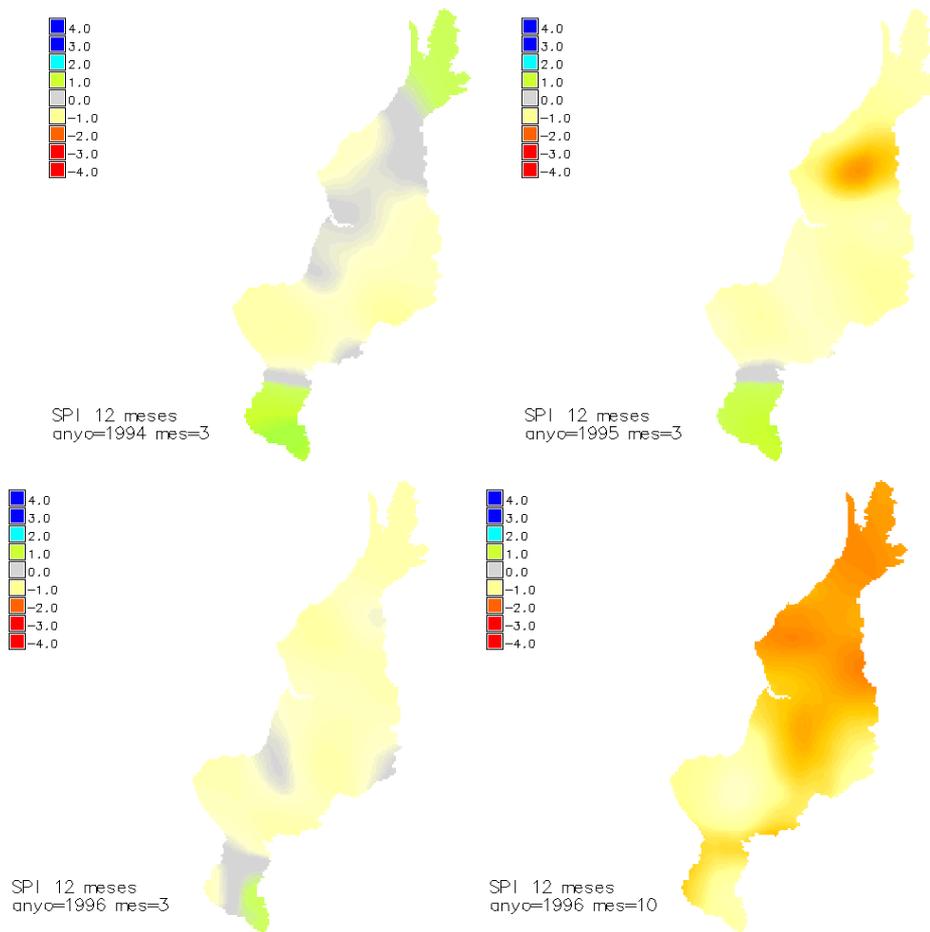


Figura 5-19 SPI gráfico de 12 meses de la DHM en marzo 1994 a octubre 1996.

5.2.7 Sequía histórica de 1999/00 - 2000/01

La sequía 1999/00 - 2000/01 se manifestó en la Zona Norte y parcialmente en la Zona Centro y Sur de la DHM. El evento inició en 1999 en la Zona Norte y comenzó a manifestarse en el año 2000 alcanzando severidad en la Zona Norte. El evento se extendió hasta el año 2001 (Figura 5-20).

Esta sequía se inscribe en el ciclo seco de precipitaciones y aportaciones del período 1999/00 - 2000/03, alcanzando su gravedad en los años hidrológicos 1999/00 - 2000/01.

La precipitación y las aportaciones en la DHM durante la sequía histórica de 1999/00 - 2000/01 se situó por debajo de la media con 92 mm/mes y 18 hm³/mes respectivamente. En enero y marzo de 2000 se registran disminuciones de la precipitación y aportaciones y se recuperan en abril, aunque las condiciones secas

se extienden de julio a diciembre. De mayo de 2001 a enero 2002 se registran precipitaciones y aportaciones por debajo de la media. Los niveles del embalse registran un descenso en julio de 2000 a diciembre (327 hm³). Estos se recuperan en enero de 2001 hasta junio y vuelven a descender en julio hasta diciembre.

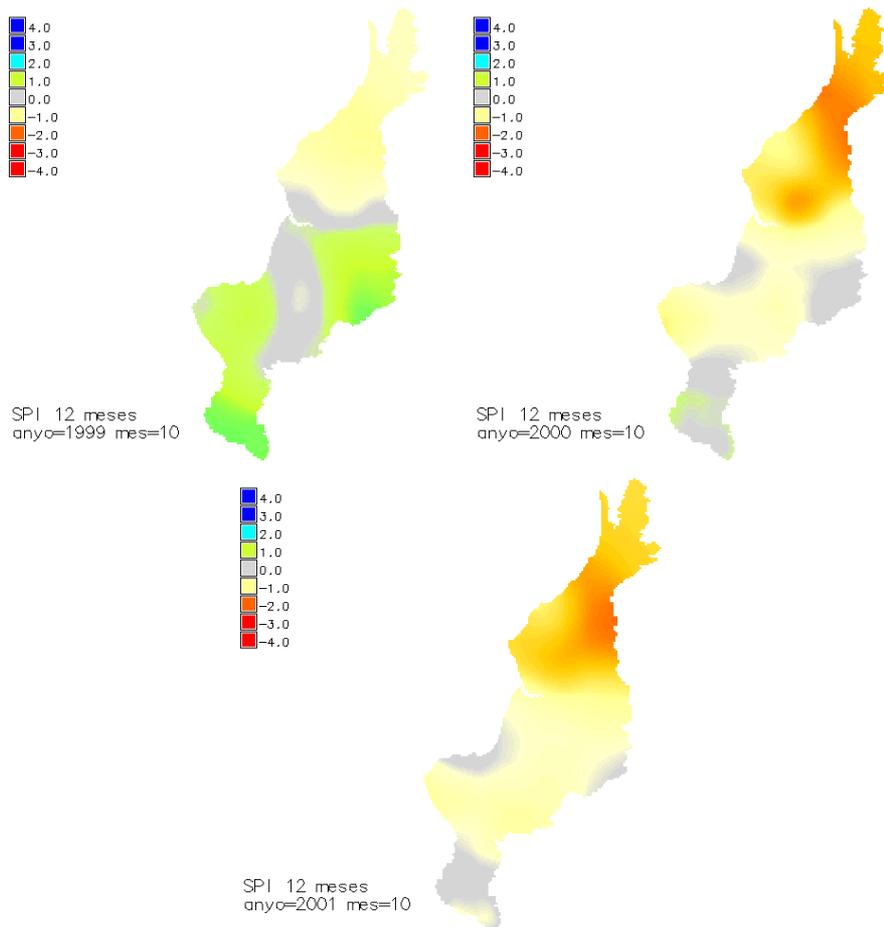


Figura 5-20 SPI gráfico de 12 meses de la DHM en octubre 1999 a octubre 2001.

En el Anexo 1 se muestra la precipitación registrada en la DHM durante la sequía histórica, así como la precipitación media (339 mm) del período de análisis (octubre/64 - septiembre/2012). Además, se presentan las aportaciones y volumen almacenado durante el evento.

5.2.8 Sequía histórica de 2004/05 - 2006/07

La sequía 2004/05 - 2006/07 se manifestó en las Zonas Norte, Centro y Sur de la DHM. La sequía inició en 2004 en la Zona Norte y Sur, y fue moderada. En el 2005 el evento comenzó a manifestarse en toda la demarcación alcanzando condiciones extremas en la Zona Norte y Sur. El evento se extendió hasta el año 2006. (Figura 5-21).

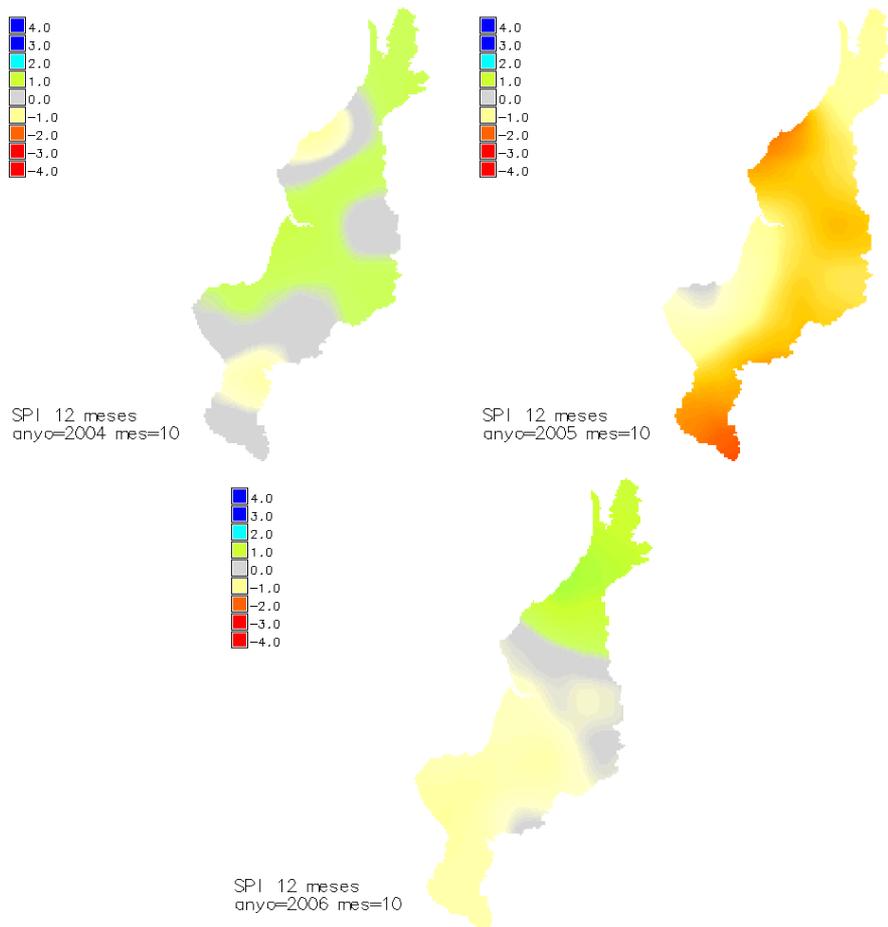


Figura 5-21 SPI gráfico de 12 meses de la DHM en octubre 2004 a octubre 2006.

La sequía que tuvo lugar entre 2004/05 - 2006/07 se enmarca en el período seco de precipitaciones y aportaciones de los años hidrológicos 2002/03 - 2006/07.

La precipitación y las aportaciones en la DHM durante la sequía histórica de 2004/05 - 2006/07 se situó por debajo de la media con 60 mm/mes y 10 hm³/mes respectivamente. En enero de 2004 se registran valores de precipitación y

aportaciones por debajo de la media que se mantienen hasta mayo. Las condiciones secas se mantienen de julio 2004 a marzo de 2005. De abril de 2006 a febrero de 2007, los meses son secos. Los niveles del embalse registran un descenso en mayo de 2004 a enero (284 hm³) de 2005. Estos se recuperan y vuelven a descender en mayo hasta diciembre. El escenario se repite hasta diciembre de 2006.

En el Anexo 1 se muestra la precipitación registrada en la DHM durante la sequía histórica, así como la precipitación media (339 mm) del período de análisis (octubre/64 - septiembre/2012). Además, se presentan las aportaciones y volumen almacenado durante el evento.

5.2.9 Sequía histórica de 2009-2010

La sequía 2009 - 2010 se manifestó en las en las tres zonas de la demarcación hidrográfica. Inició en noviembre de 2009 y fue moderada y llegó a ser severa en un área de la zona Sur. El evento se extendió hasta el año 2010 (Figura 5-22).

Esta sequía se inscribe en el ciclo seco de precipitaciones y aportaciones del período 2006/07 - 2010/11 alcanzando su gravedad en los años hidrológicos 2009 - 2010. En el Anexo 1 se muestra la precipitación registrada en la DHM durante la sequía histórica, así como la precipitación media (339 mm) del período de análisis (octubre/64 - septiembre/2012).

La precipitación y las aportaciones en la DHM durante la sequía histórica de 2009 - 2010 se situaron por debajo de la media con 76 mm/mes y 12 hm³/mes respectivamente.

En marzo de 2009 la precipitación y aportaciones registran valores por debajo de la media y no se recuperan hasta enero de 2010.

En mayo de 2009 el volumen en el embalse comienza a descender de su capacidad máxima (450 hm³) hasta diciembre del mismo año (209 hm³). Las condiciones se recuperan en enero de 2010.

En el Anexo 1 se muestra la precipitación registrada en la DHM durante la sequía histórica, así como la precipitación media (339 mm) del período de análisis

(octubre/64 – septiembre/2012). Además, se presentan las aportaciones y volumen almacenado durante el evento.

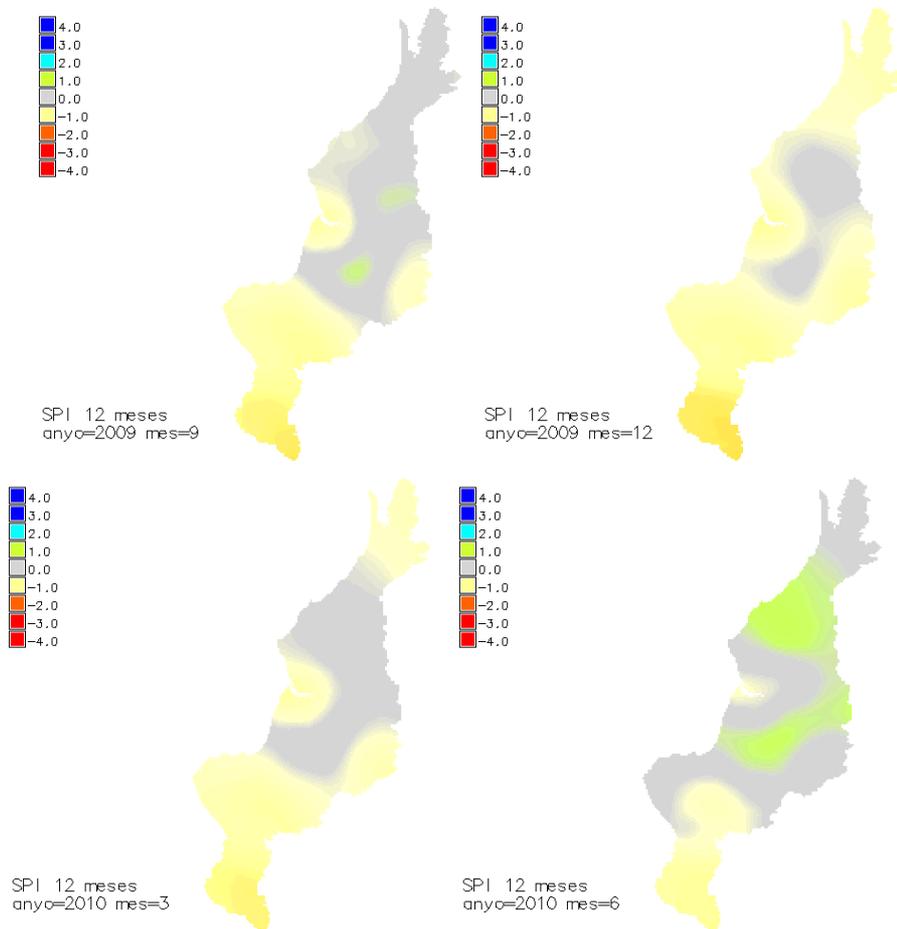


Figura 5-22 SPI gráfico de 12 meses de la DHM noviembre 2009 a octubre 2010.

5.3 IMPACTO ECONÓMICO DE LAS SEQUÍAS EN LA DHM

La sequía se considera uno de los peligros naturales más costosos (Wilhite et al., 2000). En muchos países reduce el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) y amenaza los objetivos de desarrollo social (Shiferaw et al., 2014). Un aumento del 1% en el área de sequía provoca una reducción del 2.8% en el crecimiento económico por año (Casey et al., 2010). En Irán, una sequía severa reduce el PIB total en aproximadamente un 4,4%. En los Estados Unidos, la sequía representa un costo promedio anual de 6 a 8 mil millones de dólares (FEMA, 1995). En las últimas décadas, Ecuador ha sufrido pérdidas de más de 4 mil millones de dólares debido a eventos de sequía (World Food Programme, 2011). La sequía tiene un amplio impacto en todos los sectores (Parsons et al., 2019) aunque la agricultura ha sido el sector más afectado (Donald A. Wilhite et al., 2014). Las sequías pueden disminuir el rendimiento de los cultivos, la calidad y los ingresos y afectar el ganado al reducir la disponibilidad de pasto y alimento (Rey et al., 2016).

Durante los últimos años, Ecuador ha experimentado un crecimiento en su economía. Según el informe del Banco Central del Ecuador, el país registró en 2018 un PIB de 95.647 millones de dólares. El país distingue tres sectores económicos principales: el sector primario está formado por actividades agrícolas, ganaderas, forestales y pesqueras; el sector secundario es el conjunto de actividades que implican la transformación de materias primas y alimentos a través de procesos de producción, reservas de petróleo, industria de energía eléctrica e industria textil; el sector terciario es responsable de las actividades económicas que no producen bienes materiales directamente, sino de servicios que se brindan para satisfacer las necesidades de la población. Según los datos del Banco Central del Ecuador 2016, las provincias con mayor producción son Guayas (USD 34.424,06 millones), Pichincha (USD 33.146,02 millones), Orellana (USD 4.401,86 millones) y Manabí (USD 8.064,97 millones) (Figura 5-24).

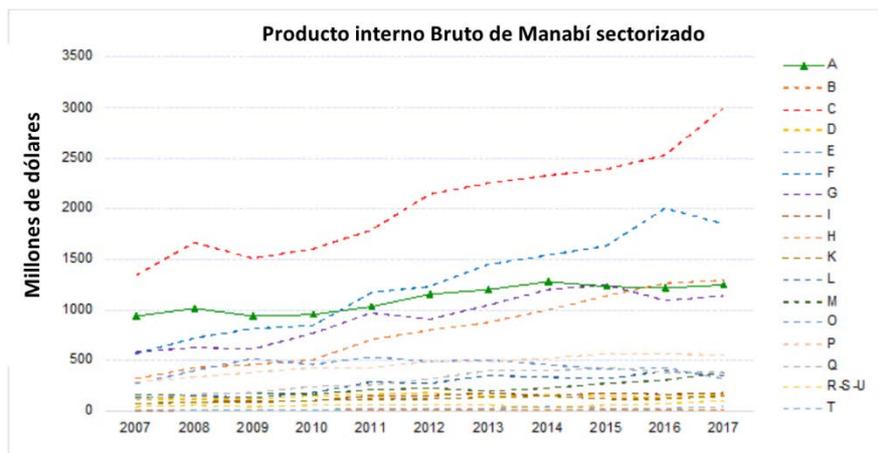


Figura 5-23 Producción Interna Bruta de Ecuador.
Fuente: Banco Central del Ecuador (BCE)

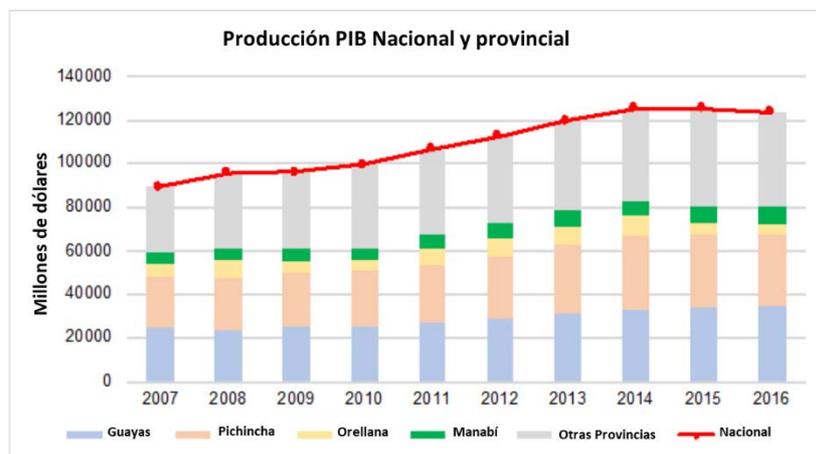


Figura 5-24 Producción Interna Bruta de las provincias de mayor producción en Ecuador.
Fuente: Banco Central del Ecuador (BCE)

El sector agrícola en Ecuador está dividido en Unidades de Producción Agrícola (UPA), siendo ésta una extensión de tierra de 500 m² o más, dedicada total o parcialmente a la producción agrícola, en el caso de áreas más pequeñas se consideran UPA siempre que un producto ha sido vendido. En Manabí, las unidades de producción de menos de 1 hectárea representan el 17% del total, en contraste con esto, el 10% de la UPA corresponde a una superficie superior a 50 hectáreas. Este análisis indica la alta presencia de pequeños productores en la provincia, considerando que la población rural de Manabí representa el 37% de su población total. La Figura 5-25 muestra cómo se distribuyen las UPA en la provincia de Manabí.

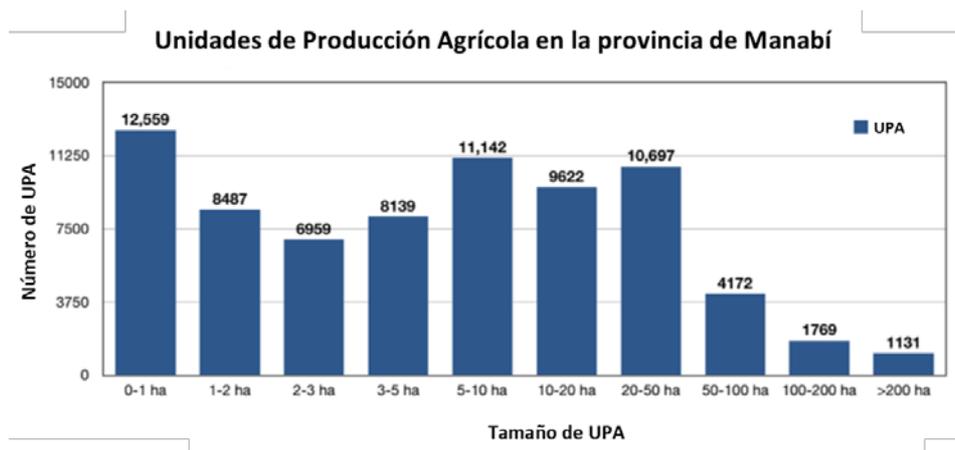


Figura 5-25 Distribución de las unidades de producción agropecuaria de la provincia de Manabí. Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014.

La actividad agroganadera es clave para el desarrollo de la economía de Manabí, actualmente representa el 11% del PIB provincial y en el año 2007 representó el 19% (Figura 5-26). La provincia produce aproximadamente 20 productos agrícolas diferentes, suministrando mayoritariamente banano, café, cacao, plátano y cereales. También proporciona alimentos para el mercado internacional (BCE, 2019).

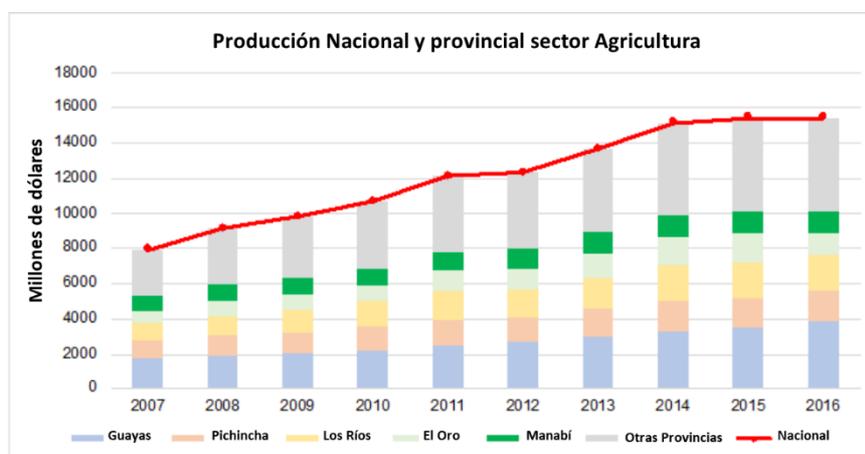


Figura 5-26 Producción en el sector agropecuario en Manabí. Fuente: Banco Central del Ecuador (BCE)

Manabí lidera las provincias con la mayor área de trabajo agrícola; de las cuales 873.650 hectáreas corresponden a pastos cultivados y naturales, 198.515 hectáreas corresponden a cultivos permanentes y 88.562 hectáreas a cultivos transitorios (Tabla 10). Los cultivos de regadío permanentes con mayor producción son plátano, cacao, café y banano, y los cultivos de regadío transitorios con mayor producción

son maíz y arroz. La producción anual de banano representa el 40,15% con respecto a la producción nacional de este cultivo; mientras que la producción anual de maíz representa el 14,59% (INEC, 2014).

	Provincia	Superficie de labor agropecuaria (Ha)				Total	Participación Nacional
		Cultivos permanentes	Cultivos transitorios	Pastos cultivados	Pastos Naturales		
1	MANABÍ	198.515	88.562	830.491	45.859	1.163.428	21,16%
2	GUAYAS	231.671	227.618	147.629	66.005	672.923	12,24%
3	LOS RÍOS	248.095	229.337	74.933	21.992	574.357	10,45%
4	ESMERALDAS	276.477	8.995	169.356	3.561	458.388	8,34%
5	SANTO DOMINGO	79.270	7.574	123.591	-	210.434	3,83%
6	PICHINCHA	22.460	28.401	106.230	49.049	206.140	3,75%
7	BOLÍVAR	27.624	30.870	123.909	10.685	193.088	3,51%
8	COTOPAXI	24.428	49.101	71.134	46.282	190.944	3,47%
9	EL ORO	58.545	5.928	61.248	62.663	188.385	3,43%
10	AZUAY	6.752	17.418	30.486	132.588	187.244	3,41%
11	LOJA	17.836	39.529	33.700	93.666	184.731	3,36%
12	MORONA SANTIAGO	13.050	11.292	96.885	55.107	176.334	3,21%

*Tabla 10 Distribución de la superficie de labor agropecuaria de las provincias del Ecuador.
Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014.*

Los principales cultivos producidos en Manabí son cacao, café, maíz, plátano, arroz, banano, naranja, maracuyá, yuca, granos y tomate. Las sequías periódicas pueden reducir los ingresos agrícolas respecto a lo que podrían haber sido, si hubiese existido el suministro completo de agua. Entre las sequías de 2004 y 2012, varios cultivos a nivel nacional y provincial registraron pérdidas en superficie e ingresos económicos. En la Figura 5-27 y Figura 5-28 se muestran las hectáreas de cultivos de regadío permanentes y transitorios perdidas a nivel nacional.

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

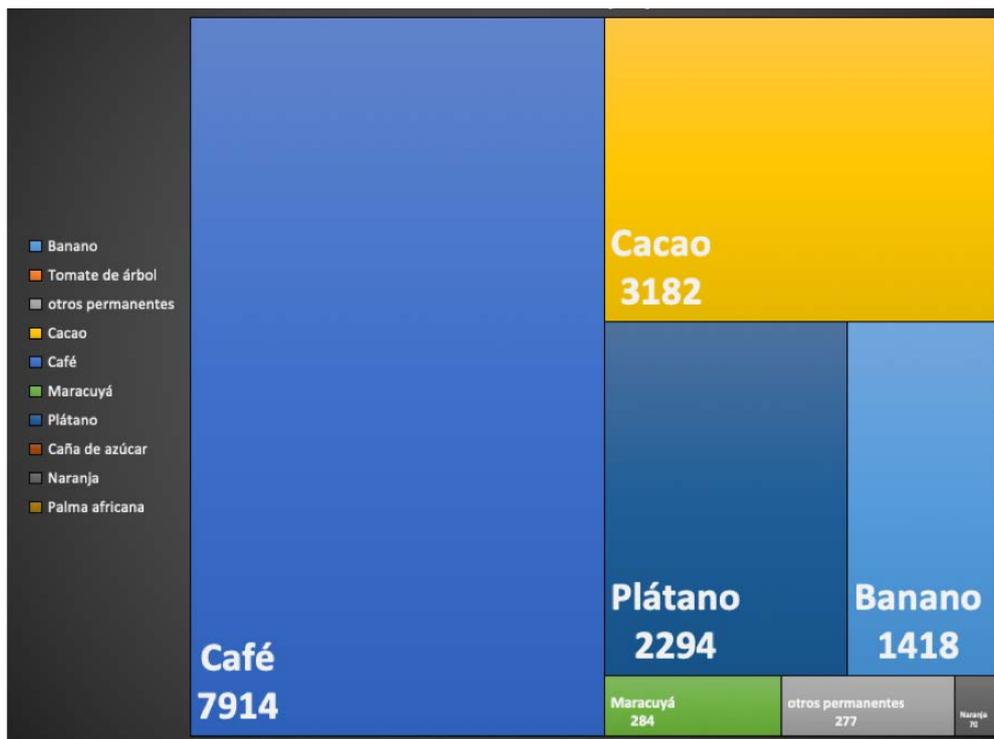


Figura 5-27 Superficie de cultivos permanentes perdidas por sequía en Ecuador entre 2004 y 2009, valor en hectáreas.



Figura 5-28 Superficie de cultivos transitorios perdidas en hectáreas por sequía en Ecuador entre 2004 y 2009.

5.3.1 Análisis del sector agrícola

Cada año, la superficie total cosechada disminuyó en el transcurso de la sequía, el número de hectáreas fluctúa de año en año. La Tabla 11 muestra la superficie sembrada perdida por el evento, a partir del año 2004 hasta el año 2012 (datos disponibles). Conforme a la auditoría realizada se consideran períodos de sequía, los años hidrológicos 2004/05 - 2006/07 y 2009/10.

Superficie (Ha)							
Año	Arroz	Maíz	Banano	Cacao	Café	Plátano	Total
2004	1233	4510	37	33	1858	11	7682
2005	1325	2577	193	321	1879	159	6454
2006	985	7463	95	1191	4391	188	14313
2007	105	554	40	179	474	78	1430
2008	56	617	98	438	134	74	1417
2009	1001	9773	954	1021	3096	1756	17601
2010	28	257	458	1618	1682	545	4588
2011	1442	9706	161	2665	2885	1002	17861
2012	216	853	19	1071	499	140	2798
TOTAL	6390	36310	2055	8536	16898	3952	74144

*Tabla 11 Superficie pérdidas durante la sequía en Manabí.
Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2014.*

La Tabla 11 muestra que las pérdidas en la superficie cultivada durante los años 2006 y 2009 fueron significativamente mayores con 14.313 hectáreas y 17.601 hectáreas respectivamente. Los cultivos de maíz (36.310 hectáreas) y café (16.898 hectáreas) registran mayores descensos en la superficie cultivada.

5.3.2 Análisis del sector Pecuario

El análisis del sector ganadero se realiza en base a los datos disponibles en el Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. Es necesario aclarar que no hay una fuente oficial que indique cuáles fueron pérdidas por causa de las sequías en el sector ganadero. Sin embargo, se ha analizado diversos factores en cada tipo de ganado (vacuno, porcino, equino, avicultura) en cuanto a producción y existencia.

5.3.2.1 Ganado vacuno

La Figura 5-29 muestra el cálculo del PDSI, la existencia de reses, el número de vacas ordeñadas, producción total de leche y el número de reses muertas; a partir del año 2004 hasta el año 2012 (datos disponibles). Conforme a la auditoría realizada se consideran períodos de sequía, los años hidrológicos 2004/05-2006/07 y 2009/10. Con los resultados generados podemos asumir que los cambios en la existencia y producción de leche del ganado están relacionados con la ocurrencia de la sequía en la zona. Los efectos a corto plazo son observables en la producción de leche, donde se refleja que, en los años de sequía, la producción cae. Otro efecto de la sequía es la muerte del ganado y, por lo tanto, la reducción de las existencias. Este efecto es observable a largo plazo. A continuación, se describen los cambios presentados durante los años de sequía.

Sequía 2004/05-2006/07

El número de vacas ordeñadas diariamente en el año 2004 fue 17.2304, en el año 2005 se ordeñaron 154.243 vacas y en el año 2006 las vacas ordeñadas fueron 152.411, y la producción de leche fue 510.464, 406.157 y 466.844 litros de leche por día respectivamente. En contraste en el 2008 que es considerado año normal, el número de vacas ordeñadas diariamente fue de 178.668, con una producción de 573.069 litros de leche por día. En cuanto a la existencia de reses, se registra en el año 2005 un total de 935.054 vacas, mientras que en el año 2006 se contabilizaron 897.710; lo que representa un 4% que el año anterior.

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

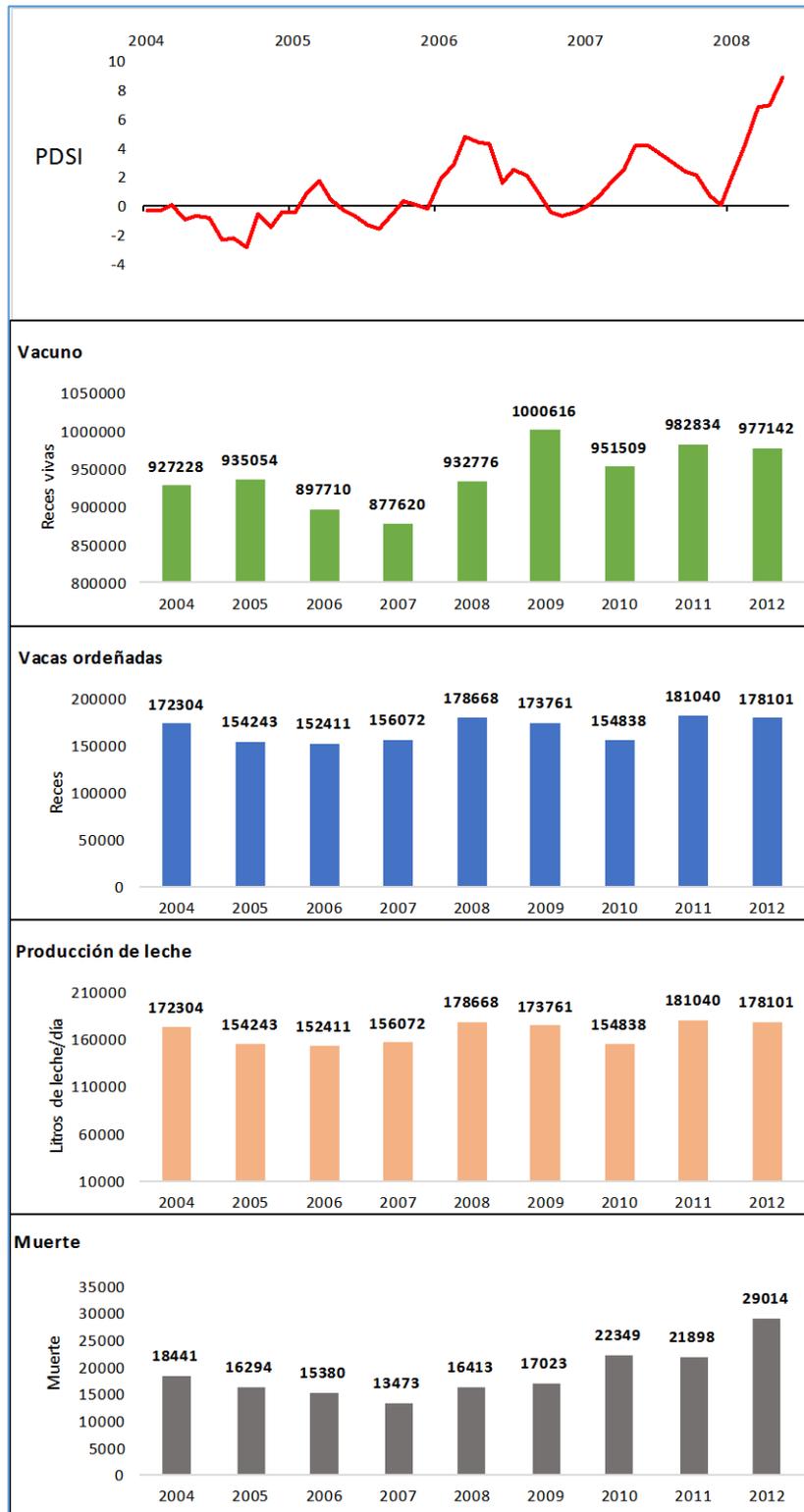


Figura 5-29 Contraste de PDSI vs la existencia, producción y muerte de ganado vacuno.

Sequía 2009/10

En el año 2008 considerado año normal, el número de vacas ordeñadas diariamente fue de 178.668, con una producción de 573.069 litros de leche por día, obteniendo un rendimiento de 3,72 litros por vaca por día. Mientras en el año 2009 considerado año seco, el número de vacas ordeñadas disminuyó a 173.761 y la producción diaria de leche se redujo a 494.350 litros, obteniendo un rendimiento de 2,84 litros por vaca por día. En el año 2009 se registran 1'000.616 vacas existentes, mientras que en el año 2010 se contabilizaron 951.509; lo que representa un 5% menos que el año anterior. Causando en el 2010 que el número de vacas ordeñadas disminuya a 154.838 y se obtenga una producción diaria de leche de 451.235 litros obteniendo un rendimiento de 2,91 litros de leche por vaca por día.

5.3.2.2 Ganado porcino y equino

Figura 5-30 muestra el cálculo del PDSI, la existencia de ganado porcino y equino (caballar y asnal) a partir del año 2004 hasta el año 2012 (datos disponibles). Conforme a la auditoría realizada se consideran períodos de sequía, los años hidrológicos 2004/05-2006/07 y 2009/10.

La correlación cruzada calculada con Lag 0, indica correlaciones nulas entre la existencia del ganado porcino y equino y el PDSI. En la Figura 5-30 se puede apreciar que la existencia de ganado no varía significativamente durante presencia del evento.

5.3.2.3 Avicultura

La Figura 5-31 muestra el cálculo del PDSI, la existencia de aves, su venta y la producción de huevos a partir del año 2004 hasta el año 2012 (datos disponibles). Conforme a la auditoría realizada se consideran períodos de sequía, los años hidrológicos 2004/05-2006/07 y 2009/10.

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

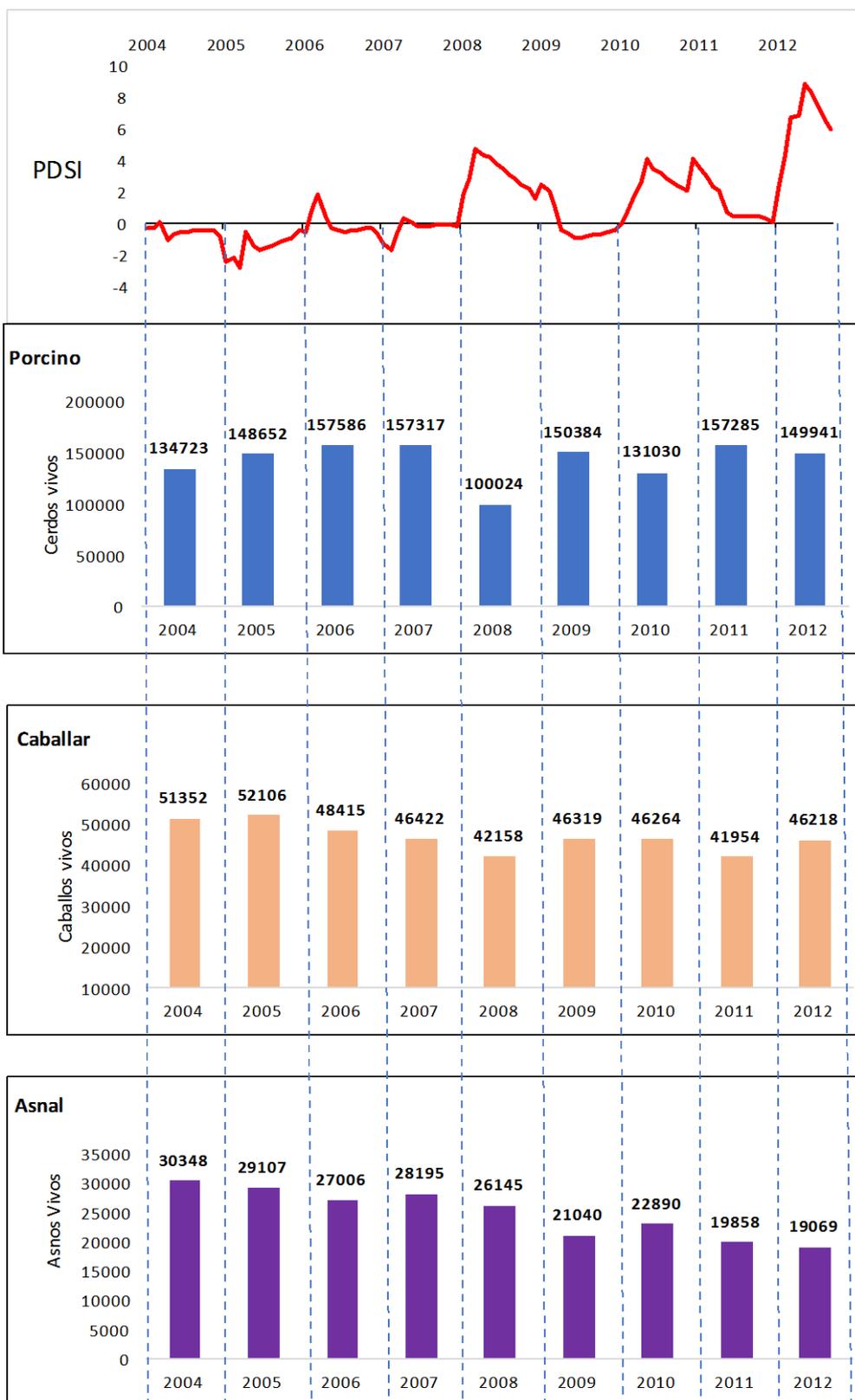


Figura 5-30 Contraste de PDSI vs la existencia de ganado porcino y equino (caballos y asnos).

Sequía 2004/05-2006/07

El número de aves existentes en el año 2004 fue 4'285.334, en el año 2005 fue 3'241.334 aves y en el año 2006 un total de 3'658.567 aves, y la producción de huevos diario fue 10'238.577, 9'679.846 y 7'389.203 respectivamente. En contraste en el 2008 que es considerado año normal, el número de aves existentes fue de 8'417.593, con una producción de 24'396.756 huevos por semana. En cuanto al número de aves vendidas diariamente, se registra en el año 2004 una venta de 1'224.759 aves, en el año 2005 se vendieron 710.459 aves y en el año 2006 se vendió un total de 1'687.200 aves. Mientras que en el año 2008 se registran ventas de 3'107.922 aves.

Sequía 2009/10

En el año 2008 considerado año normal, el número de aves existentes fue de 8'417.593, con una producción de 24'396.756 huevos por semana. Mientras en el año 2009 considerado año seco, el número de aves existentes disminuyó a 6'488.279 y la producción semanal de huevos se redujo a 12'800.946. En cuanto a las ventas en el año 2008 se registran 3'107.922 aves vendidas, mientras que en el 2009 se vendió 1'188.032 de aves, lo que representa 62% menos que el año anterior.

La correlación cruzada calculada con Lag 0, entre PDSI y la existencia de aves y su venta indica correlación moderada (0,40). Mientras que la correlación con la producción de huevos es muy débil (0,10). En la Figura 5-31 se puede apreciar la variación de los factores analizados durante los años de sequía. El análisis de los datos permite identificar que la avicultura se ve influenciada moderadamente por la ocurrencia de la sequía en la DHM.

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

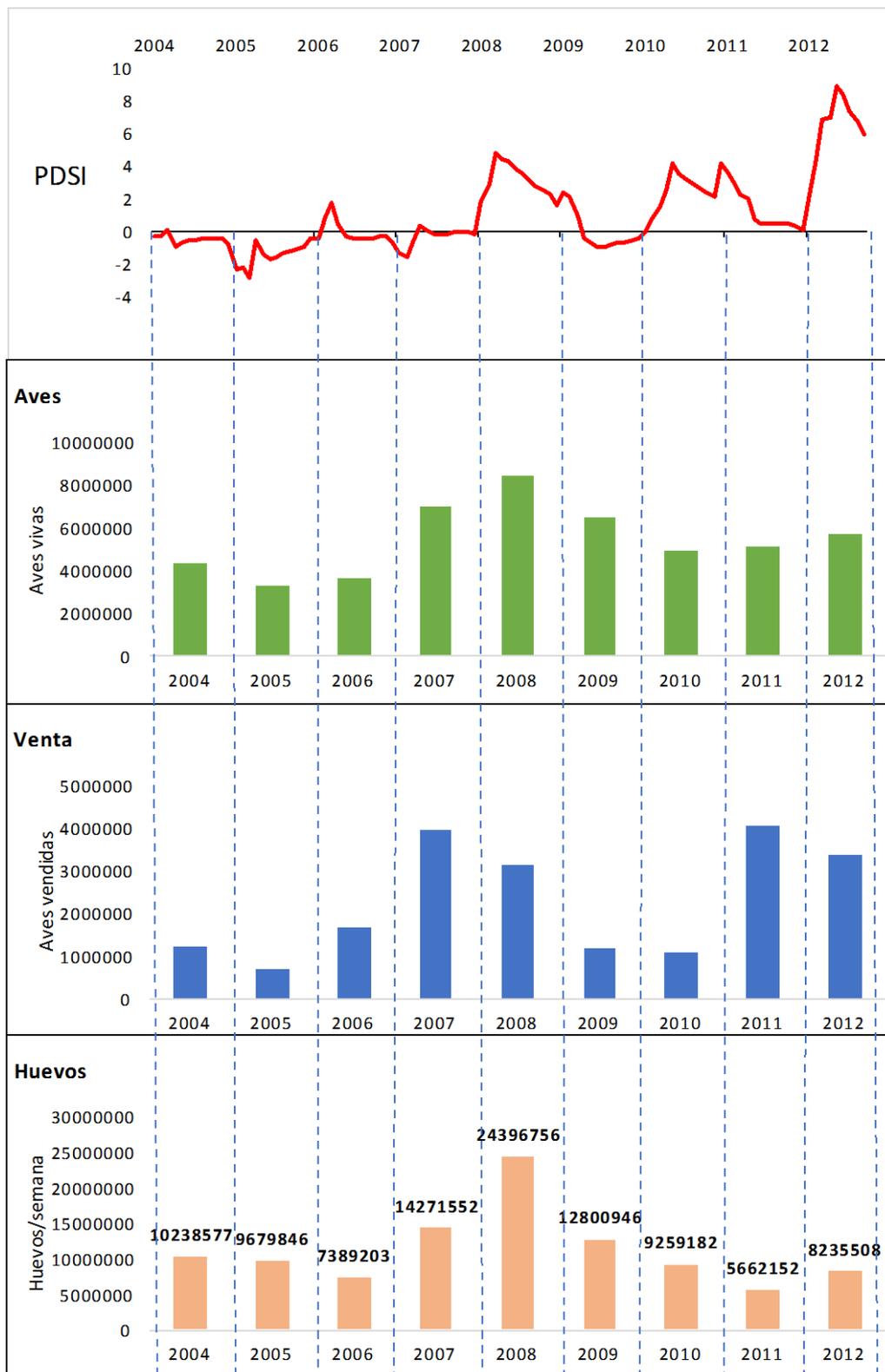


Figura 5-31 Contraste de PDSI vs la existencia de aves, ventas y producción de huevos.

5.3.3 Pérdidas económicas en el sector agropecuario

Los datos disponibles de ingresos de producción se registran desde el año 2007, por lo tanto, el análisis parte de ese año. Dado que solo se registra una sequía a partir del 2007 y es la ocurrida en el 2009, el análisis solo se pudo realizar a un año, y se detalla a continuación:

En el año 2009, Manabí registró un PIB de 5.549 millones de dólares representando el 5.8 % del PIB nacional (96.153 millones de USD). Respecto al sector agropecuario, Manabí tuvo un PIB de 938 millones de USD, un 9.6% del sector agropecuario nacional. Dentro de este sector, se produjeron ingresos por cría de animales (305 millones USD); silvicultura (34 millones USD); acuicultura, pesca industrial y artesanal (280 millones USD); otros cultivos (142 millones USD); por la producción de arroz, maíz, banano, café y cacao se registraron ingresos de 177 millones USD, lo que representó una disminución anual de 19,50 millones de dólares, con respecto a la producción de estos cultivos en el año 2008 que generó 197 millones de dólares (Figura 5-32). En el año 2009 se estiman pérdidas de 47,8 millones de dólares en los cultivos analizados (Tabla 12), de los cuales 7,2 millones USD corresponde a los cultivos de cereales (arroz y maíz) y 40,6 millones USD a cultivo de banano (28,1 millones), plátano (9,3 millones), café (1,8 millones) y cacao (1,4 millones), esto representa el 26,8% de los ingresos agrícolas totales de la provincia de Manabí. Con los datos analizados se deduce que una sequía moderada como la presentada en el año 2009, en la producción agrícola tiene un costo anual de aproximadamente 47 millones, lo que reduce el PIB total provincial en aproximadamente un 5% y a nivel nacional una reducción en el PIB del 0.5 %. Como dato relevante se menciona que en los últimos años la producción de los cultivos analizados en el año 2017 ha crecido significativamente, generando ingresos por 304,8 millones de dólares. En la Tabla 13 se muestra la tasa de pérdida de producción anual respecto a la producción agrícola en Manabí en los cultivos transitorios y permanentes.

Pérdidas económicas en millones de Dólares por cultivos a causa de la sequía							
Año	Arroz	Maíz	Banano	Cacao	Café	Plátano	Total
2004	3.0	2.2	1.1	0.0	1.1	0.1	7.4
2005	3.2	1.2	5.7	0.5	1.1	0.8	12.6
2006	2.4	3.6	2.8	1.7	2.5	1.0	14.0
2007	0.3	0.3	1.2	0.3	0.3	0.4	2.7
2008	0.1	0.3	2.9	0.6	0.1	0.4	4.4
2009	2.4	4.7	28.1	1.4	1.8	9.3	47.8
2010	0.1	0.1	13.5	2.3	1.0	2.9	19.9
2011	3.5	4.7	4.7	3.8	1.7	5.3	23.7
2012	0.5	0.4	0.5	1.5	0.3	0.7	4.0
Total	15.6	17.5	60.6	12.1	9.8	20.9	136.47

Tabla 12 Pérdidas en millones en dólares por cultivo debido a la sequía en Manabí.

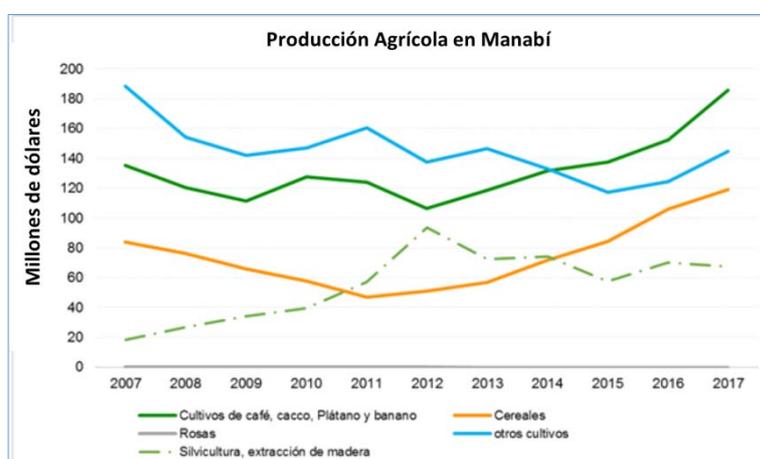


Figura 5-32 Producción del sector agrícola en la provincia de Manabí. Fuente: Banco Central del Ecuador.

El sector ganadero es también una línea importante de producción en Manabí. Los datos disponibles de ingresos de producción se registran desde el año 2007, por lo tanto, el análisis parte de ese año. Dado que solo se registra una sequía a partir del 2007, y es la ocurrida en el año 2009, el análisis solo se pudo realizar a un año, y se detalla a continuación:

Los ingresos generados en el año de sequía 2009 son de 305,2 millones de dólares siendo el 16% de toda la producción nacional, mientras que en el año siguiente (2010) fue de 263,5 millones de dólares con un 13% de la producción nacional. En el año 2011 los ingresos son inferiores (217,2 millones USD, 11% de la producción nacional) al 2010, esto refleja que el impacto económico de la sequía en el sector ganadero se extiende a años posteriores al evento, esto se debe a la baja producción

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

de leche por las muertes del ganado vacuno durante el evento. Esta reducción indica que la sequía en el PIB provincial produce pérdidas anuales de 42 millones de dólares representado en un 5%, mientras que en el PIB nacional el 0.5%. En contraste se observa que en el año 2017 (considerado año normal) los ingresos en el sector ganadero fueron de 336,9 millones de dólares (Figura 5-33).

	Arroz				Maíz			
	Superficie Perdida (ha)	Rendimiento (Tn/ha)	Costo (USD/Tn)	Pérdida económica (Mill. USD)	Superficie Perdida (ha)	Rendimiento (Tn/ha)	Costo (USD/Tn)	Pérdida económica (Mill. USD)
2007	105			0.2	554			0.3
2008	56			0.1	617			0.3
2009	1001	4.34	526.18	2.3	9773	3.03	159.2	4.7
2010	28			0.1	257			0.1
2011	1442			3.3	9706			4.7
2012	216			0.5	853			0.4

	Banano				Plátano			
	Superficie Perdida (ha)	Rendimiento (Tn/ha)	Costo (USD/Tn)	Pérdida económica (Mill. USD)	Superficie Perdida (ha)	Rendimiento (Tn/ha)	Costo (USD/Tn)	Pérdida económica (Mill. USD)
2007	40			1.2	78			0.4
2008	98			2.9	74			0.4
2009	954	40.26	732.48	28.1	1756	6.48	815.7	9.3
2010	458			13.5	545			2.9
2011	161			4.7	1002			5.3
2012	19			0.5	140			0.7

	Café				Cacao			
	Superficie Perdida (ha)	Rendimiento (Tn/ha)	Costo (USD/Tn)	Pérdida económica (Mill. USD)	Superficie Perdida (ha)	Rendimiento (Tn/ha)	Costo (USD/Tn)	Pérdida económica (Mill. USD)
2007	474			0.3	179			0.3
2008	134			0.1	438			0.6
2009	3096	0.47	1231.4	1.8	1021	0.62	2285.65	1.4
2010	1682			1.0	1618			2.3
2011	2885			1.7	2665			3.8
2012	499			0.3	1071			1.5

	Cereales (Arroz y Maíz)			Banano, plátano, café y cacao		
	Pérdida por sequía (Mill. USD)	Producción Manabí (Mill. USD)	Tasa de pérdida en prod. Anual	Pérdida por sequía (Mill. USD)	Producción Manabí (Mill. USD)	Tasa de pérdida en prod. Anual
2007	0.5	83.9	0.6%	2.1	135.2	1.6%
2008	0.4	76.4	0.6%	4.0	120.6	3.3%
2009	7.0	66.0	10.6%	40.7	111.5	36.5%
2010	0.2	57.9	0.3%	19.7	127.4	15.4%
2011	8.0	46.8	17.0%	15.5	124.0	12.5%
2012	0.9	50.9	1.8%	3.1	106.7	2.9%

	Producción agrícola		
	Pérdida por sequía (Mill. USD)	Producción Manabí (Mill. USD)	Tasa de pérdida en prod. Anual
2007	2.6	219.1	1.2%
2008	4.4	197.0	2.2%
2009	47.7	177.6	26.8%
2010	19.8	185.3	10.7%
2011	23.5	170.8	13.7%
2012	4.0	157.6	2.5%

Tabla 13 Tasa de pérdida de producción anual respecto a la producción agrícola en Manabí

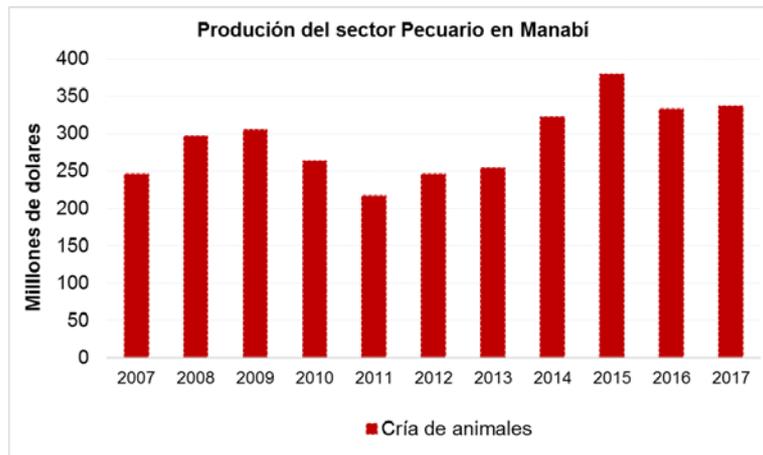


Figura 5-33 Ingresos en la producción pecuaria en la provincia de Manabí.
Fuente: Banco Central del Ecuador (BCE).

En el Anexo 2, se muestra un resumen de la aportación al PIB nacional y provincial del sector agricultura y las pérdidas económicas producidas en un año (2009) por la presencia de un evento de sequía, así como la reducción producida al PIB nacional y provincial, en el sector agricultura y en el PIB total.

5.4 SISTEMA DE PREDICCIÓN DE SEQUÍA BASADO EN ENSO E ÍNDICES DE SEQUÍA

5.4.1 Monitoreo y alerta temprana/predicción

La detección temprana de la sequía ayuda a lograr un mayor nivel de preparación para la sequía (Wilhite et al., 2000), permite predecir la ocurrencia e impacto de la sequía y obtener una respuesta oportuna.

La Demarcación Hidrográfica de Manabí está directamente influenciada por el evento El Niño Oscilación del Sur (en inglés ENSO). Las investigaciones afirman que El Niño, la fase cálida del ciclo ENSO, con frecuencia causa fuertes lluvias a lo largo de las regiones ecuatoriales y subtropicales del oeste de Sudamérica (Vargas et al., 2006). En la región costera de Ecuador. (Rossel, 1997) afirma que, el Niño influye en las precipitaciones, lo que aumenta significativamente su ocurrencia. Mientras que los estudios realizados en la región amazónica afirman que La Niña, región Niño 1+2, causa una disminución en las precipitaciones en la región Paute, sin embargo; esta afirmación es preliminar (Heredia & Pombosa, 1999).

Dado que los eventos de ENSO están vinculados a episodios de sequía (Barlow et al., 2001) varios estudios se han llevado a cabo para encontrar la relación entre ambos eventos, por ejemplo, (Wang & Kumar, 2015) encontraron una fuerte relación entre la sequía del suroeste de los Estados Unidos y La Niña durante el período 1948-1977, y entre las precipitaciones del suroeste y El Niño durante el período 1978-1999, llegando a la conclusión de que el ENSO puede alterar los patrones de precipitación y, por lo tanto, afectar las sequías del suroeste en términos de frecuencia e intensidad. Un estudio realizado en el desierto de Sonora, de mayo a septiembre de 2000-2015 (Zolotokrylin et al., 2016), indica que la probabilidad de condiciones húmedas entre mayo y septiembre se incrementó después de El Niño y La Niña o el establecimiento de condiciones La Niña. Del mismo modo (Verbist et al., 2010) concluyó que la región de Coquimbo, ubicada al norte de Chile, está bajo una fuerte influencia de El Niño, con un aumento de precipitación reportado durante los episodios de clima cálido. Sin embargo, la mayor parte de la influencia de ENSO en las sequías es causada por una disminución en la precipitación asociada con La Niña (Meza, 2013). En Entre Ríos, Argentina, La Niña está asociada con una sequía severa (de Rojas & Alicia, 2000). En contraste, los períodos secos en Australia se asocian

comúnmente con episodios de El Niño (Chiew et al., 1998). En la región suroeste de Irán, el fenómeno de El Niño intensifica las inundaciones de marzo a abril en comparación con las condiciones neutrales. Lo contrario ocurre en condiciones La Niña (Saghafian et al., 2017). Por esta razón existe un interés significativo en el uso de índices climáticos para el pronóstico a largo plazo de las sequías regionales (Vicente-Serrano et al., 2016).

5.4.2 Correlación entre ENSO y Sequías en la Costa Ecuatoriana

La predicción de eventos de sequía relacionados con ENSO es posible solo en base a observaciones, dado el gran retraso temporal entre el desarrollo de los fenómenos de ENSO y la identificación de las condiciones de sequía (Vicente-Serrano et al., 2011). En la Figura 5-34, Figura 5-35 y Figura 5-36 se muestran los resultados.

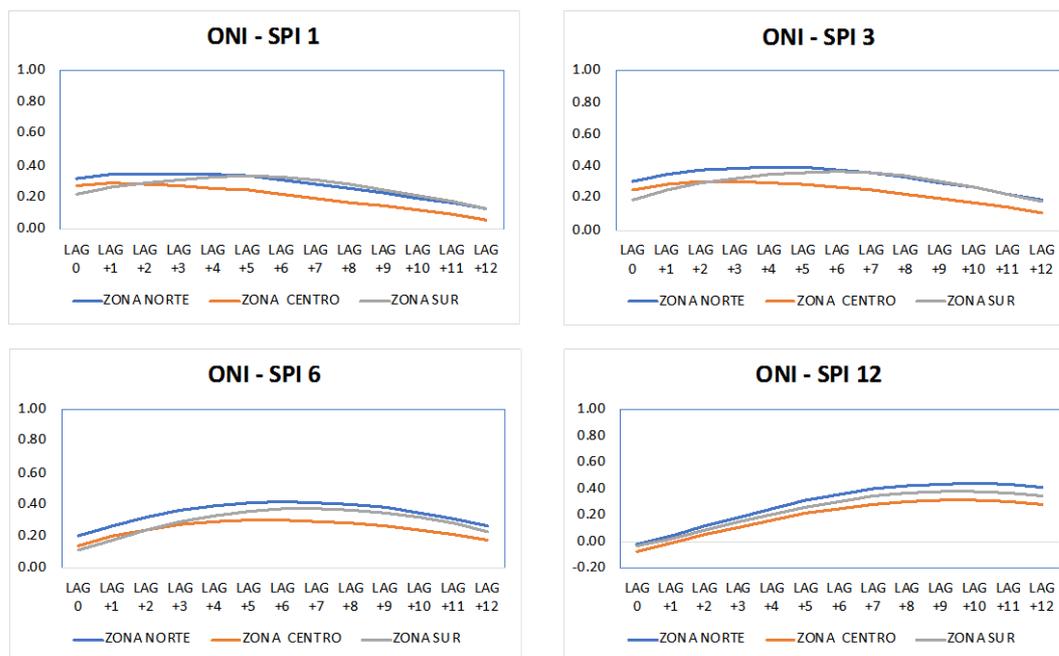


Figura 5-34 Relación del ONI con el SPI 1, 3, 6 y 12, desde Lag 0 hasta Lag+12.

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

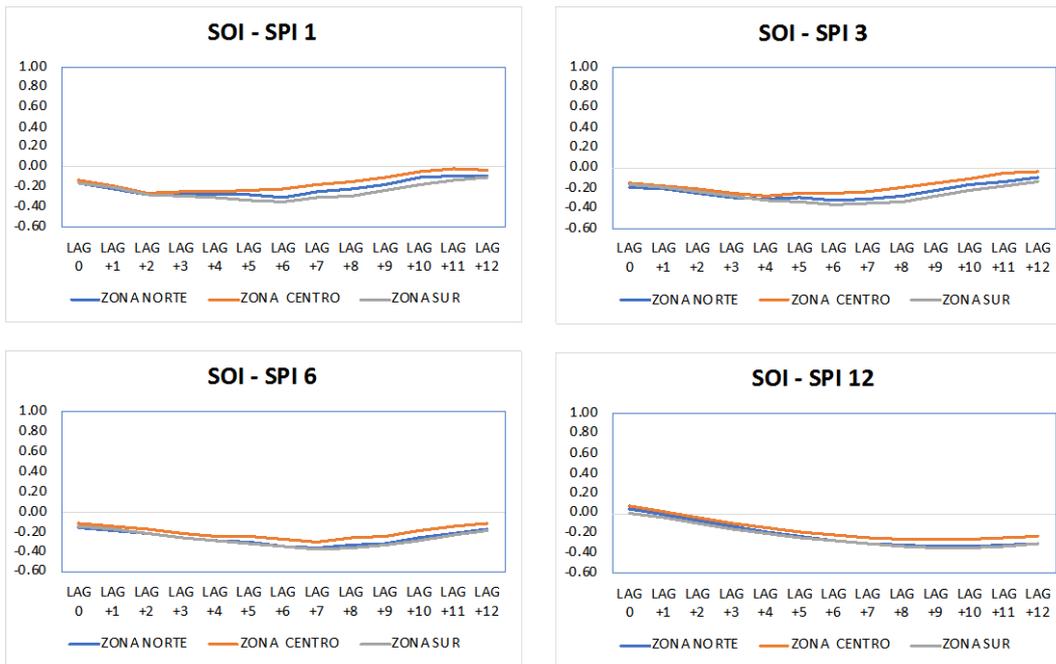


Figura 5-35 Relación del SOI con el SPI 1, 3, 6 y 12, desde Lag 0 hasta Lag+12.

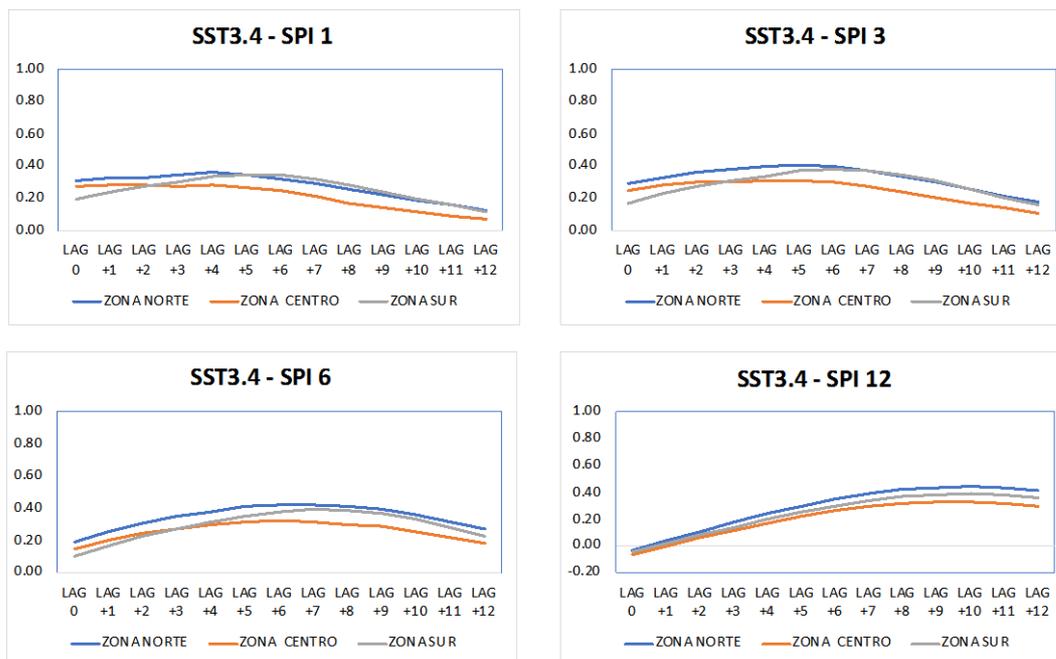


Figura 5-36 Relación del SST región Niño 3.4 con el SPI 1, 3, 6 y 12, desde Lag 0 hasta Lag+12.

Los resultados muestran correlaciones débiles y muy débiles (0,39 a 0,13) entre la región SST Niño 3.4, la SST región Niño 4, ONI y SOI, y los índices de sequía.

Sin embargo, hay una fuerte correlación (0,71) entre el SPI y la SST región Niño 1+2. Estos resultados son consistentes con (Coelho et al., 2002), quienes demostraron

que, cuanto más cerca esté un área de estudio de la región Niño 1+2, mayor será la influencia de la Temperatura Superficial del Mar sobre la precipitación.

La Zona Centro es la zona con mayor correlación entre SPI y SST región Niño 1+2, seguido de la Zona Norte y la Zona Sur. El SPI_3 y la SST región Niño 1+2 tuvo una fuerte correlación en la Zona Norte, Zona Centro y Zona Sur mientras que el SPI_6 mostró fuertes correlaciones en la Zona Norte y Zona Centro y correlaciones moderadas en la Zona Sur. El SPI_12 mostró correlaciones moderadas en las tres zonas (Figura 5-37).

La correlación entre el SPI_3 y la SST región Niño 3 fue moderada en la Zona Norte (0,47) y la Zona Centro (0,46), pero débil en la Zona Sur (0,34). La correlación entre SPI_6 y la SST región Niño 3 fue débil en las tres zonas, mientras que el SPI_12 mostró correlaciones muy débiles (Figura 5-38). La Figura 5-39 presenta un resumen de las correlaciones.

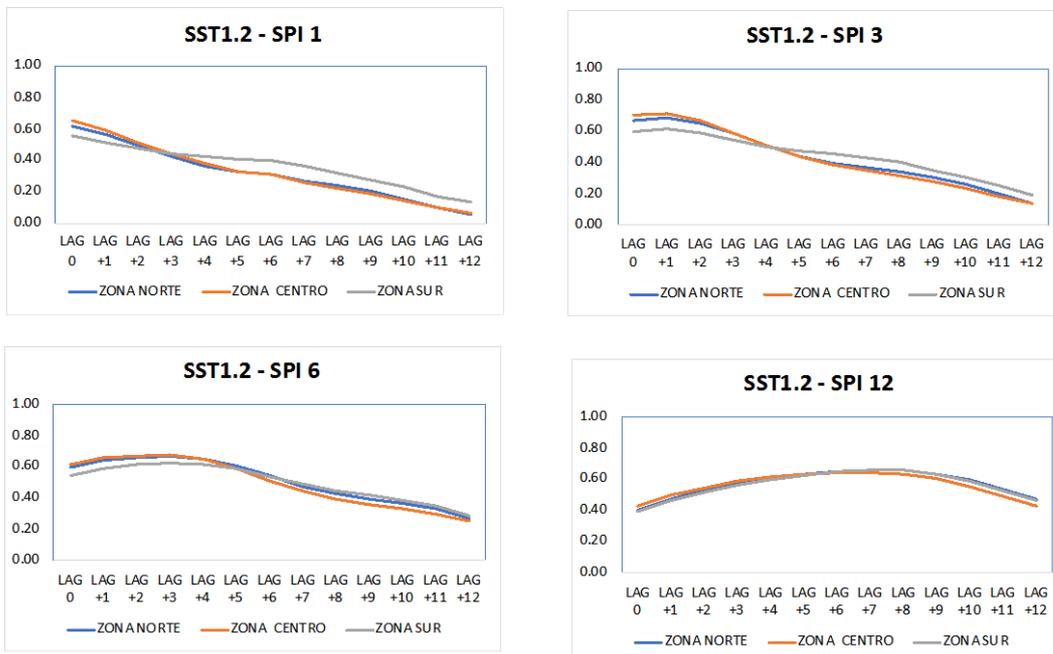


Figura 5-37 Relación del SST región Niño 1+2 con el SPI 1, 3, 6 y 12, desde Lag 0 hasta Lag+12.

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

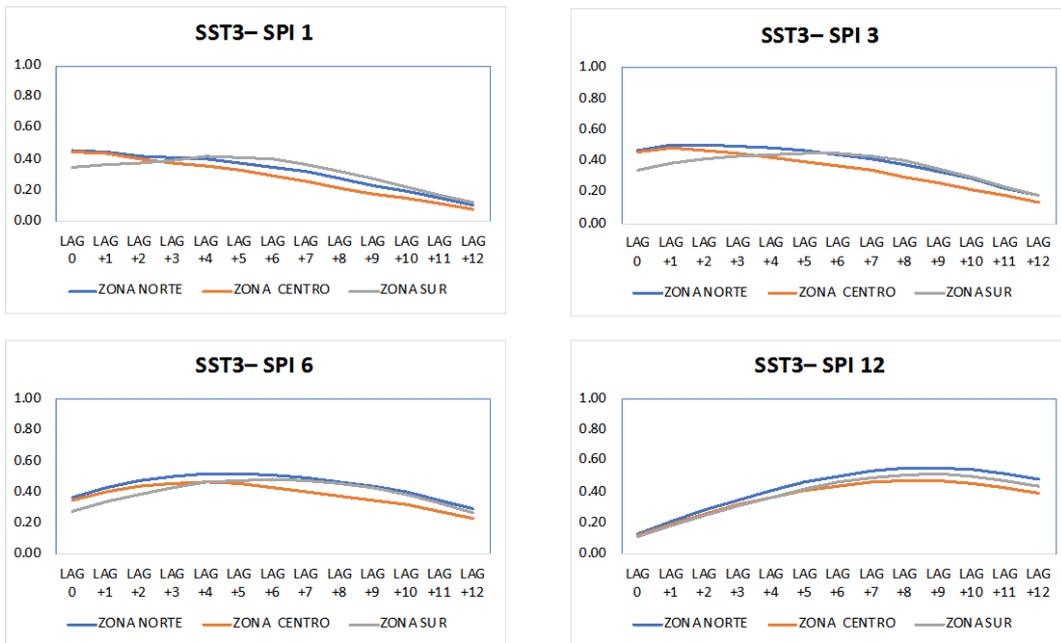


Figura 5-38 Relación del SST región Niño 3 con el SPI 1, 3, 6 y 12, desde Lag 0 hasta Lag+12.

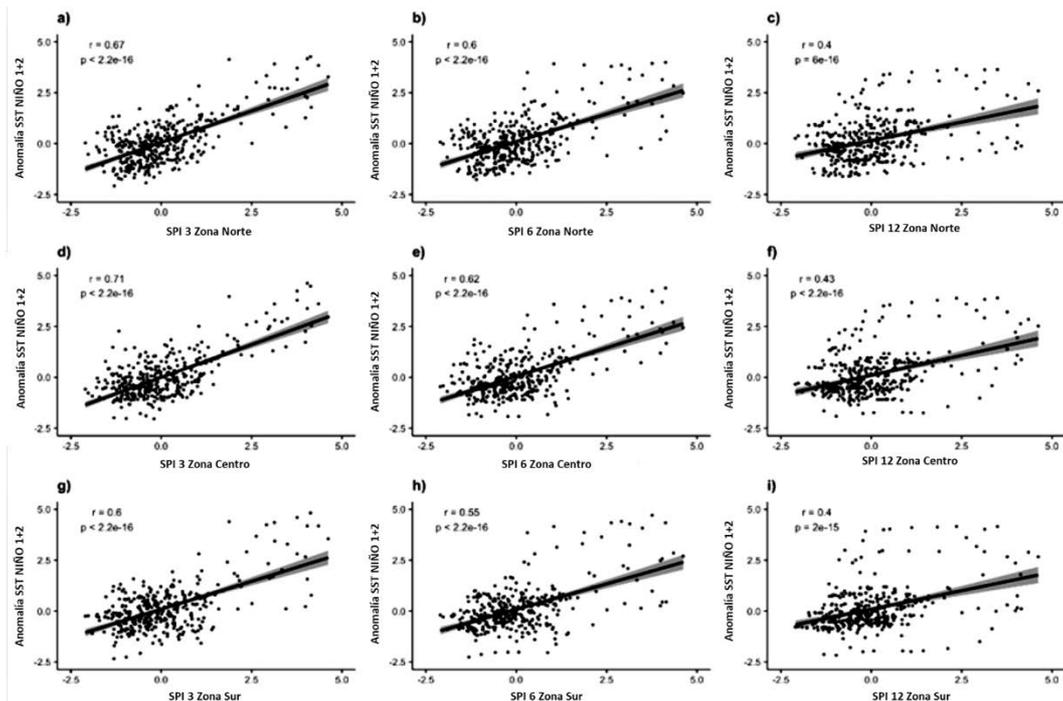


Figura 5-39 Correlación entre las anomalías SPI₃, SPI₆, SPI₁₂ y SST de la región 1+2 en las Zonas Norte, Centro y Sur de la DHM. La fuerza de la correlación positiva y negativa se evaluó utilizando las pautas de Evans (1996): muy débil: 0.00-0.019, débil: 0.20-0.39, moderada: 0.40-0.59, fuerte: 0.60-0.79, muy fuerte: 0.80-1.0.

Los resultados mostraron una correlación débil (0,38) entre PDSI y la SST región Niño 1+2. Sin embargo; la Figura 5-40 muestra episodios de sequía (Figura 5-40a)

cuando hubo largos períodos de anomalías negativas en la SST región Niño 1+2 (Figura 5-40b). Las correlaciones de Pearson entre PDSI y los índices climáticos restantes fueron muy débiles (Tabla 14). La fuerza de la correlación positiva y negativa se evaluó utilizando las pautas de (Evans, 1996): muy débil: 0,00-0,19; débil: 0,20-0,39; moderada: 0,40-0,59; fuerte: 0,60-0,79; muy fuerte: 0,80-1,0.

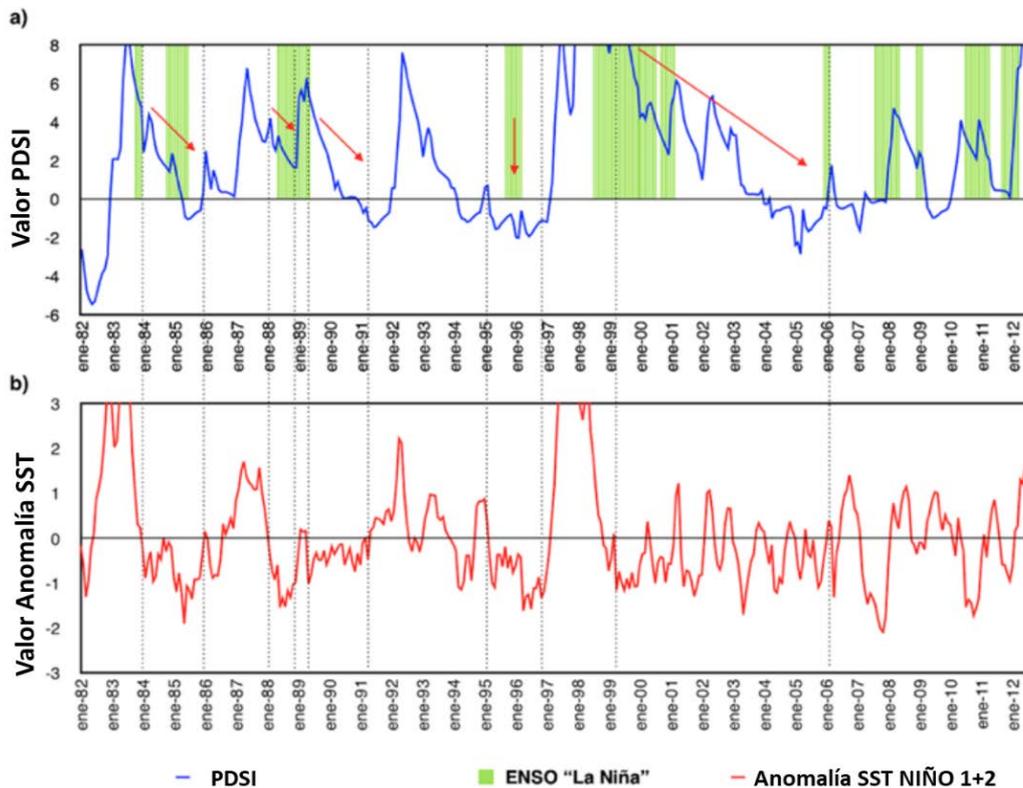


Figura 5-40 Contraste entre serie de PDSI y valores de anomalías de SST. a) Valores de PDSI en la Zona Centro de la DHM y evento ENSO "La Niña", con énfasis en la disminución del índice en algunos períodos. b) Anomalías de la SST región Niño 1+2, señalando largos períodos con valores negativos.

En Ecuador probablemente habrá condiciones cálidas en ENSO asociadas con lluvias más húmedas de lo normal y condiciones frescas con escenarios más secos (Cid-Serrano et al., 2015). (Vicente-Serrano et al., 2016) mostraron que el índice El Niño 1+2, en las llanuras occidentales, es positivo y predominantemente significativo, mientras que en El Niño 3.4 las correlaciones del índice son positivas, pero no estadísticamente significativas. Por lo tanto, el índice El Niño 1+2 controla la variabilidad de la sequía en las llanuras occidentales. Los episodios de sequía en las llanuras occidentales están mejor determinados por las condiciones frías de la

Temperatura Superficial del Mar (La Niña) en el Pacífico Oriental, este patrón se refuerza considerando el SPEI a los 3, 6 y 12 meses. Estos resultados son consistentes con los obtenidos en esta investigación.

La Tabla 14 muestra que los coeficientes de correlación más altos generalmente se concentran en los climas megatérmico seco y subhúmedo seco (Zona Norte y Zona Centro). Özger et al. (2009) mencionan que el PDSI y la SST región Niño 3 y Niño 3.4 están altamente correlacionadas en las regiones áridas y continentales de Texas, en comparación con las regiones orientales húmedas. En la región de origen del río Amarillo, se observa que los eventos ENSO tienen una influencia en la precipitación de verano, y que SST más altas en las áreas del Pacífico ecuatorial correspondiente a El Niño coincide con menos precipitación de verano (Yuan et al., 2016).

La Tabla 15 presenta un resumen de la correlación cruzada calculada con los resultados del retraso de 1 a 12 meses. Los resultados indicaron correlaciones débiles y muy débiles (0,39 a 0,14) entre la SST región Niño 3.4, la SST región Niño 4, ONI y SOI, y los índices de sequía SPI y PDSI. Sin embargo, hubo una fuerte correlación (0,62 – 0,72) entre SPI y SST región Niño 1+2. La Zona Centro es la zona con mayor correlación entre SPI y SST región Niño 1+2, seguido de la Zona Norte y la Zona Sur. El SPI₁, 3, 6, 12 y la SST región 1+2 tuvieron una fuerte correlación en todas las zonas, mientras que la correlación con la región SST 3 mostró una correlación moderada (0,40 – 0,59). Los resultados mostraron una correlación moderada (0,44) entre PDSI y la SST región Niño 1+2, y correlaciones débiles y muy débiles entre PDSI y los índices climáticos restantes.

La correlación cruzada muestra el mismo patrón (retraso 0, +1, +3, +7 para SPI₁, SPI₃, SPI₆ y SPI₁₂, respectivamente) en las tres zonas estudiadas. Los coeficientes de correlación cruzada del retraso +1, +3, +7 entre SST Niño 1+2 y SPI, significan que la sequía ocurrió 1 mes, 3 meses y siete meses después del comienzo del fenómeno de La Niña, respectivamente. La correlación cruzada en el retraso 0 significa que los eventos ocurrieron simultáneamente. También identificamos la mayor correlación entre SPI₁₂ y SST regiones Niño 3, 3.4; ONI y SOI, con retraso +9 y con retraso +12 para la SST región Niño 4.

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

	Zona Norte			Zona Centro			PDSI mensual	Zona Sur		
	SPI 3	SPI 6	SPI 12	SPI 3	SPI 6	SPI 12		SPI 3	SPI 6	SPI 12
SST 1+2	0,67	0,60	0,40	0,71	0,62	0,43	0,38	0,60	0,55	0,40
SST 3	0,47	0,37	0,14	0,46	0,35	0,13	0,05	0,34	0,27	0,12
SST 3.4	0,29	0,19	-0,04	0,25	0,15	-0,07	0,1	0,17	0,10	-0,04
SST 4	0,06	-0,03	-0,20	-0,03	-0,11	-0,26	0,3	-0,03	-0,08	-0,17
ONI	0,28	0,20	0,00	0,24	0,14	0,00	0,00	0,17	0,10	0,00
SOI	0,20	0,14	0,00	0,14	0,14	0,00	0,00	0,14	0,14	0,00

Tabla 14 Resultados de la correlación de Pearson de los índices de sequía utilizados para las Zonas Norte, Centro y Sur de la DHM con los índices climáticos ONI, SOI y SST.

La correlación cruzada mostró fuertes correlaciones entre SPI y la SST región Niño 1+2, correlaciones moderadas entre SPI y SST regiones Niño 3, 3.4, ONI y SOI, y correlaciones débiles entre SPI y la SST región Niño 4. Estos resultados permiten predecir eventos de sequía a corto y largo plazo utilizando el retraso respectivo e indican que la precipitación en el área de estudio varía de acuerdo a la temperatura del mar.

Zona	Índice	SST 1+2	SST 3	SST 3.4	SST 4	ONI	SOI
Norte	SPI 1	0,62 lag 0	0,45 lag 0	0,36 lag +4	0,23 lag +5	0,35 lag +1	-0,30 lag +6
	SPI 3	0,69 lag +1	0,50 lag +1	0,41 lag +5	0,26 lag +7	0,40 lag +4	-0,33 lag +6
	SPI 6	0,67 lag +3	0,52 lag +4	0,42 lag +6	0,27 lag +8	0,42 lag +6	-0,35 lag +7
	SPI 12	0,66 lag +7	0,56 lag +9	0,44 lag +9	0,26 lag +12	0,44 lag +9	-0,33 lag +9
Centro	SPI 1	0,65 lag 0	0,45 lag 0	0,29 lag +2	0,14 lag +5	0,29 lag +1	-0,25 lag +2
	SPI 3	0,72 lag +1	0,48 lag +1	0,31 lag +3	0,14 lag +6	0,31 lag +3	-0,28 lag +4
	SPI 6	0,68 lag +3	0,47 lag +4	0,32 lag +5	0,15 lag +8	0,31 lag +5	-0,29 lag +7
	SPI 12	0,64 lag +7	0,47 lag +8	0,33 lag +9	0,13 lag +12	0,31 lag +9	-0,26 lag +9
	PDSI	0,44 lag +1	0,27 lag +7	0,14 lag +8	-0,30 lag 0	0,13 lag +1	-0,10 lag 0
Sur	SPI 1	0,56 lag 0	0,42 lag +4	0,35 lag +5	0,21 lag +7	0,34 lag +5	-0,35 lag +6
	SPI 3	0,62 lag +1	0,45 lag +5	0,38 lag +6	0,22 lag +8	0,37 lag +6	-0,36 lag +6
	SPI 6	0,63 lag +3	0,48 lag +6	0,39 lag +7	0,21 lag +9	0,38 lag +7	-0,37 lag +7
	SPI 12	0,66 lag +7	0,52 lag +9	0,39 lag +9	0,19 lag +11	0,38 lag +9	-0,34 lag +9

Tabla 15 Resultados de la correlación cruzada de los índices de sequía utilizados para las zonas norte, centro y sur de la DHM con los índices climáticos ONI, SOI y SST.

5.4.3 Metodología para la detección Temprana de Sequía

Para la detección temprana de la sequía, se ha combinado los índices de sequía con ENSO. Se utiliza el SPI y PDSI con la SST regiones Niño. Para detectar la sequía temprano, es necesario realizar las siguientes observaciones antes del inicio de la estación húmeda:

1. anomalías previas de la SST regiones Niño 1+2, 3 y 3.4, y su tendencia futura, para identificar si habrá condiciones anómalas en la precipitación de la próxima estación húmeda y;
2. el comportamiento de SPI_3, SPI_12 y PDSI. En la Figura 5-41 se muestra cómo se puede detectar una sequía estacional tempranamente, tomando como ejemplo la sequía extrema de 1982, donde, en el mes de diciembre que marca el comienzo de la estación húmeda, se analizan las anomalías de Temperatura Superficial del Mar en la región Niño 1+2, con retraso -7 (mayo-noviembre) y en las regiones Niño 3 y 3.4 con retraso -9 (marzo-diciembre). Además, se debe observar el comportamiento del PDSI en meses anteriores, si el valor del PDSI es cercano a cero, la probabilidad de ocurrencia de sequía aumenta.

Para detectar una sequía anual, se debe evaluar la evolución de la estación húmeda, sabiendo que, si se registraron precipitaciones normales en la estación húmeda, es poco probable que ocurra una sequía anual. Sin embargo, cuando se registran valores por debajo del promedio, la probabilidad de ocurrencia de sequía es alta. En la Figura 5-42, se ejemplifica la aplicación del procedimiento de detección temprana de sequía. Para emitir la detección temprana de la sequía, se deben considerar los criterios establecidos en la Tabla 16, éstos se basan en el análisis de los valores de los índices de sequía aplicados en el caso de estudio y los valores de anomalía de la SST, siguiendo el procedimiento establecido en la figura 5-41.

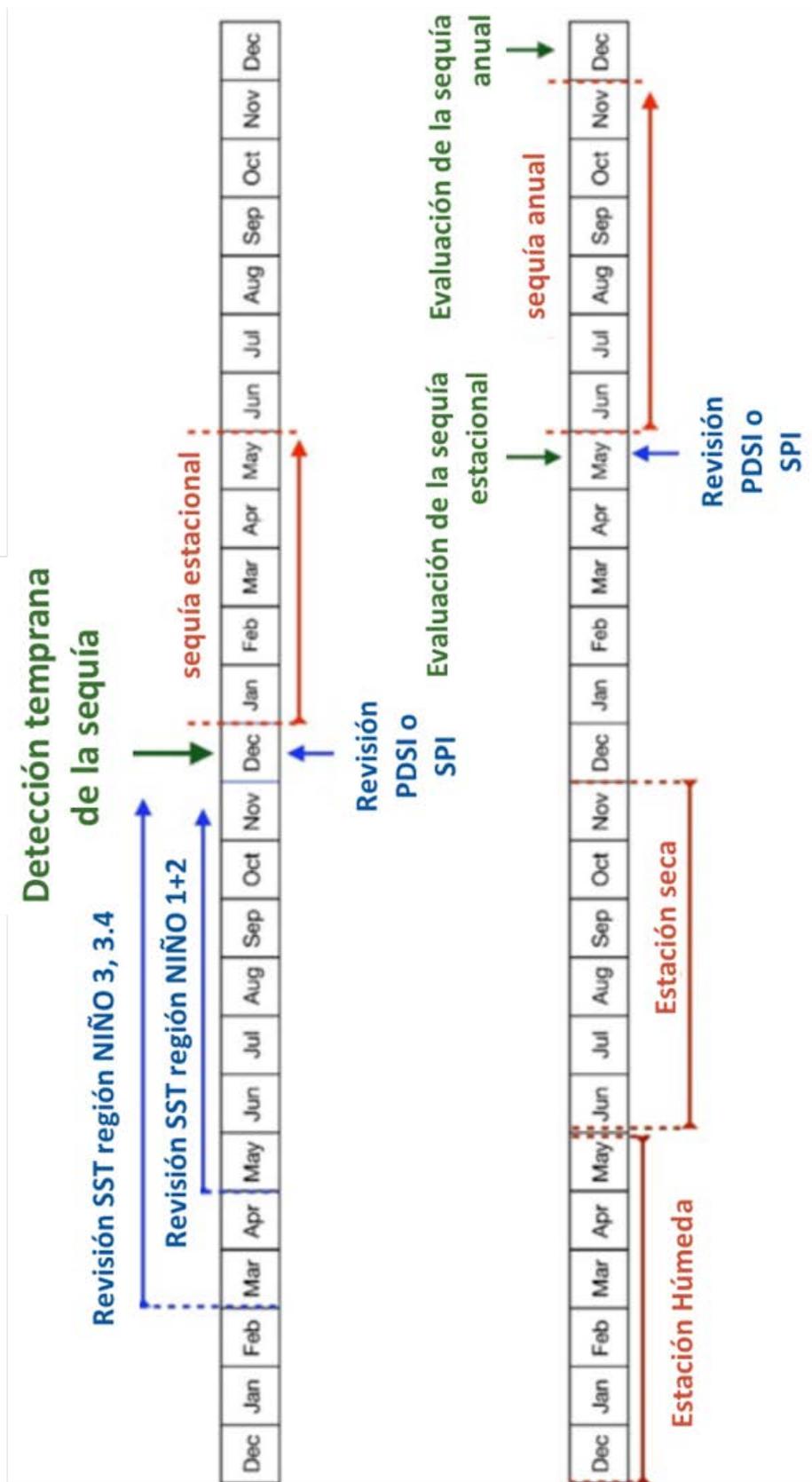


Figura 5-41 Sistema de detección temprana de sequía aplicado en diciembre y mayo (datos utilizados en color azul).

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

Meses de evaluación	Índice de sequía usado	Rango de Índice de sequía usado	Rango de SST 1+2	Probabilidad de sequía	Tipo de sequía
Diciembre / Mayo	PDSI	> 0,5	< -0,5	Alta	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	SPI-12	> 1	< -0,5	Alta	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	PDSI	> 0,5	> -0,5 - <0,5	Media	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	SPI-12	> 1	> -0,5 - <0,5	Media	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	PDSI	> 0,5	> 0,5	Baja	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	SPI-12	> 1	> 0,5	Baja	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	PDSI	1 - 0	< -0,5	Alta	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	SPI-12	0 - > -0,5	< -0,5	Alta	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	PDSI	1 - 0	> -0,5 - <0,5	Media	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	SPI-12	0 - > -0,5	> -0,5 - <0,5	Media	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	PDSI	1 - 0	> 0,5	Baja	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	SPI-12	0 - > -0,5	> 0,5	Baja	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	PDSI	< -0,5	< -0,5	Alta	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	SPI-12	< -1	< -0,5	Alta	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	PDSI	< -0,5	> -0,5 - <0,5	Media	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	SPI-12	< -1	> -0,5 - <0,5	Media	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	PDSI	< -0,5	> 0,5	Baja	Estacional / Anual
Diciembre / Mayo	SPI-12	< -1	> 0,5	Baja	Estacional / Anual

Tabla 16 Criterios definidos para establecer la probabilidad de aparición futura de sequía.

Como limitaciones, los datos hidrológicos disponibles en todo el Ecuador son escasos, lo que puede hacer menos confiable la aplicación del método propuesto en otras cuencas hidrográficas con grave falta de datos. En relación con los desarrollos futuros, el vínculo automático entre el sistema propuesto y la implementación de medidas de sequía puede contribuir a reducir las demoras en el proceso de toma de decisiones y, luego, mitigar los impactos de las sequías.

Determinación de medidas de gestión de sequías en climas tropicales: Aplicación a la Demarcación Hidrográfica de Manabí - Ecuador

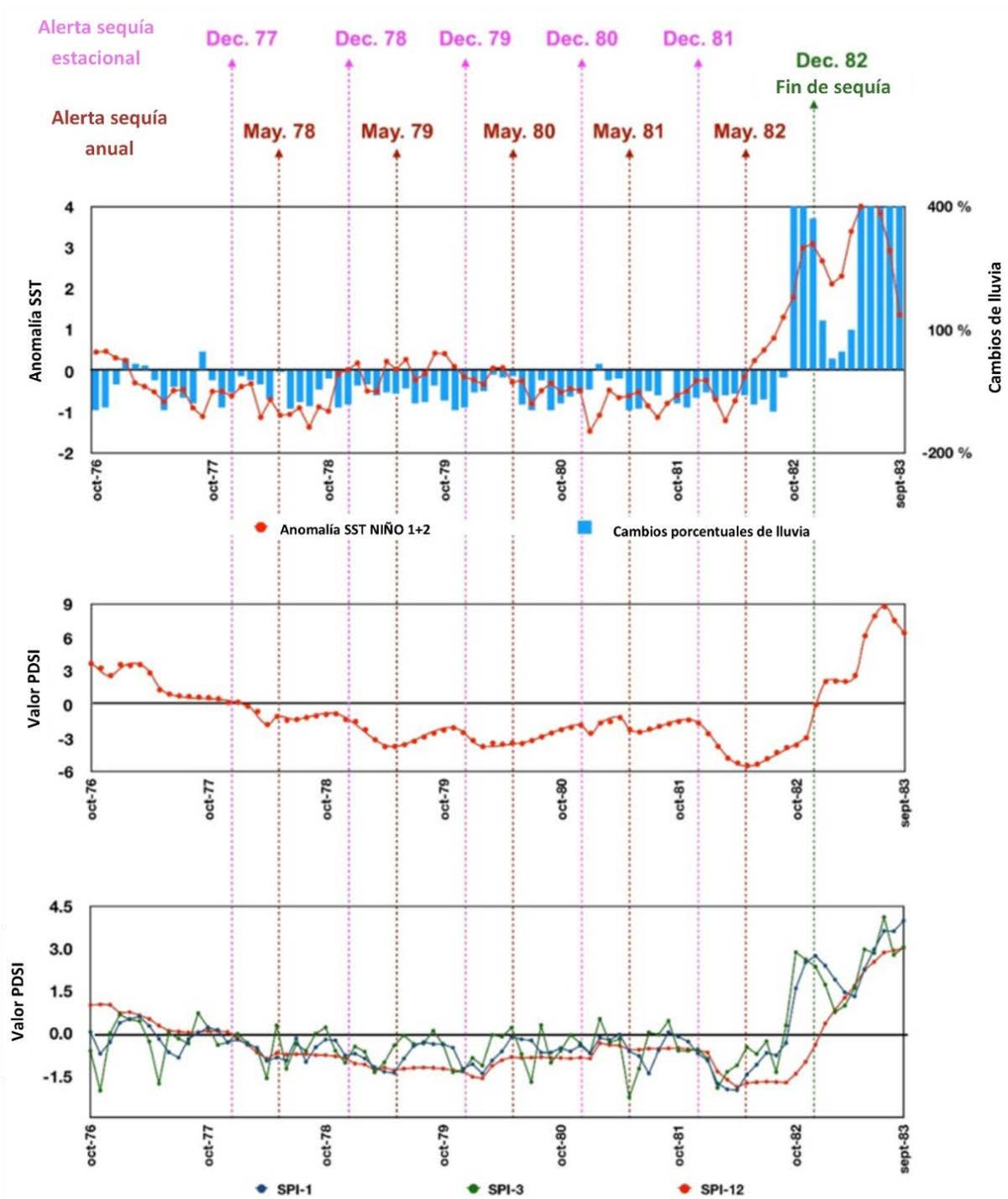


Figura 5-42 Aplicación del procedimiento de detección temprana de sequía en la sequía extrema de 1982 en la DHM.

5.5 MEDIDAS DE GESTIÓN DE SEQUÍA PARA LA DHM

5.5.1 Preparación para la sequía

La preparación para la sequía puede aumentar la capacidad de adaptación y la resistencia, porque va más allá del enfoque reactivo tradicional que ha resultado en una autosuficiencia reducida y una coordinación limitada entre instituciones y sectores (Engle, 2012, Hayes et al., 2004). Las características que constituyen la preparación efectiva para la sequía son diferentes según la escala a la que se evalúa, así como el sector de interés. La preparación para la sequía se encapsula tres categorías básicas; monitoreo y alerta temprana/predicción, evaluación de vulnerabilidad/resiliencia e impacto, y medidas y planificación de mitigación y respuesta (Wilhite et al., 2005).

5.5.1.1 Etapas, indicadores y umbrales de sequía

El monitoreo meteorológico, hidrológico, oceánico, y el uso de indicadores de sequía determinará el inicio o finalización de cada una de las etapas de la sequía y permitirá plantear escenarios enfocados a la respuesta temprana.

Los criterios aplicables en cada etapa de sequía se deben establecer de acuerdo al análisis de las fuentes de suministro (niveles de embalses, acuíferos, ríos) así como las condiciones ambientales existentes. Estos elementos determinan la situación de contingencia, de acuerdo con una previsión de la disponibilidad a mediano plazo. La disponibilidad varía de acuerdo con el patrón de la demanda (mensual o anual) que a su vez debe considerar las condiciones previstas.

El desarrollo de este capítulo se apoya principalmente en el Programa de Medidas Preventivas y de Mitigación de la Sequía del Consejo de Cuenca del Río Balsas (PMPMS-CCRB). Es así que, para establecer las etapas, los indicadores y los umbrales de la sequía, se toma como referencia los estándares internacionales y los Lineamientos publicados por la Comisión Nacional del Agua - México (CONAGUA) en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el 22 de noviembre de 2012.

Las etapas de la sequía están determinadas por sus rangos de intensidad, estos son:

Anormalmente Seco (E0): No es en sí una sequía, se trata de una condición de sequedad que se presenta al inicio o al final de la sequía. Al inicio de la sequía, la

sequedad de corto plazo conlleva al retraso de la siembra de cultivos anuales, al crecimiento limitado de los cultivos o pastos, y al riesgo de incendios por encima del promedio. Y en la finalización de la sequía la condición de sequedad da lugar a un déficit continuo de agua, y a pastos o cultivos no recuperados completamente.

Sequía Moderada (E1): Cuando se presentan algunos daños a los cultivos y pastos, alto riesgo de incendios, niveles bajos en arroyos, embalses y pozos, escasez de agua.

Sequía Severa (E2): Cuando hay probabilidad de pérdidas en cultivos o pastos, muy alto riesgo de incendios, la escasez de agua es común.

Sequía Extrema (E3): Se presentan mayores pérdidas en cultivos o pastos, peligro extremo de incendio, la escasez de agua se generaliza.

Sequía Excepcional (E4): Se presentan pérdidas excepcionales y generalizadas de los cultivos o pastos, riesgo de incendio excepcional, muy poca agua en los embalses, arroyos y pozos.

5.5.1.2 Declaración de emergencia de sequía

Para determinar la existencia de una emergencia por sequía, se debe analizar los registros climatológicos e hidrométricos utilizando como indicadores índices meteorológicos e hidrológicos, respectivamente. Esta investigación presenta la aplicación del índice meteorológico SPI (Índice de Precipitación Estandarizado) y el índice agrícola PDSI (Índice de Severidad de Sequía de Palmer). Sin embargo, se pueden utilizar otros métodos o índices vigentes y viables de aplicar con reconocimiento nacional e internacional.

El criterio para considerar la existencia de una emergencia por sequía será cuando se determine una clasificación de **sequía severa** en el SPI o PDSI (Tabla 17).

Etapa de sequía		SPI	PDSI
Condición anormal seca	E0	-0,5 a -0,8	-0,5 a -1,0
Sequía moderada	E1	-0,8 a -1,2	-1,0 a -2,0
Sequía severa	E2	-1,2 a -1,5	-2,0 a -3,0
Sequía extrema	E3	-1,5 a -2,0	-3,0 a -4,0
Sequía excepcional	E4	<-2,0	<-4,0

Tabla 17 Clasificación de etapas de sequía en función de los valores de SPI y PDSI.

5.5.1.3 Medidas de prevención, mitigación y respuesta de sequías

Aunque no es posible evitar la ocurrencia de sequía, pueden mitigarse considerablemente sus efectos, para lo cual es necesario fortalecer e implementar medidas que reduzcan los impactos causados por el déficit hídrico en el corto y largo plazo.

En esta investigación se determinan medidas estratégicas, tácticas y de emergencia (CHJ, 2007) para afrontar la sequía antes de que ocurra, cuando está iniciando o cuando ya está presente; respectivamente.

Medidas estratégicas: Son actuaciones a largo plazo de carácter institucional e infraestructural, que forman parte de la planificación hidrológica (estructuras de almacenamiento y regulación, normativa y ordenación de usos).

Medidas tácticas: Son actuaciones a corto plazo planificadas y validadas con anticipación en el marco del programa de sequía. Se activarán en las fases de prealerta y alerta.

Medidas de emergencia: Son actuaciones que se activan en estado de igual denominación y tienen como finalidad alargar el máximo tiempo posible los recursos hídricos disponibles.

Las medidas para enfrentar las sequías se aplicarán de acuerdo con la etapa del evento. Las etapas definidas en este estudio se basan en valores de intensidad de sequía conforme al Índice de Precipitación Estandarizado (McKee et al., 1993) e Índice de Severidad de sequía de Palmer (W. C. Palmer, 1965).

Primera Etapa (E1): Sequía moderada (Condición reducida de escasez de agua):

Iniciará cuando el sistema de predicción de sequía establecido identifique el desarrollo de la Etapa (E1) con el valor del SPI_12 meses y el PDSI mensual. La etapa finalizará cuando se hayan superado las condiciones que generaron el evento. El objetivo de la E1 es conseguir hasta un 10% de reducción en la demanda diaria del suministro de agua potable por acción voluntaria de los propios usuarios.

Segunda Etapa (E2): Sequía severa (Condición limitante previsible de escasez de agua):

Iniciará cuando se identifique la E2. La etapa finalizará cuando se hayan superado las condiciones que generaron el evento. Cuando finaliza la segunda etapa se activa la primera etapa. El objetivo de la E2 es conseguir hasta un 30% de reducción en la demanda diaria del suministro de agua potable a través de las medidas generales obligatorias.

Tercera Etapa (E3): Sequía extrema (Condiciones de gran escasez de agua):

Iniciará cuando se comunique que se alcanzó la E3. La etapa finalizará cuando se hayan superado las condiciones que generaron el evento. Cuando finaliza la tercera etapa se activa la segunda etapa. El objetivo de la E3 es conseguir hasta un 40% de reducción en la demanda diaria del suministro de agua potable mediante las medidas generales obligatorias.

Cuarta Etapa (E4): Sequía excepcional (Condiciones de exagerada escasez de agua):

Iniciará cuando se declare la E4. La etapa finalizará cuando se hayan superado las condiciones que generaron el evento. Cuando finaliza la cuarta etapa se activa la tercera etapa. El objetivo de la E4 es conseguir hasta un 50% de reducción en la demanda diaria del suministro de agua potable a través de medidas generales obligatorias.

Las etapas de sequía descritas anteriormente se han equiparado con los niveles de estado de la sequía: situación de normalidad, situación de prealerta, situación de alerta y situación de emergencia (CHJ, 2007) (Tabla 18).

Estado de normalidad: cuando el indicador toma valores que correspondan a dicho estado (SPI: -0,5 a -0,8) (PDSI: -0,5 a -1,0).

Estado de prealerta: cuando el indicador toma valores que correspondan a dicho estado durante (SPI: -0,8 a -1,2) (PDSI: -1,0 a -2,0). Esta fase finaliza cuando el indicador presenta valores superiores al umbral de prealerta.

Estado de Alerta: cuando el indicador toma valores que correspondan a dicho estado (SPI: -1,2 a -1,5) (PDSI: -2,0 a -3,0). Esta fase finaliza cuando el indicador presenta valores superiores al umbral de alerta o valores superiores al umbral de prealerta.

Estado de Emergencia: cuando el indicador toma valores que correspondan a dicho estado durante (SPI: -1,5 a <-2,0) (PDSI: -3 a <-4). Esta fase finaliza cuando el indicador presenta valores superiores al umbral de emergencia o valores superiores al umbral de alerta.

Etapa de sequía	SPI	Etapa de sequía	Estado	Medidas
Condición anormal seca	-0,5 a -0,8	E0	Normalidad	Estratégicas
Sequía moderada	-0,8 a -1,2	E1	Prealerta	
Sequía severa	-1,2 a -1,5	E2	Alerta	Tácticas
Sequía extrema	-1,5 a -2,0	E3	Emergencia	Emergencia
Sequía excepcional	<-2,0	E4	Emergencia	
Intensidad de sequía	PDSI	Etapa de sequía	Estado	Medidas
Condición anormal seca	-0,5 a -1,0	E0	Normalidad	Estratégicas
Sequía moderada	-1,0 a -2,0	E1	Prealerta	
Sequía severa	-2,0 a -3,0	E2	Alerta	Tácticas
Sequía extrema	-3,0 a -4,0	E3	Emergencia	Emergencia
Sequía excepcional	<-4,0	E4	Emergencia	

Tabla 18 Clasificación de medidas de sequía en función de la intensidad del evento.

A continuación, se ejemplifican medidas genéricas estratégicas, tácticas y de emergencia para afrontar la sequía.

Medidas	E0	E1	E2	E3	E4
	Normalidad	Prealerta	Alerta	Emergencia	Emergencia
	Condición anormal seca	Sequía moderada	Sequía severa	Sequía extrema	Sequía excepcional
Estratégicas	Construir infraestructuras para sequías.	-	-	-	-
	Instalar medidores de caudal.	-	-	-	-
	Instalar estaciones meteorológicas.	-	-	-	-
	Identificar masas de agua	-	-	-	-
	Identificar y registrar zonas vulnerables.	-	-	-	-
	Organizar el Comité de Emergencia.	-	-	-	-
	Asignar presupuesto para enfrentar el evento.	Emplear el presupuesto para enfrentar el evento. 20%	Emplear el presupuesto para enfrentar el evento. 40%	Emplear el presupuesto para enfrentar el evento. 70%	Emplear el presupuesto para enfrentar el evento. 100%
	Preparar campañas de información pública.	Realizar campañas de información pública. 25%	Incrementar campañas de información pública. 35%	Incrementar campañas de información pública. 75%	Incrementar campañas de información pública. 100%
	Monitorear y registrar el desarrollo del evento.	Monitorear y registrar el desarrollo del evento. Mensual	Monitorear y registrar el desarrollo del evento. Quincenal	Monitorear y registrar el desarrollo del evento. Semanal	Monitorear y registrar el desarrollo del evento. Diario
	Establecer el suministro y las prioridades.	Controlar el suministro y registrar las prioridades 30%	Controlar el suministro y registrar las prioridades 60%	Controlar el suministro y registrar las prioridades 80%	Controlar el suministro y registrar las prioridades 100%

Medidas	E1	E2	E3	E4
	Prealerta	Alerta	Emergencia	Emergencia
	Sequía moderada	Sequía severa	Sequía extrema	Sequía excepcional
Tácticas	Reducción voluntaria de la demanda diaria de agua potable. 10%	Reducción voluntaria de la demanda diaria de agua potable. 30%	Reducción voluntaria de la demanda diaria de agua potable. 40%	Reducción voluntaria de la demanda diaria de agua potable. 50%
	Aplicar restricción a la demanda agrícola 15%	Aplicar restricción a la demanda agrícola 30%	Aplicar restricción a la demanda agrícola 50%	Aplicar restricción a la demanda agrícola 60%
	Restricción a la demanda acuicultura 25%	Restricción a la demanda acuicultura 50%	Restricción a la demanda acuicultura 80%	Restricción a la demanda acuicultura 100%
	Incrementar campañas de información pública. 25%	Incrementar campañas de información pública. 35%	Incrementar campañas de información pública. 75%	Incrementar campañas de información pública. 100%
	Monitorear y registrar constantemente el desarrollo del evento. Mensual	Monitorear y registrar constantemente el desarrollo del evento. Quincenal	Monitorear y registrar constantemente el desarrollo del evento. Semanal	Monitorear y registrar constantemente el desarrollo del evento. Diario
	Activar pozos de sequía 20%	Activar pozos de sequía 40%	Activar pozos de sequía 60%	Activar pozos de sequía 80%-100%
	Incrementar las extracciones de aguas subterráneas. 20%	Incrementar las extracciones de aguas subterráneas. 40%	Incrementar las extracciones de aguas subterráneas. 60%	Incrementar las extracciones de aguas subterráneas. 80%-100%
	Reutilizar agua residual depurada, para uso de riego. 25%	Reutilizar agua residual depurada, para uso de riego. 50%	Reutilizar agua residual depurada, para uso de riego. 70%	Reutilizar agua residual depurada, para uso de riego. 100%
	Respetar los requerimientos ambientales. 100%	Respetar los requerimientos ambientales. 100%	Respetar los requerimientos ambientales. 100%	Respetar los requerimientos ambientales. 100%

Medidas	E3	E4
	Emergencia	Emergencia
	Sequía extrema	Sequía excepcional
Emergencia	Proveer con estricta prioridad el recurso. 80%	Proveer con estricta prioridad el recurso. 100%
	Vigilar continuamente el funcionamiento de los sistemas de explotación. 80%	Vigilar continuamente el funcionamiento de los sistemas de explotación. 100%
	Dotar de agua las zonas vulnerables. 100%	Dotar de agua las zonas vulnerables.100%
	Activar los programas de emergencia. 70%	Activar los programas de emergencia. 100%
	Intensificar la campaña de información pública. 75%	Intensificar la campaña de información pública. 100%
	Realizar acciones conjuntas con el Ministerio de Salud para prevenir enfermedades. 75%	Realizar acciones conjuntas con el Ministerio de Salud para prevenir enfermedades. 100%
	Incrementar el uso del volumen de agua residual para riego. 70%	Incrementar el uso del volumen de agua residual para riego. 100%
	Recibir suministro superficial mediante trasvases 80%	Recibir suministro superficial mediante trasvases 100%
	-	Intensificar extracciones de aguas subterráneas. 100%
	Establecer restricciones del suministro a los riegos, dando prioridad a cultivos ligados al mantenimiento de aportes mínimos. 100%	

5.5.2 Desarrollo de Plan de Sequía Local

Las medidas propuestas suponen un punto de partida para la elaboración de un plan especial de sequías para la gestión del evento en la DHM.

A nivel de demarcación hidrográfica el plan de sequía debe ser desarrollado bajo la dirección de entidades públicas ministeriales y Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) en sus distintos niveles (provincial, cantonal y parroquial), involucrando a los actores directos (agricultores, ganaderos, empresarios productores) e indirectos (universidades, ONG, voluntariados, sociedad civil) que deseen participar en el proceso de elaboración del plan de gestión para hacer frente al evento de sequía.

La reducción de la vulnerabilidad al evento es el primer paso, el cual se logra con el establecimiento de políticas para un cambio de paradigma para actuar ante una sequía. Estas políticas establecidas en los planes de sequía deben ser contempladas en los planes de desarrollo y ordenamiento territorial que son elaborados por los GAD en todos sus niveles, así como en las metas anuales establecidas en cada entidad pública, con el objetivo de pasar de un marco de gestión reactiva a gestión preventiva de la sequía creando una mayor resiliencia para reducir la afectación de la presencia de un evento de sequía. La formulación de estas políticas además de permitir un cambio del marco de acción ante la presencia de un evento de sequía debe permitir que las actividades y competencias que desarrollan tanto las entidades públicas y GAD no se vean afectados, de tal forma que exista un equilibrio entre acciones, competencias, recursos económicos y humanos.

El proceso de planificación de políticas y de la prevención para la gestión de la sequía, debe seguir los siguientes pasos:

1. Organizar una comisión para la elaboración del plan de sequía:

El proceso para elaborar un plan de sequía inicia con la formación de una comisión que controle y suministre la creación de programas para hacer frente a un evento de sequía. Identificada la naturaleza de las sequías y su complejidad en la vigilancia, la alerta temprana, la evaluación del impacto, la respuesta, la mitigación y la

planificación, se hace necesario identificar, regular y componer las acciones necesarias por cada nivel de gobierno y ministerios, incluidos actores directos e indirectos. Para garantizar que exista un proceso coordinado, esta comisión debe estar liderada por la máxima autoridad de la demarcación o de la región.

La comisión debe controlar y formular el proceso de elaboración del plan de sequía, además debe reunir todos los recursos económicos y humanos necesarios que sean destinados para este fin desde los distintos niveles de gobierno o ministerios. Así mismo ante la presencia de un evento de sequía debe activar los programas y acciones establecidas en el plan de sequías.

Esta comisión debe contemplar entre sus miembros a personal técnico, científico y expertos de la academia y organizaciones especializadas e interesadas en gestión de sequía. De igual manera, contar con especialistas en comunicación y participación social que faciliten la difusión de comunicaciones y acciones a realizar con la sociedad civil.

En la Demarcación Hidrográfica de Manabí la comisión debe estar conformada mínimo de 1 representante de las siguientes instituciones:

- GAD provincial
- GAD Municipales
- Ministerio de Agricultura y Ganadería
- Ministerio de turismo
- Ministerio de Ambiente
- Secretaría Nacional del Agua
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgo
- Secretaría Nacional de Planificación
- Empresas públicas de agua potable de la provincia
- Universidades de la provincia

2. Definir las metas y objetivos del plan de sequía:

Para elaborar el plan de sequías es necesario que los objetivos y metas definidos sean alcanzables y concretos, con tiempos y límites definidos para la ejecución y

verificación de sus programas y acciones. Las medidas que se establezcan dentro de estos objetivos no deberán dejar a un lado el enfoque de reducción del riesgo ante la presencia del evento de sequía, es decir, que cada acción que se realice dentro de los programas deberá reforzar el objetivo de resiliencia al evento. Todas las medidas que se adopten dentro de las metas u objetivos deberán ejecutarse de manera equitativa entre los afectados y no afectar los objetivos de desarrollo sostenible.

Para definir los objetivos se deben de considerar factores como:

- Propósito
- Alcance
- Sectores afectados
- Impactos históricos de la sequía
- Medidas históricas adoptadas en un evento de sequía
- Cambio climático
- Asignación de recursos económicos y humanos
- Aspecto legales y sociales

3. Realizar un mapeo de actores directos e indirectos:

Dentro de la elaboración del plan de sequía, es esencial identificar a los grupos de actores sociales a quienes afecta la presencia de un evento de sequía. Estos grupos tendrán una participación desde el principio de la elaboración del plan de sequía y durante su ejecución, con el objetivo de garantizar su correcta formulación. La identificación de necesidades y afectaciones a nivel de grupo de actores permite desarrollar y abordar todos los puntos de vista necesarios para incluirlos dentro de los programas o acciones del plan de sequía.

4. Realizar un inventario de los recursos económicos, humanos y naturales disponibles para la gestión de la sequía:

La identificación de los recursos económicos con los que cuenta cada institución ministerial o GAD permite que la toma de decisiones o el establecimiento de metas y objetivos sean concretas y efectivas. El recurso humano ya sea de las instituciones públicas o privadas involucradas o de los actores directos e indirectos, permite que

estas acciones puedan desarrollarse en campo. Además de los recursos económicos y humanos, el recurso natural agua es el elemento que se debe identificar a detalle, estableciendo sus cantidad, calidad y accesibilidad, sin dejar de lado el recurso suelo y clima.

5. Identificar los elementos claves para elaborar un plan de sequía:

Dentro de los elementos claves para elaborar el plan de sequía es necesario considerar dos formas de planificación, la de la prevención y la de la mitigación.

La planificación de la prevención debe estar perfilada a la elaboración de un plan que se deberá activar cuando exista la presencia de un evento de sequía, con el objetivo de hacer frente a su impacto. Todas las medidas adoptadas por la comisión establecida en el punto 1, deben responder a la atención de los actores afectados, sin embargo, estas medidas son de tipo reactiva y llevan al incremento de la vulnerabilidad social en el evento, ya que los actores afectados se vuelven dependientes de las decisiones tomadas por la comisión.

La planificación de la mitigación identifica las vulnerabilidades de los actores como parte de su planificación, lo que permite desarrollar las medidas necesarias para actuar sobre las debilidades encontradas que permitirá reducir la vulnerabilidad social al evento. Siendo este tipo de planificación la más idónea, es necesario que dentro del plan de sequía conste lo siguiente como elementos claves para su desarrollo:

- Analizar información histórica de las sequías.
- Identificar zonas de mayor vulnerabilidad ante la presencia del evento.
- Establecer criterios para declaración de estados de emergencias por la presencia de un evento.
- Definir deberes y responsabilidades de los diversos actores de instituciones públicas y privadas que guardan relación con la presencia de un evento de sequía.

- Actualizar los programas de acción ante emergencias de los distintos niveles de gobierno.
- Identificar medidas de mitigación para reducir la vulnerabilidad social de los actores.
- Desarrollar procesos para la evaluación de los impactos generados por la presencia de un evento y el seguimiento a los programas y acciones de plan de sequías.
- Establecer un sistema de alerta temprana, con información en tiempo real del territorio de la demarcación.
- Establecer una línea de comunicación entre la comisión del plan de sequías y los actores.

6. Identificar las necesidades de investigación y subsanar las deficiencias institucionales:

La comisión del plan de sequías deberá identificar los elementos necesarios que deberán ser investigados para comprender el comportamiento de los eventos de sequía y sus impactos, así como las alternativas para su mitigación o adaptación. Estas necesidades de investigación pueden nacer del equipo técnico de la comisión y deberán responder a la mejora o actualización del plan de sequía, este equipo técnico debe involucrar directamente a la academia por su afinidad a la investigación científica. Por ejemplo, cómo se comporta el evento según la ubicación de las cuencas hidrográficas en el territorio; cómo ayuda la incorporación de los sistemas de alertas tempranas en zonas altas de las cuencas hidrográficas de la demarcación; cómo afectaría el cambio climático a la ocurrencia o intensidad de los eventos de sequía según la ubicación de las cuencas, entre otros temas que sirvan para reducir la vulnerabilidad social a la sequía.

Además de identificar necesidades de investigación, es primordial que las deficiencias en instituciones que destinen recursos económicos públicos sean mejoradas. Estas mejoras deben responder a la asignación de recursos humanos técnico capacitado para poder ejecutar programas o acciones contemplados en el plan de sequía, así también, mejorar su infraestructura física para la asignación de

espacios físicos para el control y seguimiento de los eventos de sequía; mejorar su infraestructura tecnológica que permitan la obtención de datos climáticos precisos y reales (estaciones hidrológicas y meteorológicas) y almacenamiento de bases de datos climáticas históricas y futuras.

7. Integrar la ciencia a los tomadores de decisiones de la gestión de la sequía:

Mejorar la vía de comunicación entre tomadores de decisiones e investigaciones científicas, es uno de los factores que efímeramente parece no tener importancia, sin embargo, entender el comportamiento probado del evento, sus impactos y sus medidas para la mitigación o adaptación permite que la elaboración del plan de sequía se desarrolle dentro del marco adecuado y distinguir lo factible de lo deseable. Ya que, si bien es cierto que los tomadores de decisiones entienden sin ningún problema el proceso administrativo para la formulación de políticas públicas y sus restricciones financieras y administrativas, son menos consientes de las restricciones que tienen la aplicación de medidas como las aplicadas en la planificación de prevención que en la planificación de mitigación.

8. Publicar y difundir el plan de sequía:

La participación social es el elemento clave para que las acciones establecidas dentro de los programas del plan de sequías puedan desarrollarse y así cumplir con los objetivos y metas establecidos. Si en el proceso de elaboración del plan de sequías han sido involucrados los actores directos e indirectos, estos no necesitarán de demasiada información para conocer el plan de sequía y su justificación. Sin embargo, es necesario que los medios de comunicación se involucren de manera directa en la publicación y difusión de las actividades y políticas establecidas en el plan de sequías, con el fin de dar a conocer al resto de actores no involucrados información respecto al proceso.

Es necesario que este proceso esté orientado a destacar cómo el plan de sequía ayudará a reducir la vulnerabilidad social a la presencia del evento, además de cómo afecta este evento a la socioeconomía de la población, la salud, al desarrollo local y al medio ambiente. Así mismo, se debería publicar y difundir una vez que el plan de

sequía sea ejecutado y se obtengan beneficios, cómo la aplicación del plan ha ayudado a la economía local y el desarrollo de la sociedad que depende de elementos que son afectados por la sequía. Para que este proceso de comunicación sea adecuado, deberá contar con estrategias y herramientas que permitan transmitir de forma efectiva la información a la sociedad civil.

9. Capacitar a los actores directos e indirectos con programas de educación para la gestión de la sequía:

Se debe contemplar un programa de educación que permita conocer a los actores cómo actuar ante la presencia de un evento y cuál es su rol al momento de la aplicación de acciones y programas del plan de sequías.

Este programa de educación deberá contemplar todos los grupos de edades y establecer según el grupo de edades un tipo de enseñanza ya sea en grupos escolares, asociaciones agropecuarias, gestores de recursos hídricos, productores de pequeñas, medianas y grandes empresas, prestadores de servicios públicos, etc. Para ello se deberá elaborar por cada grupo de enseñanza, el material didáctico y presentaciones adecuado al tipo de organización y grupo de edad.

10. Evaluar y modificar el plan de sequía:

El plan de sequía es el instrumento que permitirá aplicar acciones y programas para reducir la vulnerabilidad social ante la presencia de un evento, con objetivos y metas verificables y concretas. Evaluar el resultado de la aplicación de una acción, permitirá identificar cómo incide ésta en la reducción de la vulnerabilidad al evento e identificar el éxito o fracaso de esa acción. Ante el fracaso en la aplicación, se deberá reformular tal acción para que encontrar el objetivo y meta deseado. Por lo tanto, el proceso de formulación de políticas en el plan de sequía deberá ser dinámica para evitar que el mismo se vuelva obsoleto e ineficiente.

Para ampliar la eficacia del plan de sequías se deberá realizar evaluaciones continuas y posteriores a un evento. Continuas, cuando cambios en la sociedad civil o en niveles de gobiernos, por su naturaleza necesiten ser actualizados, así como también con el análisis técnico y científico se justifique una mejora en el plan de sequías, siempre y cuando estos sean avalados por la comisión que ha elaborado el

plan. Posteriores a un evento, cuando los resultados de la aplicación de acciones o programas muestren que se deben realizar mejoras para obtener resultados más eficaces, estas mejoras deben incluir un análisis de los factores climáticos, sociales, ambientales y económicos. Si no se realizan mejoras continuas al plan de sequías, este puede fracasar al no tomar en cuenta resultados basados en experiencias reales. Así mismo se deberá tomar en cuenta los resultados en donde funcionó la aplicación de medidas para reducir la vulnerabilidad social y aumentar la resiliencia de la población al evento de sequía.

Tener un plan de sequía a nivel local permite reducir el riesgo de afectación del evento a sectores vulnerables de la sociedad, algunos países entre ellos Marruecos, México y Chile tienen un plan de acción ante la presencia de un evento de sequías. Marruecos tiene un sistema de gestión integrada de la sequía que gira en torno a tres elementos esenciales: 1) un sistema de alerta temprana, 2) planes operacionales de emergencia, 3) estrategia a largo plazo para reducir la vulnerabilidad a la sequía; México tiene un programa Nacional contra la sequía estructurado en base a 3 ejes, 1) Formulación y aplicación de medidas para prevenir y mitigar los efectos de la sequía, incluidas la vigilancia y la alerta temprana. 2) Establecimiento de un marco jurídico para garantizar la continuidad del suministro de agua potable durante las sequías. 3) Coordinación de la respuesta institucional a las medidas de mitigación de la sequía; Chile ha desarrollado un conjunto de medidas y acciones para mejorar la gestión del riesgo de sequías, que incluye, 1) un sistema de alerta temprana, 2) acciones de respuestas ante emergencias, 3) acciones de prevención y mitigación.

5.5.3 Estrategias para la gestión de sequía en la DHM

5.5.3.1 Implementar un sistema de predicción de sequía

El monitoreo de la sequía permitirá determinar de forma oportuna medidas preventivas o acciones para reducir los impactos de las sequías.

Esta investigación presenta un sistema de predicción de sequía combinado, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado, el Índice de Severidad de Sequía de Palmer y la Temperatura Superficial del Mar en sus regiones Niño. Para detectar la sequía temprano, es necesario realizar observaciones antes del inicio de la estación húmeda. El procedimiento de detección y los criterios para establecer la probabilidad de aparición futura de sequía se detallan en el apartado 5.4.3 de esta investigación.

Para la implementación del sistema de predicción es necesario:

- Instalar estaciones meteorológicas para medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas.
- Elaborar un mapa de frecuencia de precipitación, para la definición de frecuencia de sequías.
- Fortalecer capacidades en temas de manejo de sistemas de alerta y el diseño del sistema de predicción de sequías.
- Evaluar el estado de la infraestructura de captación de agua superficial y subterránea.

5.5.3.2 Medidas para mitigar los impactos en el sector agrícola

Prácticas agronómicas y diversificación de medios de vida:

Las prácticas agronómicas recomendadas se relacionan con el manejo del suelo y el agua, como el mulching y la excavación de zanjas; el uso de fertilizantes orgánicos y pesticidas; actividades agroforestales, como plantar árboles de sombra; cultivos intercalados; y la diversificación de los medios de vida en zonas propensas a los peligros:

- Aplicación de fertilizante de guano de isla para mantener humedad y mejorar la fertilidad del suelo en arrozales en zonas afectadas por la sequía. Esta medida es aplicable en la Zona Sur de la DHM, por la presencia de pequeñas islas.
- Producción de hongos en interiores para diversificación de medios de vida en zonas secas.
- Ganadería en sistemas silvopastoriles para reducir el impacto de sequía en el pasto.

Los cultivos permanentes como el banano y el plátano requieren menos agua para su producción que, el café y el cacao (Figura 5-43). Sin embargo, el análisis económico realizado en la sección 5.3.3, muestra que el banano y el plátano registran las mayores pérdidas económicas durante los años de sequía. Por lo tanto, son cultivos sensibles al déficit hídrico.

Se plantean las siguientes medidas para aumentar la humedad del suelo y la retención de agua para la producción de los cultivos permanentes durante las estaciones o períodos secos:

- Cultivo de banano y plátano con mulching, excavación de zanjas para retención de agua, compostaje orgánico y variedades mejoradas.
- El cultivo de café y cacao con mulching, la excavación de zanjas para retención de agua, el compostaje orgánico y plantación de árboles de sombra.

Infraestructura y equipamiento relacionados con la agricultura:

Invertir en infraestructura agrícola a pequeña escala es clave para mejorar la resiliencia de pequeños propietarios en áreas propensas a riesgos.

En el caso de los cultivos transitorios como el maíz y el arroz (cereales), dada su ubicación (Figura 5-44) se propone la construcción de infraestructuras como balsas artificiales (albarradas impermeables), pozos profundos y pequeñas presas.

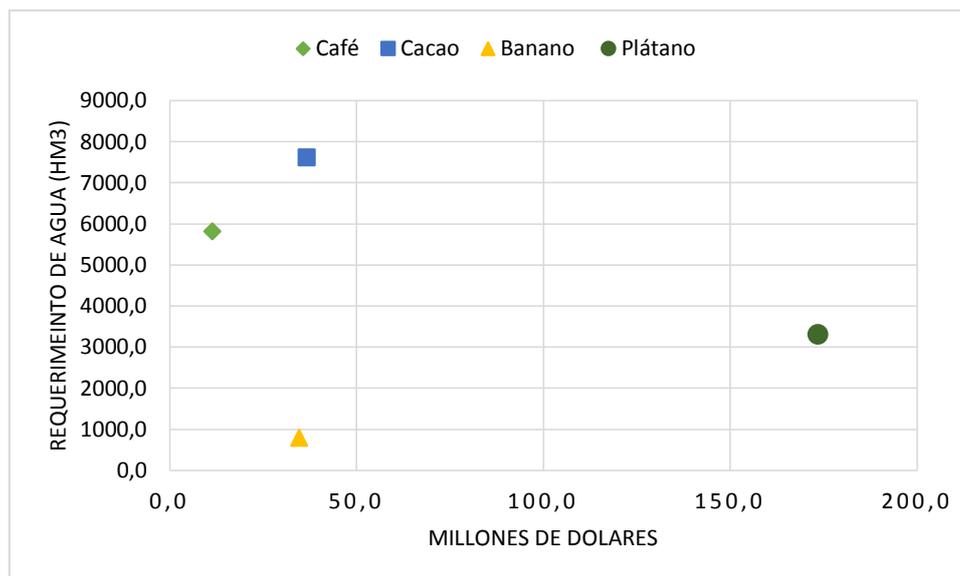


Figura 5-43 Requerimiento de agua de los cultivos permanentes e ingresos en millones de dólares.

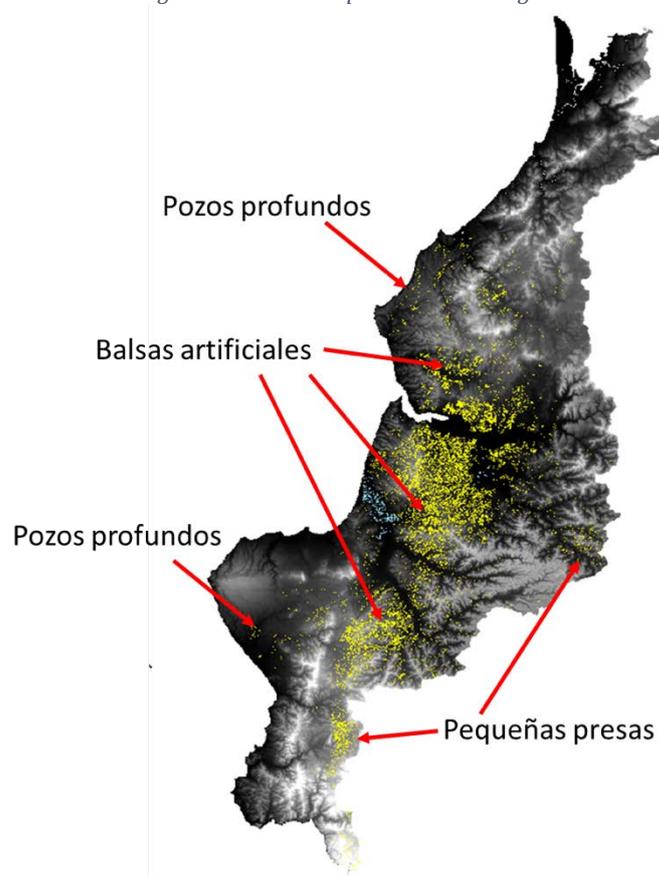


Figura 5-44 Infraestructuras hidráulicas para abastecer de agua a los cultivos transitorios de cereales.

Variedades y especies mejoradas tolerantes al estrés:

Los déficits hídricos severos impuestos por la falta de agua de riego, reducirían los rendimientos del año actual, y podrían también afectar negativamente a la producción de los años subsiguientes. Además, podría aumentar la variabilidad de la producción y deteriorar o matar los cultivos permanentes, directa o indirectamente. Por lo que, es importante conocer la tolerancia de los cultivos y comprender las posibles respuestas al evento, de manera de garantizar la producción a través de un adecuado manejo.

Los efectos de la sequía obligan a buscar variedades más resilientes al fenómeno y a implementar nuevas tecnologías que ayuden a los agricultores a ser más eficientes y sostenibles. Las variedades desarrolladas por medio de la biotecnología permiten a los agricultores proteger su cosecha y minimizar las pérdidas durante la sequía severa al utilizar el agua de manera más eficiente.

- Variedades de súper arroz verde tolerante al estrés múltiple
- Variedades de arroz de maduración temprana para reducir pérdidas de producción debido a períodos secos.
- Variedades de frijoles tolerantes al estrés múltiple.
- Variedades mejoradas de maíz para aumentar producción en zonas propensas a riesgos.

Tecnificación de unidades de riego:

La mayor superficie de riego de la Demarcación Hidrográfica de Manabí se concentra en la Zona Centro, actualmente los sistemas de riego abarcan una extensión de 12.135 hectáreas en la zona media y baja de la cuenca del río Portoviejo (sistema de riego “Poza Honda - río Chico”) y 7.250 hectáreas en la cuenca del río Chone (sistema de riego “Carrizal - Chone”), por lo que la superficie total regable en la DHM es 19.385 hectáreas. Estas hectáreas de superficie regable podrían acogerse a un programa de tecnificación, con el fin de tener un ahorro de agua, como la sustitución de los sistemas de riego con aspersores por aquellos que son de tecnología de alta precisión, como es el riego por goteo o micro aspersión.

Para la utilización e introducción de técnicas para riego, los agricultores y productores en las zonas agrícolas deben contar con un nivel de especialización y conocimiento. Para ello, se sugiere poner en marcha programas de capacitación y cultura con asesores técnicos en riego y parcelas demostrativas.

Variedades tempranas o cultivos de bajo requerimiento hídrico:

Preferir variedades temprana que permitan mayor productividad del agua es recomendable, en las etapas críticas que por lo general están asociadas a la floración y a las primeras etapas de desarrollo del fruto, éstas no coincidirán con la época del año de mayor déficit hídrico.

También se recomienda la siembra de cultivos de bajo requerimiento hídrico, aunque es necesario tener conocimiento sobre las necesidades de agua del cultivo y el estado fenológico de mayor requerimiento hídrico, si se disminuye el agua existiría una caída en la producción, calibre y calidad de la fruta, y en consecuencia se podría reducir el precio de la comercialización. En este contexto se tendría que sacrificar a aquellos cultivos menos sensibles al estrés hídrico. En la DHM, los cultivos que requieren menos agua para su producción son los frijoles, y los vegetales pequeños como la cebolla.

Otras alternativas de solución complementarias para moderar los daños de la sequía son:

- La realización de riegos nocturnos.
- La rehabilitación y modernización de las obras de cabeza.
- La instalación de equipos de medición y control del agua.
- La nivelación de tierras y el drenaje parcelario.
- La integración un catastro técnico de infraestructura de riego y drenaje.
- El monitoreo de humedad de suelo y demanda climática.
- El estricto control de malezas.
- La utilización de algún tipo de mulch para reducir la evaporación del suelo.
- La regularización del uso de fertilizantes nitrogenados.

6.- CONCLUSIONES

Las sequías han incrementado significativamente en las últimas décadas, y se espera que el cambio climático intensifique el evento. Los episodios de sequía tienen graves repercusiones sobre el ambiente, la agricultura, la economía, la salud, y la sociedad; por lo que es necesario prepararse para el evento.

Caracterizar la intensidad y duración de las sequías es importante para prevenir las contingencias que éstas conllevan con respecto a la planificación de la economía general de un país. Además constituyen la base para el desarrollo de los modelos de predicción del evento. Por ello es útil el seguimiento de las sequías en el tiempo y el espacio. Para la caracterizar las sequías en la Demarcación Hidrográfica de Manabí se utilizó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI) desarrollado por McKee et al., (1993) y el Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI) desarrollado por Palmer (1965).

En la demarcación los períodos secos generalmente comienzan en abril y duran hasta noviembre durante un año seco. Éstos han tenido una duración de 1 a 5 años, siendo los períodos 1966/67 -1970/71 y 1977/78-1981/82 los de mayor duración con cinco años. Los episodios secos y húmedos son similares entre el SPI y el PDSI. Las distribuciones en los períodos secos y húmedos fueron similares en las zonas de la DHM. El período febrero/82 – diciembre/83 fue el más seco, mientras que diciembre/97 - abril/99 fue el más húmedo debido a la presencia del evento ENSO, fase El Niño.

El SPI₁₂ y el PDSI mensual tienen una correlación 0.85 considerado muy fuerte. Por lo que se considera el SPI₁₂ un buen indicador agrícola en zonas de escasa información hidrológica. Debido a las variaciones en los factores climáticos, se considera el PDSI mejor indicador agrícola para la DHM porque se basa en un modelo de balance de agua que utiliza tanto la precipitación como la temperatura, a diferencia del SPI, que se basa solo en registros estadísticos previos de precipitación.

El SPI₃ reflejó todos los períodos de sequía que registran los comunicados de prensa; esto se atribuye a la cantidad de eventos de sequía registrados que son cortos, pero de gran intensidad. El uso conjunto de SPI a corta escala y PDSI mensual permite obtener resultados más confiables en la detección de sequías.

Las sequías en la Demarcación Hidrográfica de Manabí se caracterizan por ser estacionales y anuales. La duración de las sequías moderadas, severas y extremas puede ser de hasta nueve meses, un año y más de un año, respectivamente. Las sequías incipientes y leves tienen una duración de nueve meses. En los climas tropicales húmedos y subhúmedos (Zona Norte y Centro) son de corta duración, pueden durar entre 3 y 9 meses y con frecuencia son incipientes y leves. Aparecen en la estación seca y terminan al comienzo de la estación húmeda. En el clima tropical semiárido (Zona Sur), las sequías pueden durar más de un año, llegando a ser extremas.

El análisis de los registros de precipitación, aportación y volumen de embalse durante los períodos de sequía en el período octubre/64 – septiembre/12, indica que la sequía más drástica se presentó en los años hidrológicos 1967/68 – 1969/70 y 1978/79 – 1981/82, por registrar precipitaciones y aportaciones por debajo de la media y niveles del embalse inferiores a su volumen muerto. Así durante la sequía del período 1967/68 – 1969/70 la precipitación y la aportación se situó por debajo de la media con 84 mm/mes y 35 hm³/mes respectivamente; y los niveles del embalse descendieron a 127 hm³ en diciembre de 1968. Mientras que en la sequía histórica 1978/79 – 1981/82 la precipitación y la aportación llegó a ser nula en noviembre de 1977, y en consecuencia el volumen del embalse alcanzó los 90 hm³ es decir su volumen muerto. Este escenario se repitió en agosto de 1980 y se extendió hasta enero de 1981.

La agricultura de riego representa una parte esencial de la producción mundial de alimentos; hasta el 40% de la cosecha global de cultivos proviene de campos de riego (Tilman et al., 2002). La sequía es el desastre natural que causa el mayor impacto económico directo y notable en la producción de alimentos. Los impactos de las sequías sobre la ganadería pueden ser directos o indirectos. El evento influye sobre el sector pecuario disminuyendo la disponibilidad forrajera, aumentando la mortalidad y morbilidad del ganado, deteriorando los índices productivos e incrementando los costos por alimentación, agua y traslados de animales. Las pérdidas causadas por las sequías en los países en desarrollo provocan una

reducción del producto interno bruto que anula todo proceso económico real de una nación.

El análisis del impacto económico de las sequías en el sector agrícola de la DHM se estimó en base a los datos disponibles en los diferentes entes gubernamentales. Los resultados del análisis en el sector agrícola permiten indicar que en la provincia de Manabí el área agrícola corresponde a pastos cultivados y naturales, a cultivos permanentes y cultivos transitorios con 873.650 hectáreas, 198.515 hectáreas y 88.562 hectáreas, respectivamente. Los cultivos permanentes con mayor producción son plátano, cacao, café y banano, y los cultivos transitorios con mayor producción son maíz y arroz. Durante los años de sequía se observa que la superficie total cosechada disminuyó respecto a un año normal. Conforme a los datos disponibles se establece que el año 2009 registró más pérdidas de hectáreas (17.601 hectáreas) debido a la sequía.

El impacto de las sequías en el sector agrícola de la DHM se observa en los ingresos de producción, donde, en el 2009 fueron de 177,50 millones de dólares lo que representa 19,50 millones de dólares menos respecto al año 2008 que generó 197 millones de dólares. Los cultivos de cereales experimentaron mayores pérdidas que los cultivos de banano, café y cacao. Las pérdidas en el año 2009 fueron de 47,8 millones de dólares, esto representa el 26,92% de los ingresos agrícolas totales de la provincia de Manabí.

El análisis en el sector ganadero abarca la producción y existencia de ganado vacuno y avicultura y la existencia de ganado porcino y equino. Para el análisis no se disponen de datos oficiales de pérdidas por causa de las sequías en el sector. Sin embargo, los resultados obtenidos permiten asumir que los cambios en la existencia y producción del ganado analizado están relacionados con la ocurrencia de la sequía en la zona. Los resultados muestran que la sequía afecta la producción de leche del ganado vacuno y a su existencia. Dado que durante los episodios de sequía la producción de leche disminuye y se mueren las reses. La correlación realizada entre el PDSI y la existencia de ganado porcino y equino permite concluir que la existencia de cerdos, caballos y asnos no se ve influenciada por la ocurrencia de la sequía en la

demarcación. Mientras que los resultados en la avicultura muestran una influencia moderada de la sequía sobre la producción, existencia y ventas. Se asume que esto se debe a la escasez de alimento.

El impacto económico de las sequías en el sector ganadero de la DHM se observa en los ingresos de producción que fueron de 305,2 millones de dólares en el 2009, mientras que en el año 2017 los ingresos fueron de 336,9 millones de dólares. Lo que representa un 10% menos. Además, se observó que PIB siguió disminuyendo en los años 2010 y 2011, lo que permite concluir que el impacto económico de la sequía en el sector ganadero se extiende a años posteriores al evento.

Las pérdidas económicas en el sector agropecuario son el resultado de las pérdidas agrícolas (47 millones de dólares) y ganadera (42 millones de dólares). Ambos sectores representan una reducción del PIB provincial del 5% y del PIB nacional el 0,5%. Por lo tanto, las pérdidas económicas en el sector agropecuario ascienden a 89 millones de dólares al año, lo que representa el 10% del PIB provincial y el 1% del PIB nacional. Las pérdidas a nivel provincial son significativas porque afectan a los pequeños productores, con unidades de producción agrícola menor a 1 hectárea. Estas cifras nos permiten concluir que el sector se ve afectado significativamente por la ocurrencia de la sequía en la DHM.

Los impactos económicos han representado pérdidas millonarias, lo que conlleva a hacer frente a los efectos de la variabilidad climática. Para ello es fundamental contar con información suficiente y oportuna. Con este propósito, se desarrolló el Sistema de Predicción de Sequías (SPS) basado en ENSO e índices de sequía para la identificación objetiva de los eventos de sequía en la DMH. El sistema forma parte indispensable de la planeación, preparación y mitigación de los impactos de la sequía.

Para el desarrollo del predictor se correlacionó el Índice de Oscilación del Sur (SOI), el Índice de Niño Oceánico (ONI), la Temperatura de la Superficie del Mar (SST) en sus regiones Niño 4, 3, 3.4 y 1+2; y los índices de sequía SPI y PDSI

para estimar la relación entre los eventos ENSO y la ocurrencia de sequía en la demarcación.

La relación más dominante, en todos los casos, entre ENSO y los índices de sequía fue con el índice climático de la región SST Niño 1+2. La correlación r de Pearson fue de 0,71 y la correlación cruzada muestra que la región SST Niño 1+2 influye fuertemente en la aparición de sequía con SPI-1 (0,61), SPI-3 (0,67), SPI-6 (0,66), SPI_12 (0,66) en el Lag 0, +1, +3, +7 respectivamente. Aunque también se observó, la mayor correlación entre la SST regiones Niño 3, 3.4, ONI y SOI, con SPI-12 en el Lag +9 (0,52; 0,39; 0,38 y -0,31; respectivamente) y para la SST región Niño 4 con SPI-12 en Lag +12 (0,20).

El sistema de predicción de sequía en la DHM se basa en anomalías SST 1+2 (Lag -7), 3 (Lag -9) y 3.4 (Lag -9) y en ambos índices de sequía. El sistema propuesto debe aplicarse en diciembre para detectar la sequía estacional y en mayo para detectar la sequía anual. El seguimiento de las condiciones de sequía se complementa con los mapas de pronóstico de anomalía de precipitación de los meses siguientes. De esta manera se pronostica el incremento o disminución del evento en el corto plazo. Es de vital importancia la participación de entes gubernamentales para mejorar la toma de decisiones.

Para minimizar los impactos de la sequía, es necesario anticiparse al evento, empleando las predicciones y el análisis de datos, investigando la frecuencia y la duración de las sequías en el pasado, y realizando pronósticos y alertando a la población para estar mejor preparados frente al fenómeno.

En relación con el objetivo general de la tesis se propone una de las medidas preventivas más importantes como lo es la implementación del Sistema de Predicción de Sequías desarrollado en esta investigación, su aplicación permitirá, determinar de forma continua la aparición y el grado de intensidad de la sequía, y realizar predicciones. El servicio continuo de previsión de sequías ayudará a los agricultores, a los gestores del agua y a la población en general en alcanzar una mejor preparación para afrontar los efectos de la sequía. Los indicadores que se determinen podrán utilizarse como base de cálculo de las ayudas gubernamentales,

y de otras medidas que se adoptan para reducir los daños de las sequías. Además, para mitigar el impacto de las sequías en el sector agrícola se recomienda la construcción de infraestructuras hidráulicas como balsas artificiales (albarradas impermeables), pozos profundos y pequeñas presas de acuerdo a la ubicación de los cultivos transitorios de cereales. Así mismo se recomiendan prácticas agronómicas para aumentar la humedad del suelo y la retención de agua para la producción de los cultivos permanentes durante las estaciones o períodos secos; la utilización de variedades y especies mejoradas tolerantes al estrés; la tecnificación de unidades de riego; y la utilización de variedades tempranas o cultivos de bajo requerimiento hídrico.

CONCLUSIONS

Droughts have increased considerably in recent decades, and climate change is expected to intensify the event. Drought episodes have serious repercussions on the environment, agriculture, the economy, health and society; so it is necessary to prepare for the event.

Characterizing the intensity and duration of droughts is important to prevent the contingencies that they entail with respect to the planning of a country general economy. Also form the basis for the development of event prediction models. Therefore, it is useful to monitor droughts in time and space. The Standardized Precipitation Index (SPI) developed by McKee et al., 1993 and the Palmer Drought Severity Index (PDSI) developed by Palmer, 1965, were used to characterize droughts in the Manabí River Basin District.

In the River Basin District the dry periods generally begin in April and last until November during a dry year. These have lasted from 1 to 5 years, with the periods 1966/67 - 1970/71 and 1977/78 - 1981/82 being the longest with five years. Dry and wet episodes are similar between SPI and PDSI. The distributions in the dry and wet periods were similar in the areas of the MRBD. The period February/82 - December/83 was the driest, while December/97 - April/99 was the wettest due to the presence of the ENSO event, El Niño phase.

The SPI₁₂ and the monthly PDSI have a 0,85 correlation considered very strong. Therefore, SPI₁₂ is considered a good agricultural indicator in areas of scarce hydrological information, due to the variations in climate factors, PDSI is considered as the best agricultural indicator for the MRBD because it is based on a water balance model that uses both precipitation and temperature, as opposed to the SPI, which is based only on previous statistical precipitation records.

SPI₃ reflected all periods of drought recorded by press releases; this is attributed to the amount of recorded drought events that are short but of great intensity. The

joint use of short-scale SPI and monthly PDSI allows more reliable results in the detection of droughts.

Droughts in the River Basin District of Manabí are characterized by being seasonal and annual. The duration of moderate, severe and extreme droughts can be up to 9 months, 1 year and more than a year long, respectively. Incipient and mild droughts had a duration of 9 months. In humid and subhumid tropical climates (North and Center Zone) are of a short duration, can last between 3 and 9 months and are frequently incipient and mild. In the semiarid tropical climate (South Zone), droughts can last for more than 1 year, becoming extreme.

The analysis of rainfall, streamflow and reservoir volume records during drought periods in the period October/64 - September/12, indicates that the most drastic drought occurred in the hydrological years 1967/68 - 1969/70 and 1978/79 - 1981/82, for recording rainfall and streamflow below average and reservoir levels below its dead volume. Thus during the drought of the period 1967/68 - 1969/70 the precipitation and the streamflow was below the average with 84 mm/month and 35 hm³/month respectively; and the reservoir levels dropped to 127 hm³ in December 1968. While in the historical drought 1978/79 - 1981/82 the precipitation and streamflow became zero in November 1977, and consequently the volume of the reservoir of 90 hm³ is its dead volume. This scenario was repeated in August 1980 and extended until January 1981.

Irrigation agriculture represents an essential part of world food production; up to 40% of the global crop comes from irrigation fields (Tilman et al., 2002). Drought is the natural disaster that causes the greatest direct and notable economic impact on food production. The impacts of droughts on livestock can be direct or indirect. The event influences the livestock sector by decreasing forage availability, increasing livestock mortality and morbidity, deteriorating production rates and increasing costs for food, water and animal transfers. Losses caused by droughts in developing countries cause a reduction in gross domestic product that overrides any real economic process in a nation.

The analysis of the economic impact of droughts in the agricultural sector of the MRBD was estimated based on the data available in the different government entities. The results of the analysis in the agricultural sector indicate that in the province of Manabí the agricultural area corresponds to cultivated and natural pastures, permanent crops and temporary crops with 873.650 hectares, 198.515 hectares and 88.562 hectares, respectively. Permanent crops with the highest production are banana green, cocoa, coffee and banana, and the transitory crops with the highest production are maize and rice. During the dry years it is observed that the total area harvested decreased compared to a normal year. According to the available data, it is established that the year 2009 recorded more losses of hectares (17.601 hectares) due to drought.

The impact of droughts in the agricultural sector of the MRBD is seen in the production revenues in 2009 were 177,50 million dollars, which represents 19,50 million dollars less than in 2008, which generated 197 million dollars. Cereal crops experienced greater losses than banana, coffee and cocoa crops. The losses in 2009 were 47,8 million dollars, this represents 26,92% of the total agricultural revenue of the province of Manabí.

The analysis in the livestock sector covers the production and existence of cattle and poultry and the existence of pigs and horses. For the analysis there are no official data on losses due to droughts in the sector. However, the results obtained allow us to assume that the changes in the existence and production of the cattle analyzed are related to the occurrence of drought in the area. The results show that, drought affects the milk production of cattle and their existence, given during the drought episodes the milk production decreases and the cattle die. The correlation made between the PDSI and the existence of pigs, horses and donkeys allows us to conclude that, its existence is not influenced by the occurrence of drought in the MRBD. While the results in poultry farming show a moderate influence of drought on production, existence and sales. It is assumed that this is due to food shortages.

The economic impact of droughts in the livestock sector of the MRBD is seen in the production revenues in the livestock sector were 305,2 million dollars in

2009, while in 2017 the revenues were 336,9 million dollars. Which represents 9% less. In addition, it was observed that GDP continued to decline in 2010 and 2011, which concludes that, the economic impact of the drought in the livestock sector extends to years after the event.

The economic losses in the agricultural sector are the result of agricultural (47 million dollars) and livestock (42 million dollars) losses. Both sectors represent a reduction of provincial GDP of 5% and of national GDP 0.5%. Therefore, economic losses in the agricultural sector amount to 89 million dollars a year, representing 10% of provincial GDP and 1% of national GDP. Losses at the provincial level are serious because they affect small producers, with agricultural production units smaller than 1 hectare. These number allow us to conclude that the sector is significantly affected by the occurrence of drought in the MRBD.

Economic impacts have represented millionaire losses, which leads to coping with the effects of climate variability. For this it is essential to have sufficient and timely information. For this purpose, the Drought Prediction System (SPS) based on ENSO and drought indices was developed for the objective identification of drought events in the MRBD. The system is an indispensable part of the planning, preparation and mitigation of drought impacts.

For the development of the predictor, the Southern Oscillation Index (SOI), the Oceanic Niño Index (ONI), the Sea Surface Temperature (SST) in its Niño 4, 3, 3.4 and 1+2 regions and the SPI and PDSI drought indices were correlated to estimate the relationship between ENSO events and the occurrence of drought in the River Basin District.

The most dominant relationship, in all cases, between ENSO and drought indices was with the SST Niño 1+2 region climate index. The Pearson's r Correlation was 0,71 and the cross-correlation shows that the SST Niño 1+2 region strongly influences in occurrence of drought with SPI-1 (0,61), SPI-3 (0,67), SPI-6 (0,66), SPI-12 (0,66) in lag 0, +1, +3, +7 respectively. Although it was also observed, highest correlation between SST Niño 3, 3.4 regions, ONI and SOI, with SPI-12 in lag +9

(0,52; 0,39; 0,38; and -0,31; respectively) and for SST Niño 4 region with SPI-12 in lag +12 (0,20).

The early drought detection system in MRBD is based on SST 1+2 (lag -7), 3 (lag -9) and 3.4 (lag -9) anomalies and both drought indices. The proposed system must be applied in December, for detect the season drought, and in May, for detect the annual drought. The monitoring of drought conditions is complemented by the precipitation anomaly forecast maps for the following months. In this way the increase or decrease of the event is forecast in the short term. It is vitally important the participation of government entities to improve decision making.

To minimize the impacts of drought, it is necessary to anticipate the event, using predictions and data analysis, investigating the frequency and duration of droughts in the past, and making forecasts and alerting the population to be better prepared for the phenomenon.

In relation to the general objective of the thesis it is proposed one of the most important preventive actions is proposed, such as the implementation of the Drought Prediction System developed in this investigation, its application will allow, to continuously determine the appearance and the degree of intensity of drought, and make predictions. The continuous drought forecasting service will help farmers, water managers and the community in general to achieve better preparedness to cope to the effects of drought. The indicators that are determined may be used as a basis for calculating government aid, and other measures taken to reduce drought damage. In addition to mitigating the impact of droughts in the agricultural sector, the construction of hydraulic infrastructures such as artificial rafts (waterproof racks), deep wells and small dams is recommended according to the location of temporary cereal crops. Agronomic practices are also recommended to increase soil moisture and water retention for the production of permanent crops during dry seasons or spell; the use of improved varieties and species tolerant to stress; the technification of irrigation units; and the use of early varieties or crops with low water requirements.

7.- LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Este capítulo presenta líneas futuras de investigación para la gestión de las sequías y garantizar la disponibilidad del recurso hídrico en la Demarcación Hidrográfica de Manabí, considerando el efecto del cambio climático, en el diseño de los futuros planes de gestión de sequías y de estrategias de adaptación.

- **Índices de sequía:** Aplicar nuevos índices que contribuyan a la detección de las sequías, por ejemplo; los índices que reflejen el estado de la vegetación como el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) y el Índice de Salud de la vegetación (VHI); índices que permiten conocer el estado de las masas de agua como el Índice de sequía hidrológica de Palmer (PHDI), y el Índice de Suministro de Agua Superficial (SWSI).
- **Vulnerabilidad ante la sequía:** Realizar el análisis de la vulnerabilidad económica, social, y ambiental ante la sequía en la Demarcación Hidrográfica de Manabí persigue entender el contexto particular que definen un grado de susceptibilidad a la sequía. Además de identificar las capacidades para enfrentar el fenómeno.
- **Caracterizar las sequías hidrológicas:** Identificar y caracterizar temporal y espacialmente las sequías hidrológicas permite evaluar la disponibilidad hídrica regional y local, lo que contribuye a la planificación hidrológica. La caracterización debe incluir el recurso hídrico superficial y subterráneo, mediante el estudio de la información hidrológica histórica relativa al caudal de los ríos y aportaciones a los embalses de almacenamiento, y el estudio de los niveles piezométricos, respectivamente.
- **Impacto del cambio climático:** De acuerdo al Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), las emisiones actuales de gases de efecto invernadero aumentarán el calentamiento global y producirán cambios en el sistema climático, aumentando la probabilidad de eventos extremos como las sequías. En este contexto evaluar el impacto del cambio climático en la Demarcación Hidrográfica de Manabí contribuirá al diseño de los futuros planes de gestión de la sequías y de estrategias de adaptación.

- **Impactos de la sequía:** Las sequías pueden causar impactos significativos sobre diversos sectores económicos. La estimación de los impactos en el sector turístico de la Demarcación Hidrográfica de Manabí, sirve para el diseño de planes para el manejo de las sequías y en particular permite decidir la inversión en las correspondientes medidas de mitigación.

8.- REFERENCIAS

Agnew, C. T. (2000). *Using the SPI to identify drought*.

Allen, C. D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., Kitzberger, T., Rigling, A., Breshears, D. D., & Hogg, E. T. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest ecology and management*, 259(4), 660-684.

AMS. (2004). Statement on Meteorological Drought. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 85, 771-773.

Arndt, D. S., Baringer, M. O., & Johnson, M. R. (2010). *State of the Climate in 2009*, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 91, S1-S222, doi: 10.1175. BAMS-91-7-StateoftheClimate.

Bahn, M., Erb, K., Hasibeder, R., Mayr, S., Niedertscheider, M., Oberhuber, W., Tappeiner, U., Tasser, E., Viovy, N., & Wieser, G. (2016). Climate Extremes and Land-Use Change: Effects on Ecosystem Processes and Services. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 18.

Barlow, M., Nigam, S., & Berbery, E. H. (2001). ENSO, Pacific decadal variability, and US summertime precipitation, drought, and stream flow. *Journal of Climate*, 14(9), 2105-2128.

Barua, S., Ng, A. W. M., & Perera, B. J. C. (2015). Drought Assessment and Forecasting: A Case Study on the Yarra River Catchment in Victoria, Australia. *Australasian Journal of Water Resources*, 15(2), 95-108. <https://doi.org/10.7158/13241583.2012.11465393>

Bell, G. D., Halpert, M. S., Ropelewski, C. F., & Kousky, V. E. (1999). Climate assessment for 1998. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(5), S1.

Bhalme, H. N., & Mooley, D. A. (1980). Large-scale droughts/floods and monsoon circulation. *Monthly Weather Review*, 108(8), 1197-1211.

Carvajal, J., Rodríguez, F., & FAO Ecuador. (2010). *Sistematización de prácticas para el aprovechamiento de recursos naturales en la cuenca del Chone*. TCP/RLA/3112. TCP/RLA/3217. *Asistencia a los países andinos en la reducción de riesgos y desastres en el sector agropecuario*.

Casey, K. S., Brandon, T. B., Cornillon, P., & Evans, R. (2010). The Past, Present and Future of the AVHRR Pathfinder SST Program. En V. Barale, J. F. R. Gower, & L. Alberotanza (Eds.), *Oceanography from Space: Revisited*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8681-5_16

Chiew, F. H., Piechota, T. C., Dracup, J. A., & McMahon, T. A. (1998). El Niño/Southern Oscillation and Australian rainfall, streamflow and drought: Links and potential for forecasting. *Journal of Hydrology*, 204(1), 138-149.

CHJ. (2007). Plan especial de Alerta y eventual sequia en la Confederacion Hidrografica del Jucar. *Ministerio de Medioambiente*. Valencia.

Cid-Serrano, L., Ramírez, S. M., Alfaro, E. J., & Enfield, D. B. (2015). Analysis of the latin american west coast rainfall predictability using an enso index. *Atmósfera*, 28(3), 191-203. <https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.04>

Climate, Energy and Tenure Division, Deputy Directory-General Natural Resources. (2010). *Sistematización de Prácticas para el aprovechamiento de recursos naturales en la cuenca del Chone en Ecuador*. FAO. www.fao.org/3/a-am029s.pdf

Coelho, C. a. S., Uvo, C. B., & Ambrizzi, T. (2002). Exploring the impacts of the tropical Pacific SST on the precipitation patterns over South America during ENSO periods. *Theoretical and Applied Climatology*, 71(3-4), 185-197. <https://doi.org/10.1007/s007040200004>

Combs, S. (2012). *The impact of the 2011 drought and beyond*. Texas Comptroller of Public Accounts.

Dai, A. (2011). Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900–2008. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D12).

Dai, A. (2012). The influence of the inter-decadal Pacific oscillation on US precipitation during 1923–2010. *Climate Dynamics*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00382-012-1446-5>

Davitaya, F. F., & Kulik, M. S. (1962). Agro-meteorological problems [of the USSR]. Compendium of abridged reports to the second session of the Commission for Agricultural Meteorology of the World Meteorological Organization. *Agrometeorological problems [of the USSR]. Compendium of abridged reports to the second session of the Commission for Agricultural Meteorology of the World Meteorological Organization*. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19630700296>

Dawson, J. P., Adams, P. J., & Pandis, S. N. (2007). *Sensitivity of PM 2.5 to climate in the Eastern US: a modeling case study*.

de Rojas, C., & Alicia, E. (2000). The climatic impact of La Niña-related droughts in Entre Rios (Argentina). *Drought Network News (1994-2001)*, 15.

D'Ercole, R., & Trujillo, M. (2003). *Hazards, vulnerability, capabilities and risk in Ecuador* (COOPI, OXFAM-GB, & IRD, Eds.). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01191420>

Downard, R., Endter-Wada, J., & Kettenring, K. M. (2014). Adaptive wetland management in an uncertain and changing arid environment. *Ecology and Society*, 19(2).

EC, E. (2012). Report on the Review of the European Water Scarcity and Droughts Policy. *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council*, 67.

Edwards, D. C., & McKee, T. B. (1997). *Characteristics of 20th Century drought in the United States at multiple time series*. Master thesis, Colorado State University.

Engle, N. L. (2013). The role of drought preparedness in building and mobilizing adaptive capacity in states and their community water systems. *Climatic Change*, 118(2), 291-306. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0657-4>

Estrela, T. (2006). La gestión de las sequías en España. *INGENIERÍA Y TERRITORIO* 74, 52.

Evans, J. D. (1996). *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Brooks/Cole Pub. Co.

Fannin, B. (2012). Updated 2011 Texas agricultural drought losses total \$7.62 billion. *AgriLife Today*, 21.

FAO. (1983). *Guidelines: Land evaluation for rainfed agriculture*. Soils Bulletin (52).

FAO. (2013). *Paving the way for national drought policies*. Natural Resources Management and Environment Department Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Fernández, B. (1997). *Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Chile central*. <https://upcommons.upc.edu/handle/2099/3082>

Gibbs, W. J., & Maher, J. V. (1967). Rainfall deciles as drought indicators. Commonwealth of Australia, Bureau of Meteorology, Melbourne. *Bulletin*, 48.

Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M., & Toulmin, C. (2010). Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, 327(5967), 812-818. <https://doi.org/10.1126/science.1185383>

Gommes, R. A., & Petrassi, F. (1994). *Rainfall Variability and Drought in Sub-Saharan Africa Since 1960*. FAO, Research and Technology Development Division, Agrometeorology Group.

Guerrero, B. (2012). The impact of agricultural drought losses on the Texas economy, 2011. *Briefing Paper, AgriLife Extension*.

Gumbel, E. J. (1963). Statistical forecast of droughts. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 8(1), 5-23. <https://doi.org/10.1080/02626666309493293>

Gutiérrez, A. P. A., Engle, N. L., De Nys, E., Molejón, C., & Martins, E. S. (2014). Drought preparedness in Brazil. *Weather and Climate Extremes*, 3, 95-106. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2013.12.001>

Heredia, E., & Pombosa, R. (1999). Influencia del ENSO sobre los caudales mensuales de las grandes cuencas hidrográficas del Ecuador. *Hydrological and geochemical processes in large scale river basins*.

Hu, Y., Wang, S., Yang, X., Kang, Y., Ning, G., & Du, H. (2019). Impact of winter droughts on air pollution over Southwest China. *Science of The Total Environment*, 664, 724-736. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.335>

ICSU, A. (2008). Science Plan for Integrated Research on Disaster Risk: Addressing the Challenge of Natural and Human-Induced Environmental Hazards. *International Council for Science, Paris*.

IPCC. (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R.*

Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp.

Kahil, M. T., Dinar, A., & Albiac, J. (2016). Cooperative water management and ecosystem protection under scarcity and drought in arid and semiarid regions. *Water Resources and Economics*, 13, 60-74. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2015.10.001>

Keetch, J. J., & Byram, G. M. (1968). A Drought Index for Forest Fire Control. *Res. Pap. SE-38. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southeastern Forest Experiment Station.* 35 p., 038. <https://www.fs.usda.gov/treearch/pubs/40>

Keshavarz, M. R., Vazifedoust, M., & Alizadeh, A. (2014). Drought monitoring using a Soil Wetness Deficit Index (SWDI) derived from MODIS satellite data. *Agricultural Water Management*, 132, 37-45. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.10.004>

Kiem, A. S., Johnson, F., Westra, S., van Dijk, A., Evans, J. P., O'Donnell, A., Rouillard, A., Barr, C., Tyler, J., Thyer, M., Jakob, D., Woldemeskel, F., Sivakumar, B., & Mehrotra, R. (2016). Natural hazards in Australia: Droughts. *Climatic Change*, 139(1), 37-54. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1798-7>

King, A. D., Karoly, D. J., & Henley, B. J. (2017). Australian climate extremes at 1.5 C and 2 C of global warming. *Nature Climate Change*, 7(6), 412.

Kogan, F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in space research*, 15(11), 91-100.

Linsley, R. K., Kohler, M. A., & Paulhus, J. L. P. (1949). Applied hydrology. *Civil Engineering Series (USA) Eng.* <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2017003347>

Maleki, S., Soffianian, A. R., Koupaei, S. S., Pourmanafi, S., & Saatchi, S. (2018). Wetland restoration prioritizing, a tool to reduce negative effects of drought; An application of multicriteria-spatial decision support system (MC-SDSS). *Ecological Engineering*, 112, 132-139. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.12.031>

McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17, 179-183.

Méndez, M., & Magaña, V. (2010). Regional aspects of prolonged meteorological droughts over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 23(5), 1175-1188.

Meza, F. J. (2013). Recent trends and ENSO influence on droughts in Northern Chile: An application of the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Weather and Climate Extremes*, 1, 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2013.07.002>

Minckley, T. A., Turner, D. S., & Weinstein, S. R. (2013). The relevance of wetland conservation in arid regions: A re-examination of vanishing communities in the American Southwest. *Journal of arid environments*, 88, 213-221.

Minoia, P. (2007). *Addressing the challenge of water scarcity and droughts in the European Union: Note for the European Committee of the Regions.*

Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1–2), 202-216. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012>

Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2007). *Wetlands* 4th edn John Wiley & Sons. New York.

Mondal, A., & Mujumdar, P. P. (2015). Return levels of hydrologic droughts under climate change. *Advances in Water Resources*, 75, 67-79. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2014.11.005>

Moriassi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885-900.

Naumann, G., Alfieri, L., Wyser, K., Mentaschi, L., Betts, R. A., Carrao, H., Spinoni, J., Vogt, J., & Feyen, L. (2018). Global Changes in Drought Conditions Under Different Levels of Warming. *Geophysical Research Letters*, 45(7), 3285-3296. <https://doi.org/10.1002/2017GL076521>

Oviedo Torres, B. L. (2011). *Caracterización de Fenómenos Meteorológicos. Universidad Nacional Abierta ya Distancia-UNAD, Bogotá-Colombia.*

Palmer, W. C. (1965). Meteorologic drought, Research Paper No 45. *US Weather Bureau, Washington.*

Palmer, Wayne C. (1968). Keeping Track of Crop Moisture Conditions, Nationwide: The New Crop Moisture Index. *Weatherwise*, 21(4), 156-161. <https://doi.org/10.1080/00431672.1968.9932814>

Panu, U. S., & Sharma, T. C. (2002). Challenges in drought research: Some perspectives and future directions. *Hydrological Sciences Journal*, 47(S1), S19-S30.

Park, C.-E., Jeong, S.-J., Joshi, M., Osborn, T. J., Ho, C.-H., Piao, S., Chen, D., Liu, J., Yang, H., & Park, H. (2018). Keeping global warming within 1.5° C constrains emergence of aridification. *Nature Climate Change*, 8(1), 70.

Parsons, D. J., Rey, D., Tanguy, M., & Holman, I. P. (2019). Regional variations in the link between drought indices and reported agricultural impacts of drought. *Agricultural Systems*, 173, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.02.015>

Pérez-Martín, M. A., Batán, A., del-Amo, P., & Moll, S. (2015). *Climate change impact on water resources and droughts of AR5 scenarios in the Jucar River, Spain.* 189-194. Scopus.

Quinn, W. H. (1992). The historical record of El Niño events. *Climate since AD 1500*, 623-648.

Quiring, S. M. (2009). Developing objective operational definitions for monitoring drought. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 48(6), 1217-1229.

Quiroz, M. C. (2011). Anexo del Informe Técnico: Elaboración de un boletín con información hidroclimática de los mares de México.". *Recuperado a partir de* <http://www.inapesca.gob.mx/portal/documentos/publicaciones/BOLETINES/hidroclimatico/INDIC-CLIMATICOS.pdf>.

Rey, D., Holman, I. P., Daccache, A., Morris, J., Weatherhead, E. K., & Knox, J. W. (2016). Modelling and mapping the economic value of supplemental irrigation in a humid climate. *Agricultural Water Management*, 173, 13-22. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.04.017>

Rind, D., Goldberg, R., Hansen, J., Rosenzweig, C., & Ruedy, R. (1990). Potential evapotranspiration and the likelihood of future drought. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 95(D7), 9983-10004. <https://doi.org/10.1029/JD095iD07p09983>

Rossel, F. (1997). Influencia de El Niño sobre los regimenes hidro-pluviométricos del Ecuador. *Series INSEQ*, 18.

Rouse Jr, J., Haas, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1974). *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*.

Saghafian, B., Haghnegahdar, A., & Dehghani, M. (2017). Effect of ENSO on annual maximum floods and volume over threshold in the southwestern region of Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 62(7), 1039-1049. <https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1296229>

Santistevan, R. J. (2008). *Aspectos biológicos de El Niño en el océano Pacífico ecuatorial*. Universidad de Guayaquil, Facultad de Ciencias Naturales, Centro de

Schneider, S. H. (1996). *Encyclopedia of climate and weather* (Vol. 678). Oxford university press New York.

Schwabe, K., Albiac, J., Connor, J. D., Hassan, R. M., & González, L. M. (2013). *Drought in arid and semi-arid regions: A multi-disciplinary and cross-country perspective*. Springer.

Shafer, B. A., & Dezman, L. E. (1982). Development of a Surface Water Supply Index (SWSI) to assess the severity of drought conditions in snowpack runoff areas. *Proceedings of the western snow conference*, 50, 164-175.

Sheffield, J., Wood, E. F., & Roderick, M. L. (2012). Little change in global drought over the past 60 years. *Nature*, 491(7424), 435.

Shiferaw, B., Tesfaye, K., Kassie, M., Abate, T., Prasanna, B. M., & Menkir, A. (2014). Managing vulnerability to drought and enhancing livelihood resilience in sub-Saharan Africa: Technological, institutional and policy options. *Weather and Climate Extremes*, 3, 67-79.

Smakhtin, V. U., & Schipper, E. L. F. (2008). Droughts: The impact of semantics and perceptions. *Water Policy*, 10(2), 131-143. <https://doi.org/10.2166/wp.2008.036>

Subrahmanyam, V. P. (1967). Incidence and spread of continental drought: World Meteorological Organization. *International Hydrological Decade, Reports on WMO/IHD Projects*, 2.

SUDENE. (1999). *Ó fenómenos das secas*.

Témez, J. (1977). *Modelo matemático de transformación «precipitación—Escorrentía»*. Asociación de Investigación Industrial Eléctrica ASINEL. Madrid: 39.

Touma, D., Ashfaq, M., Nayak, M. A., Kao, S.-C., & Diffenbaugh, N. S. (2015). A multi-model and multi-index evaluation of drought characteristics in the 21st century. *Journal of Hydrology*, 526, 196-207.

Tutasi, P., Palma, S., & Cáceres, M. (2011). Epipelagic copepod distributions in the eastern equatorial Pacific during the weak La Niña event of 2001. *Scientia Marina*, 75(4), 791-802.

United Nations Secretariat General. (1994). United Nations convention to combat drought and desertification in countries experiencing serious droughts and/or desertification, particularly in Africa. *Particularly in Africa*.

Valiente, O. M. (2001). Sequía: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones geográficas*, 26, 59-80. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=111741>

Van der Schrier, G., Briffa, K. R., Jones, P. D., & Osborn, T. J. (2006). Summer moisture variability across Europe. *Journal of Climate*, 19(12), 2818-2834.

Van der Schrier, G., Briffa, K. R., Osborn, T. J., & Cook, E. R. (2006). Summer moisture availability across North America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D11).

Van der Schrier, G., Efthymiadis, D., Briffa, K. R., & Jones, P. D. (2007). European Alpine moisture variability for 1800–2003. *International Journal of Climatology*, 27(4), 415-427.

Van Rooy, M. P. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, 43-48.

Vargas, G., Rutllant, J., & Ortlieb, L. (2006). ENSO tropical–extratropical climate teleconnections and mechanisms for Holocene debris flows along the hyperarid coast of western South America (17°–24°S). *Earth and Planetary Science Letters*, 249(3–4), 467-483. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2006.07.022>

Verbist, K., Robertson, A. W., Cornelis, W. M., & Gabriels, D. (2010). Seasonal predictability of daily rainfall characteristics in central northern Chile for dry-land management. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(9), 1938-1955.

Vicente-Serrano, S. M., Aguilar, E., Martínez, R., Martín-Hernández, N., Azorin-Molina, C., Sanchez-Lorenzo, A., Kenawy, A. E., Tomás-Burguera, M., Moran-Tejeda, E., López-Moreno, J. I., Revuelto, J., Beguería, S., Nieto, J. J., Drumond, A., Gimeno, L., & Nieto, R. (2016). The complex influence of ENSO on droughts in Ecuador. *Climate Dynamics*, 48(1-2), 405-427. <https://doi.org/10.1007/s00382-016-3082-y>

Wang, H., & Kumar, A. (2015). Assessing the impact of ENSO on drought in the U.S. Southwest with NCEP climate model simulations. *Journal of Hydrology*, 526, 30-41. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.012>

Wang, Y., Xie, Y., Cai, L., Dong, W., Zhang, Q., & Zhang, L. (2015). Impact of the 2011 Southern US drought on ground-level fine aerosol concentration in summertime. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 72(3), 1075-1093.

Watkins, K. (2006). Human Development Report 2006-Beyond scarcity: Power, poverty and the global water crisis. *UNDP Human Development Reports (2006)*.

Weghorst, K. (1996). The reclamation drought index: Guidelines and practical applications. *North American Water and Environment Congress & Destructive Water*, 637-642.

Wells, N., Goddard, S., & Hayes, M. J. (2004). A self-calibrating Palmer drought severity index. *Journal of Climate*, 17(12), 2335-2351.

Wilhite, D., Hayes, M., & Knutson, C. (2005). Drought Preparedness Planning: Building Institutional Capacity. *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues*. <https://doi.org/10.1201/9781420028386.ch5>

Wilhite, D., Hayes, M., Knutson, C., & Smith, K. (2000). Planning for Drought: Moving from Crisis to Risk Management. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 36, 697-710. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2000.tb04299.x>

Wilhite, D.A., & Buchanan-Smith, M. (2005). Drought as hazard: Understanding the natural and social context. En *Drought and Water Crises: Science, Technology, and Management Issues* (pp. 3-29).

Wilhite, Donald A. (Ed.). (1993). *Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-3224-8>

Wilhite, Donald A., & Glantz, M. H. (1985). Understanding: The Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10(3), 111-120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>

Wilhite, Donald A., Kumar, S., K, M. V., Wood, D. A., & 1956-. (2000). *Early warning systems for drought preparedness and drought management*. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300004311>

Wilhite, Donald A., Sivakumar, M. V. K., & Pulwarty, R. (2014). Managing drought risk in a changing climate: The role of national drought policy. *Weather and Climate Extremes*, 3, 4-13. <https://doi.org/10.1016/j.wace.2014.01.002>

WMO. (1986). Report on drought and countries affected by drought during 1974–1985. *WMO, Geneva*, 118.

Wong, G., Lanen, H. A. J. van, & Torfs, P. J. J. F. (2013). Probabilistic analysis of hydrological drought characteristics using meteorological drought. *Hydrological Sciences Journal*, 58(2), 253-270. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.753147>

World Food Programme. (2011). *Building Resilience: Bridging Food Security, Climate Change Adaptation and Disaster Risk Reduction*.

Yuan, F., Yasuda, H., Berndtsson, R., Uvo, C. B., Zhang, L., Hao, Z., & Wang, X. (2016). Regional sea-surface temperatures explain spatial and temporal variation of summer precipitation in the source region of the Yellow River. *Hydrological Sciences Journal*, 61(8), 1383-1394. <https://doi.org/10.1080/02626667.2015.1035658>

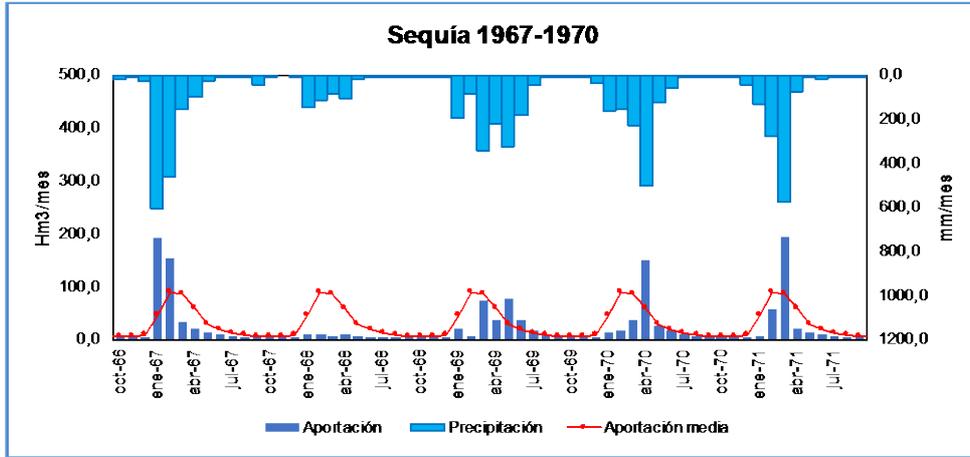
Zambrano Mera, Y. E., Rivadeneira Vera, J. F., & Pérez-Martín, M. Á. (2018). Linking El Niño Southern Oscillation for early drought detection in tropical climates: The Ecuadorian coast. *Science of The Total Environment*, 643, 193-207. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.160>

Zolotokrylin, A. N., Titkova, T. B., & Brito-Castillo, L. (2016). Wet and dry patterns associated with ENSO events in the Sonoran Desert from, 2000–2015. *Journal of Arid Environments*, 134, 21-32. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.06.014>

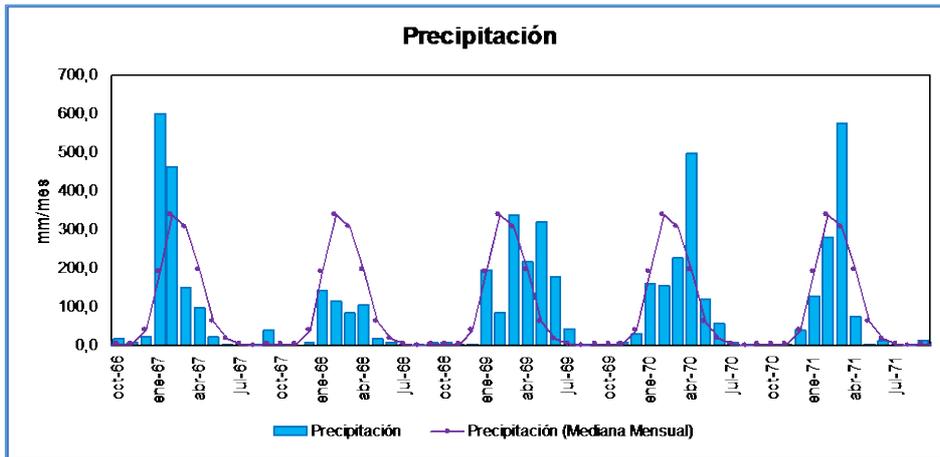
ANEXOS

ANEXO 1: SEQUÍAS HISTÓRICAS DE LA DHM

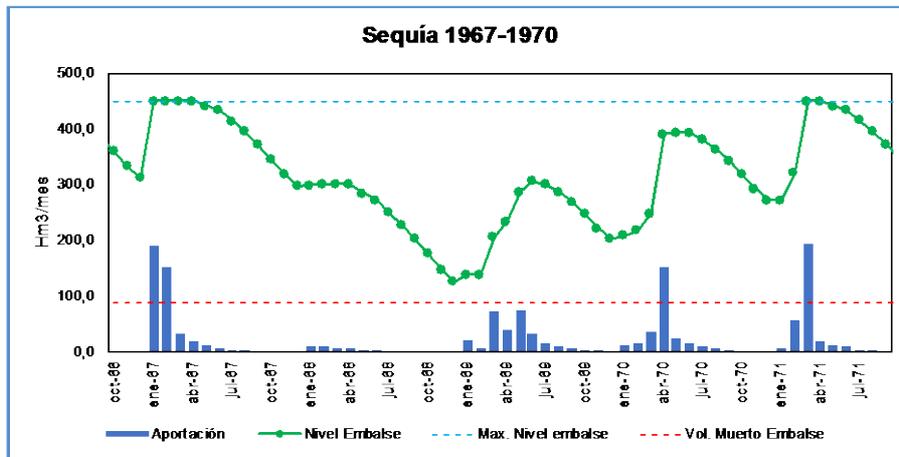
Sequía histórica de 1967/68 - 1969/70



Aportaciones registradas en la DHM durante la sequía histórica 1967/68 - 1969/70.

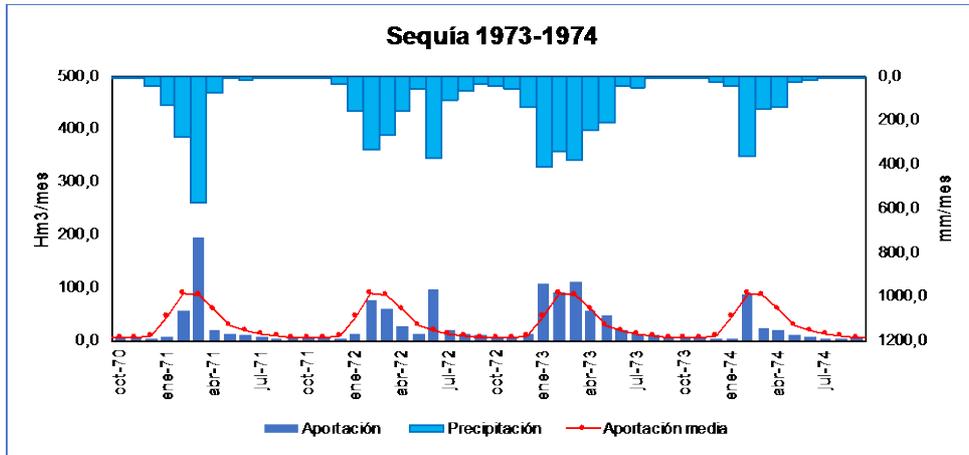


Precipitación media (339 mm) del período de análisis oct/64 - sept/2012.

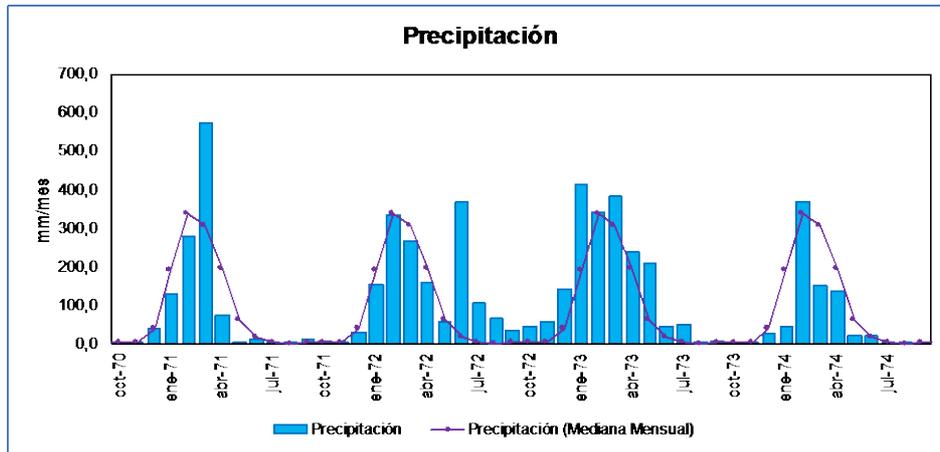


Aportaciones y volumen almacenado durante la sequía histórica 1967/68 - 1969/70

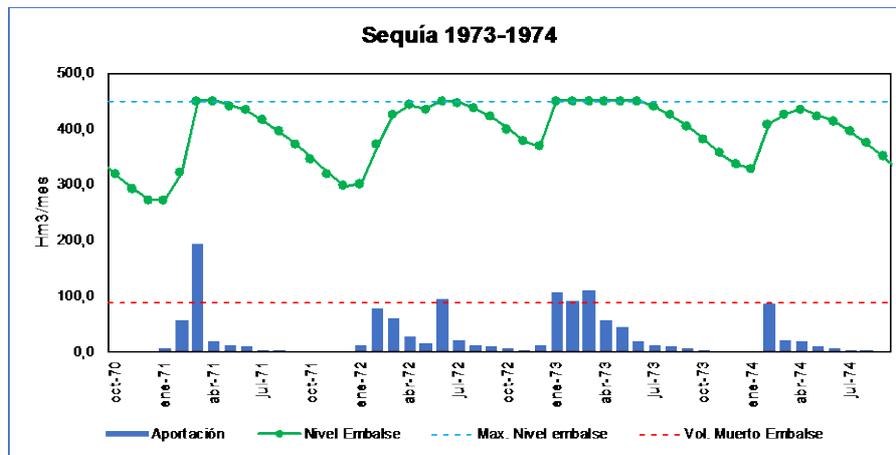
Sequía histórica de 1973 - 1974



Aportaciones registradas en la DHM durante la sequía histórica 1973 - 1974.

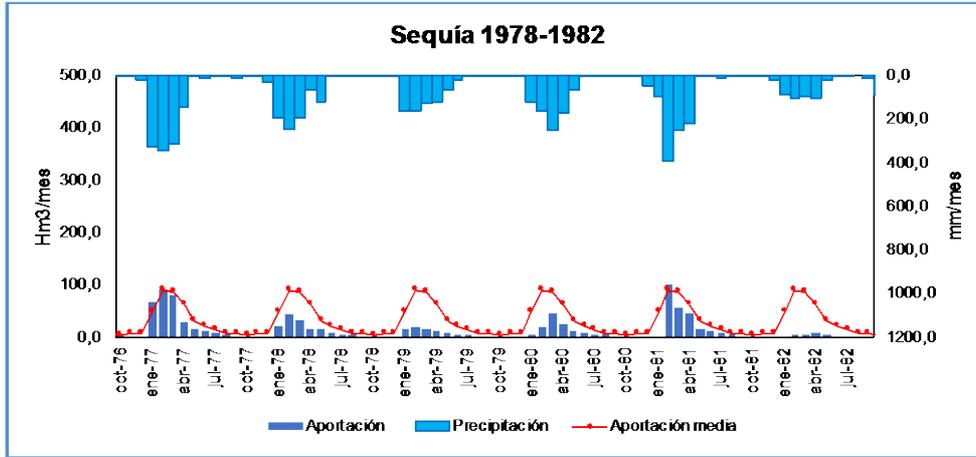


Precipitaciones registradas en la DHM durante la sequía histórica 1973 - 1974.

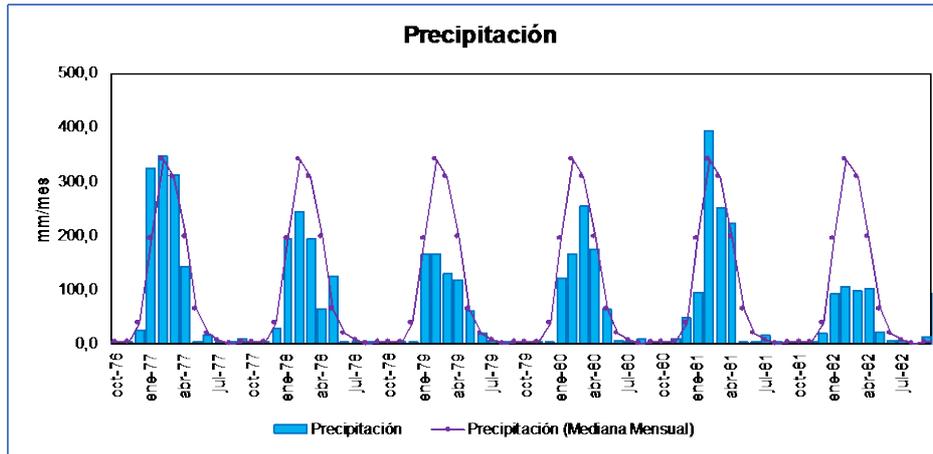


Aportaciones y volumen almacenado durante la sequía histórica 1973 - 1974.

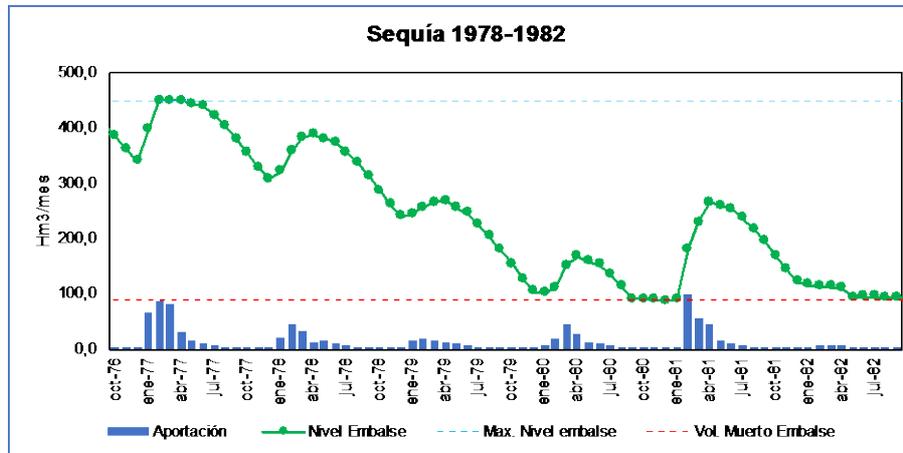
Sequía histórica de 1978/79 - 1981/82



Aportaciones registradas en la DHM durante la sequía histórica 1978 - 1982.

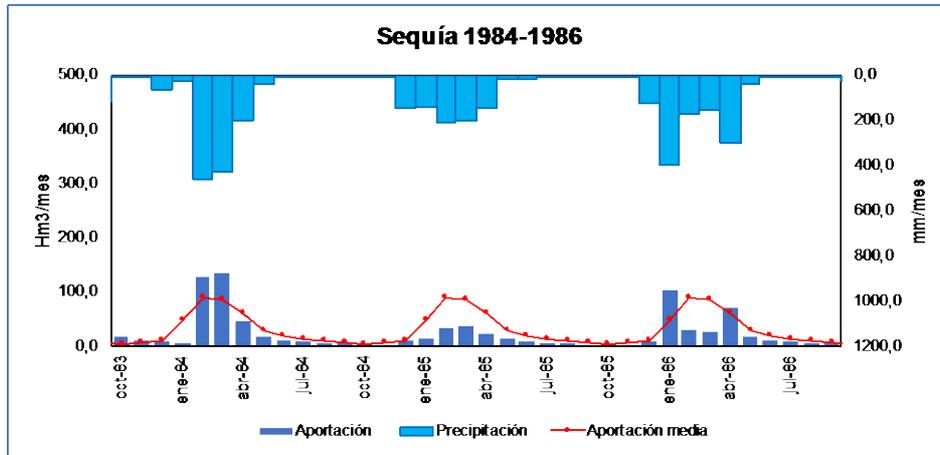


Precipitaciones registradas en la DHM durante la sequía histórica 1978 - 1982.

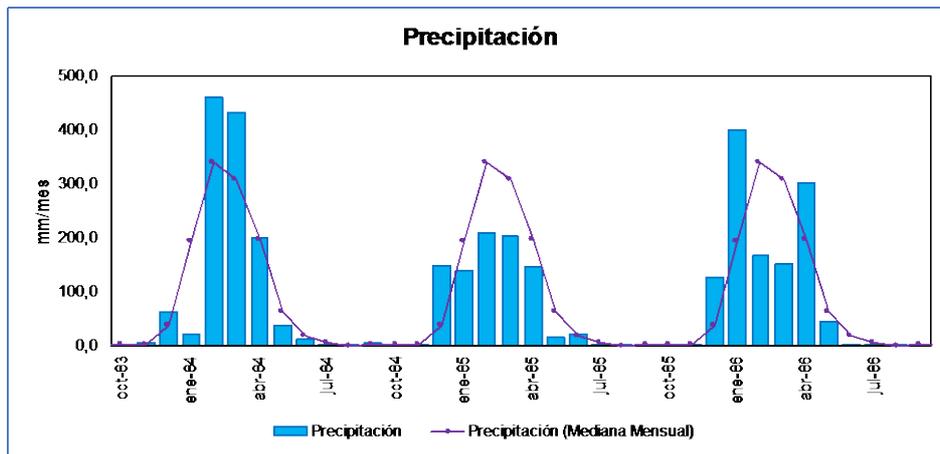


Aportaciones y volumen almacenado durante la sequía histórica 1978 - 1982.

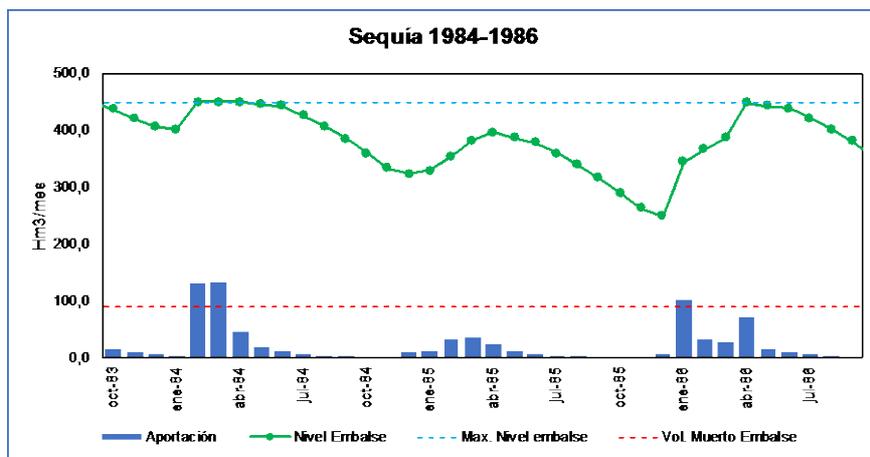
Sequía histórica de 1984/85 - 1985/86



Aportaciones registradas en la DHM durante la sequía histórica 1984 - 1986.

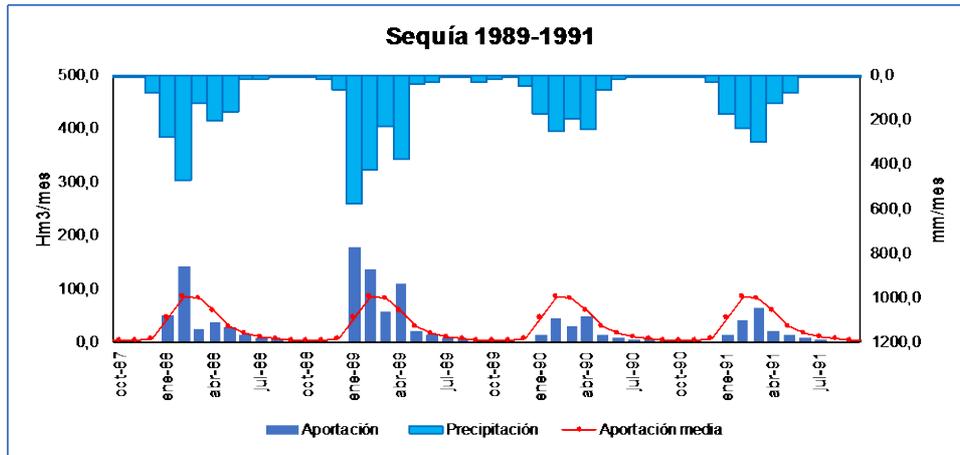


Precipitaciones registradas en la DHM durante la sequía histórica 1984 - 1986.

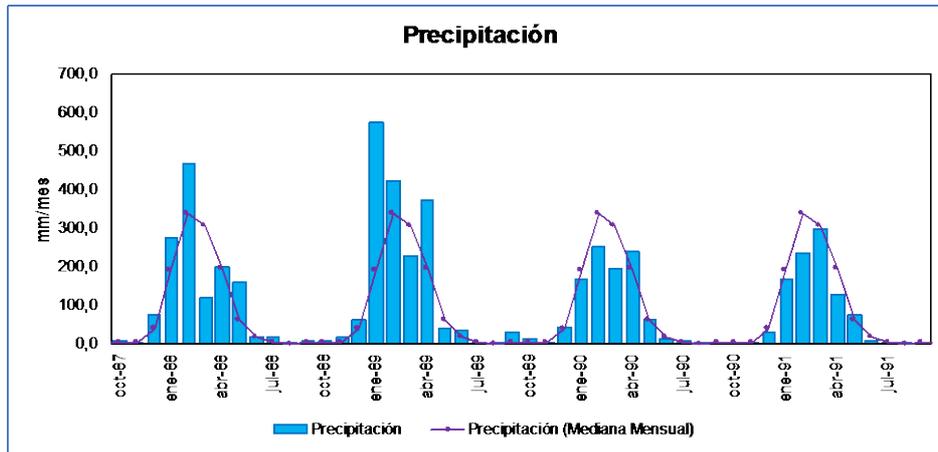


Aportaciones y volumen almacenado durante la sequía histórica 1984 - 1986.

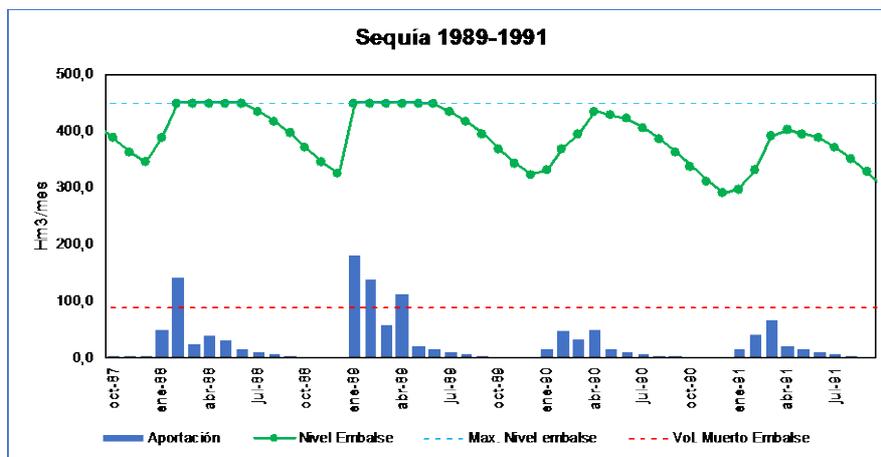
Sequía histórica de 1989/90 - 1990/91



Aportaciones registradas en la DHM durante la sequía histórica 1989 - 1991.

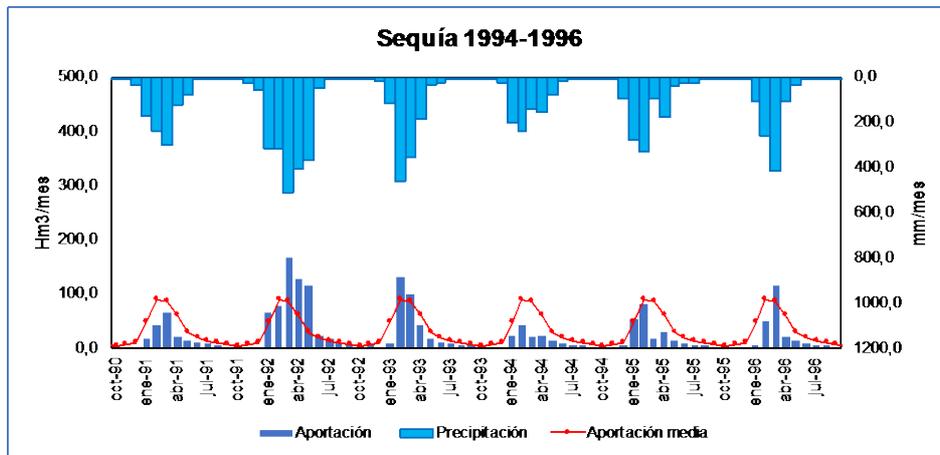


Precipitaciones registradas en la DHM durante la sequía histórica 1989 - 1991.

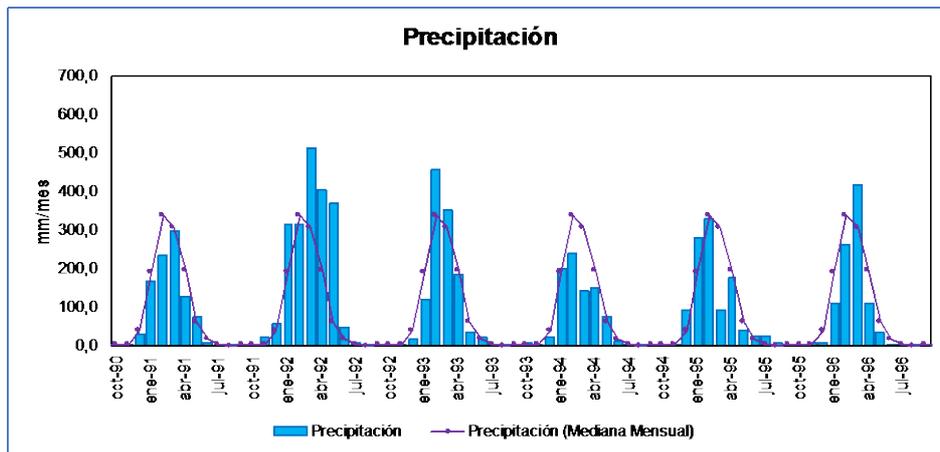


Aportaciones y volumen almacenado durante la sequía histórica 1989 - 1991.

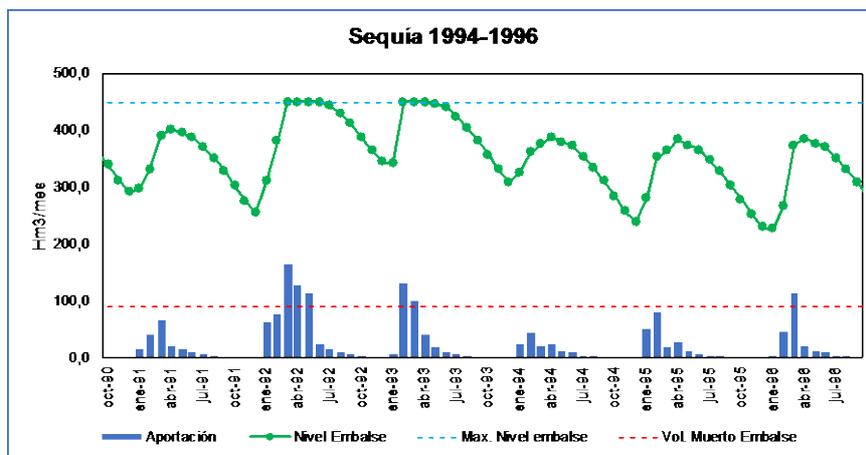
Sequía histórica de 1994/95 - 1995/96



Aportaciones registradas en la DHM durante la sequía histórica 1994 - 1996.

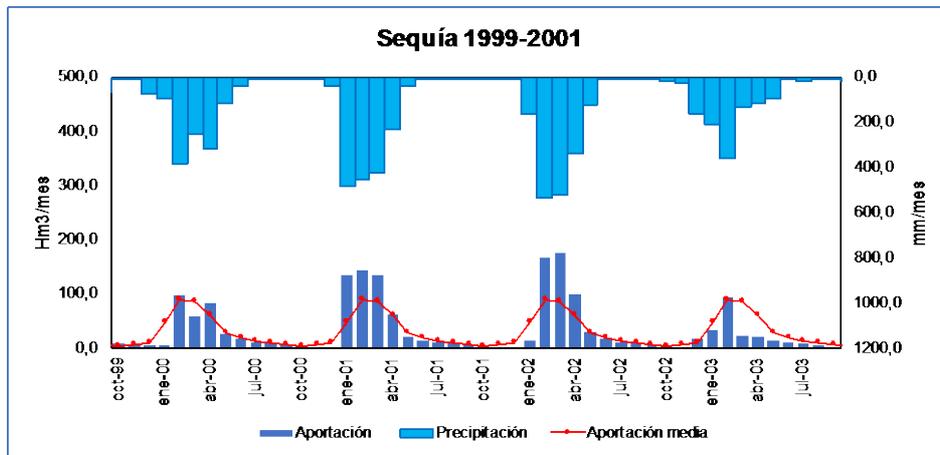


Precipitaciones registradas en la DHM durante la sequía histórica 1994 - 1996.

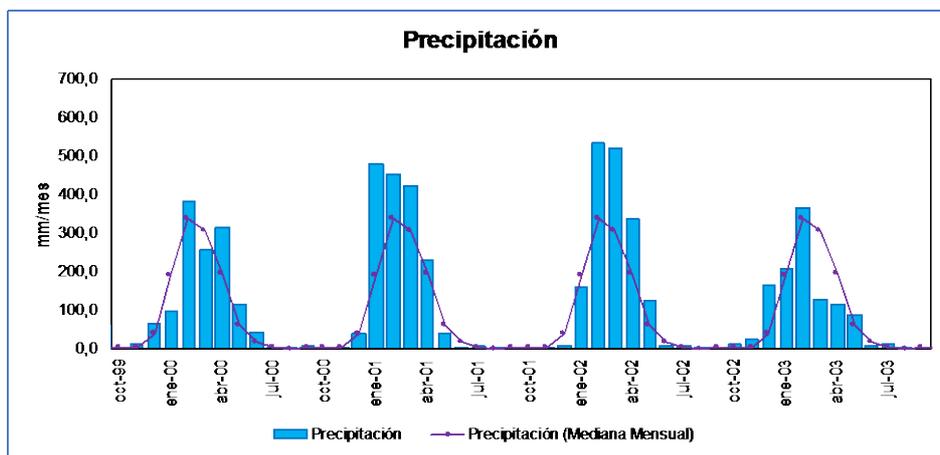


Aportaciones y volumen almacenado durante la sequía histórica 1994 - 1996.

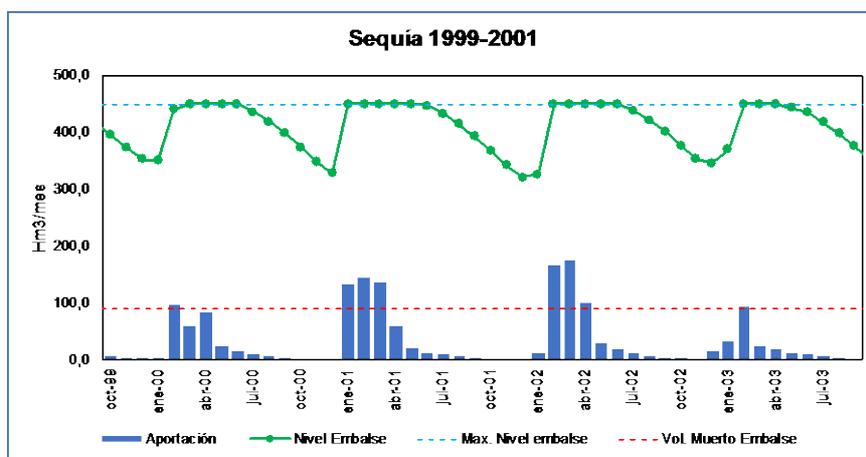
Sequía histórica de 1999/00 - 2000/01



Aportaciones almacenado durante la sequía histórica 1999 - 2001.

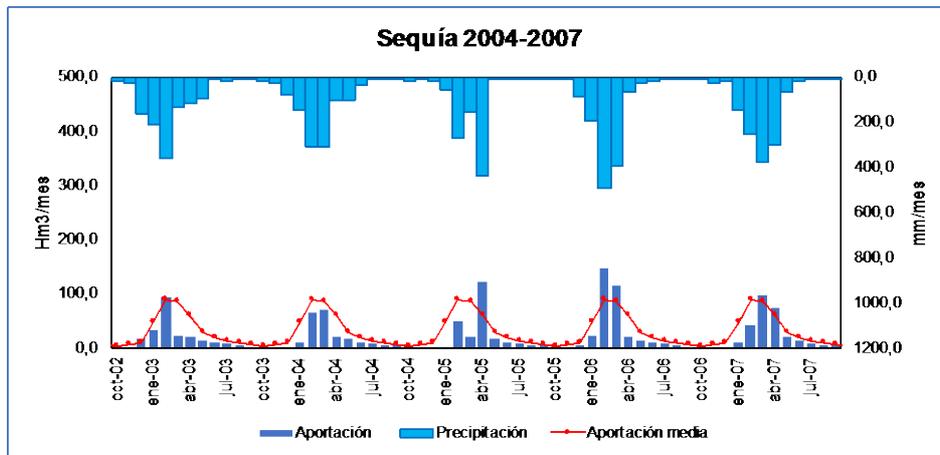


Precipitaciones almacenado durante la sequía histórica 1999 - 2001.

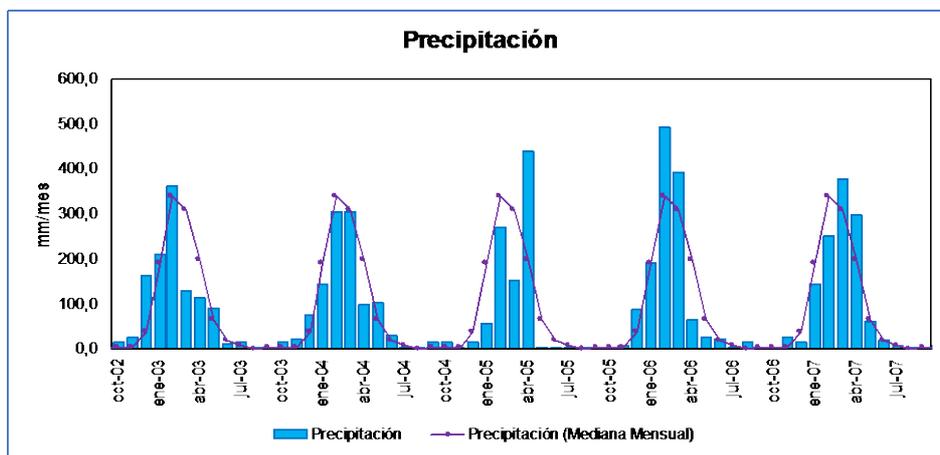


Aportaciones y volumen almacenado durante la sequía histórica 1999 - 2001.

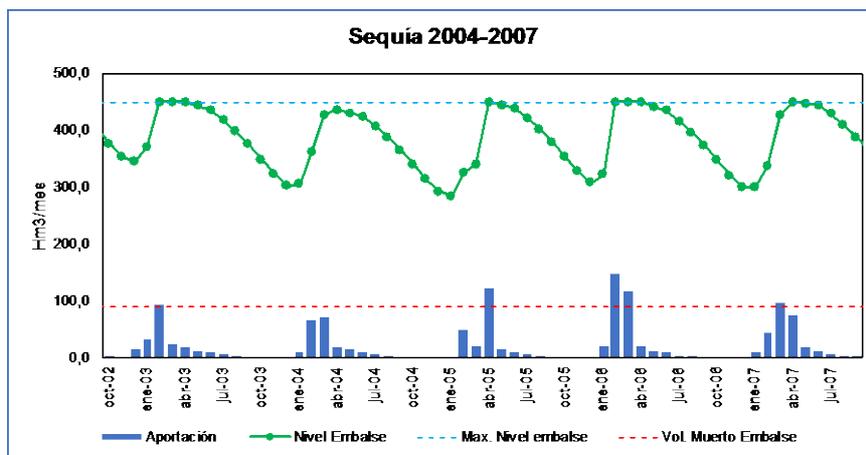
Sequía histórica de 2004/05 - 2006/07



Aportaciones durante la sequía histórica 2004 - 2007.

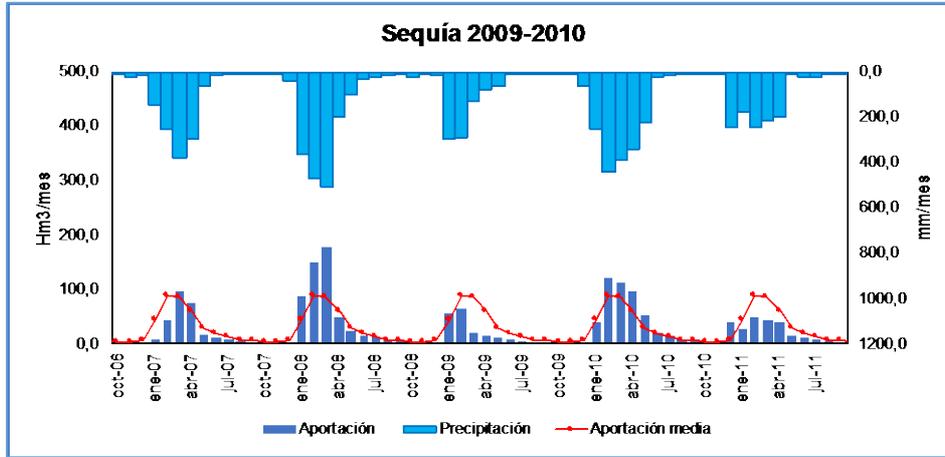


Precipitaciones durante la sequía histórica 2004 - 2007.

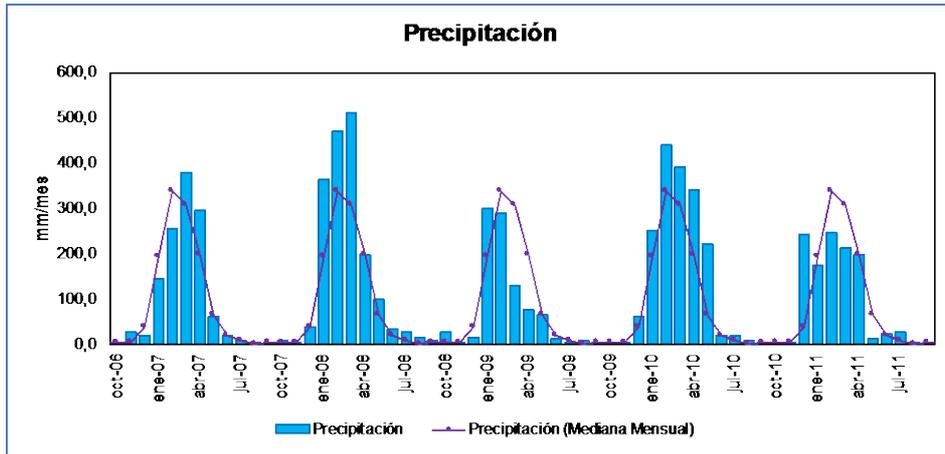


Aportaciones y volumen almacenado durante la sequía histórica 2004 - 2007.

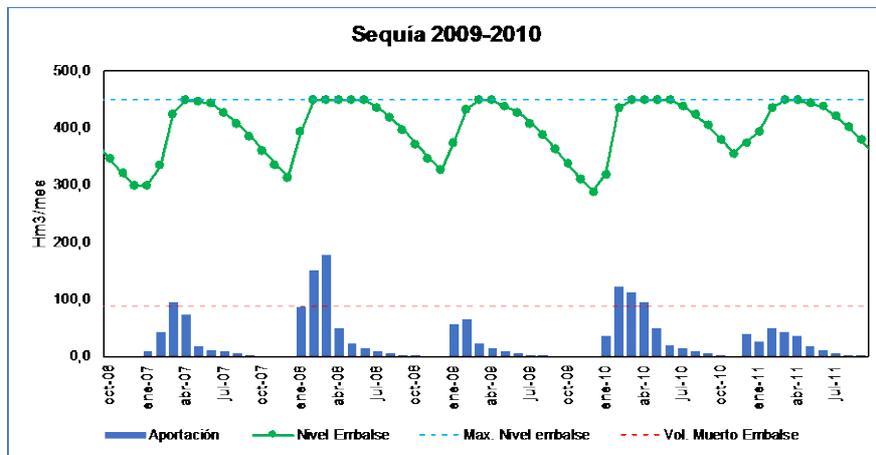
Sequía histórica de 2009-2010



Aportaciones durante la sequía histórica 2009- 2010.



Precipitaciones durante la sequía histórica 2009- 2010.



Aportaciones y volumen almacenado durante la sequía histórica 2009- 2010.

ANEXO 2: ANÁLISIS DEL PIB NACIONAL Y DE MANABÍ DEL SECTOR AGRICULTURA

APORTE DEL SECTOR AGRICULTURA DE MANABÍ AL PIB NACIONAL, REGIONAL Y PROVINCIAL.

Año	PIB nacional (Mill. USD)	PIB regional (Mill. USD)	PIB provincial (Mill. USD)	Sector Agricultura			Aporte porcentual de Manabí		Aporte porcentual del sector agricultura en Manabí	
				PIB Nacional (Mill. USD)	PIB regional (Mill. USD)	PIB Manabí (Mill. USD)	PIB NACIONAL	PIB REGIONAL	PIB NACIONAL	PIB REGIONAL
2007	89.442	38.217	5.036	7.908	4.764	935	6%	13%	12%	20%
2008	95.647	40.742	5.378	9.131	5.579	1.007	6%	13%	11%	18%
2009	96.153	42.364	5.550	9.801	5.921	939	6%	13%	10%	16%
2010	99.460	42.586	5.576	10.643	6.341	952	6%	13%	9%	15%
2011	106.810	45.413	6.237	12.077	7.400	1.026	6%	14%	8%	14%
2012	112.794	48.232	6.524	12.288	7.403	1.157	6%	14%	9%	16%
2013	119.652	51.398	6.906	13.626	8.271	1.204	6%	13%	9%	15%
2014	125.206	54.219	7.126	15.129	9.309	1.275	6%	13%	8%	14%
2015	125.386	56.154	7.715	15.418	9.449	1.235	6%	14%	8%	13%
2016	123.570	56.716	8.065	15.432	9.536	1.209	7%	14%	8%	13%

APORTE DEL SECTOR AGRICULTURA AL PIB NACIONAL

Aporte del sector agricultura al PIB Nacional (Millones USD)									
Año	Cultivo de banano, café y cacao	Cultivo de cereales	Cultivo de flores	Otros cultivos	Cría de animales	Silvicultura, extracción de madera y actividades relacionadas	Acuicultura y pesca de camarón	Pesca y acuicultura (excepto de camarón)	Cría de animales
2007	1.569	682	572	1.902	1.526	598	487	571	1.526
2008	1.871	749	675	2.176	1.749	635	598	677	1.749
2009	2.302	741	670	2.171	1.965	825	538	588	1.965
2010	2.386	697	939	2.377	2.051	915	660	618	2.051
2011	2.791	697	1.113	2.773	2.042	1.036	899	727	2.042
2012	2.538	844	1.105	2.806	2.080	1.074	992	851	2.080
2013	2.876	936	1.224	3.013	2.294	1.247	1.125	912	2.294
2014	3.271	981	1.329	3.217	2.521	1.501	1.379	929	2.521
2015	3.535	955	1.183	3.394	2.706	1.465	1.323	857	2.706
2016	3.454	911	1.190	3.415	2.626	1.503	1.435	898	2.626

APORTE DEL SECTOR AGRICULTURA DE MANABÍ AL PIB NACIONAL

Aporte del sector agricultura de la provincia de Manabí al PIB Nacional (Millones USD)																		
Año	Cultivo de banano, café y cacao		Cultivo de cereales		Cultivo de flores		Otros cultivos		Silvicultura, extracción de madera y actividades relacionadas		Cría de animales		Acuicultura y pesca de camarón		Pesca y acuicultura (excepto de camarón)		TOTAL	
	2007	135	9%	84	12%	0	0%	188	10%	53	11%	246	16%	18	3%	209	37%	935
2008	121	6%	76	10%	0	0%	154	7%	58	10%	296	17%	27	4%	275	41%	1.007	11%
2009	112	5%	66	9%	0	0%	142	7%	52	10%	305	16%	34	4%	228	39%	939	10%
2010	127	5%	58	8%	0	0%	147	6%	72	11%	263	13%	40	4%	244	39%	952	9%
2011	124	4%	47	7%	0	0%	161	6%	130	14%	217	11%	57	6%	291	40%	1.026	8%
2012	107	4%	51	6%	0	0%	138	5%	151	15%	246	12%	93	9%	372	44%	1.157	9%
2013	119	4%	57	6%	0	0%	146	5%	166	15%	254	11%	72	6%	389	43%	1.204	9%
2014	131	4%	72	7%	0	0%	133	4%	188	14%	322	13%	74	5%	354	38%	1.275	8%
2015	137	4%	84	9%	0	0%	117	3%	142	11%	379	14%	57	4%	317	37%	1.235	8%
2016	152	4%	106	12%	0	0%	125	4%	135	9%	333	13%	70	5%	288	32%	1.209	8%

PÉRDIDAS DEL SECTOR AGRICULTURA DE MANABÍ POR EFECTO DE LA SEQUÍA, DESGLOSADO POR ACTIVIDAD Y SU AFECTACIÓN AL PIB NACIONAL Y PROVINCIAL, DEL SECTOR AGRICULTURA Y DEL PIB TOTAL

Año	PIB total nacional (Mill. USD)	PIB total regional (Mill. USD)	PIB total provincial (Mill. USD)	PIB Sector Agricultura		Pérdidas del Sector Agricultura debido a la sequía		Tasa de afectación al PIB del sector agricultura		Tasa de afectación al PIB total	
				nacional (Mill. USD)	provincial (Mill. USD)	Componente	Monto	PIB provincial	PIB nacional	PIB provincial	PIB nacional
2009	96.153	42.364	5.550	9.801	939	Agricultura	90	10 %	1%	2%	0.1%
				2.302	112	Cultivo de banano, café y cacao	41	36%	2%		
				741	66	Cultivo de cereales	7	11%	1%		
				1.964	305	Cría de animales	42	14%	2%		