

Monitoreo y Evaluación de las Sequías en América Central

Estudio de Caso: Corredor seco de El Salvador, Honduras y Nicaragua

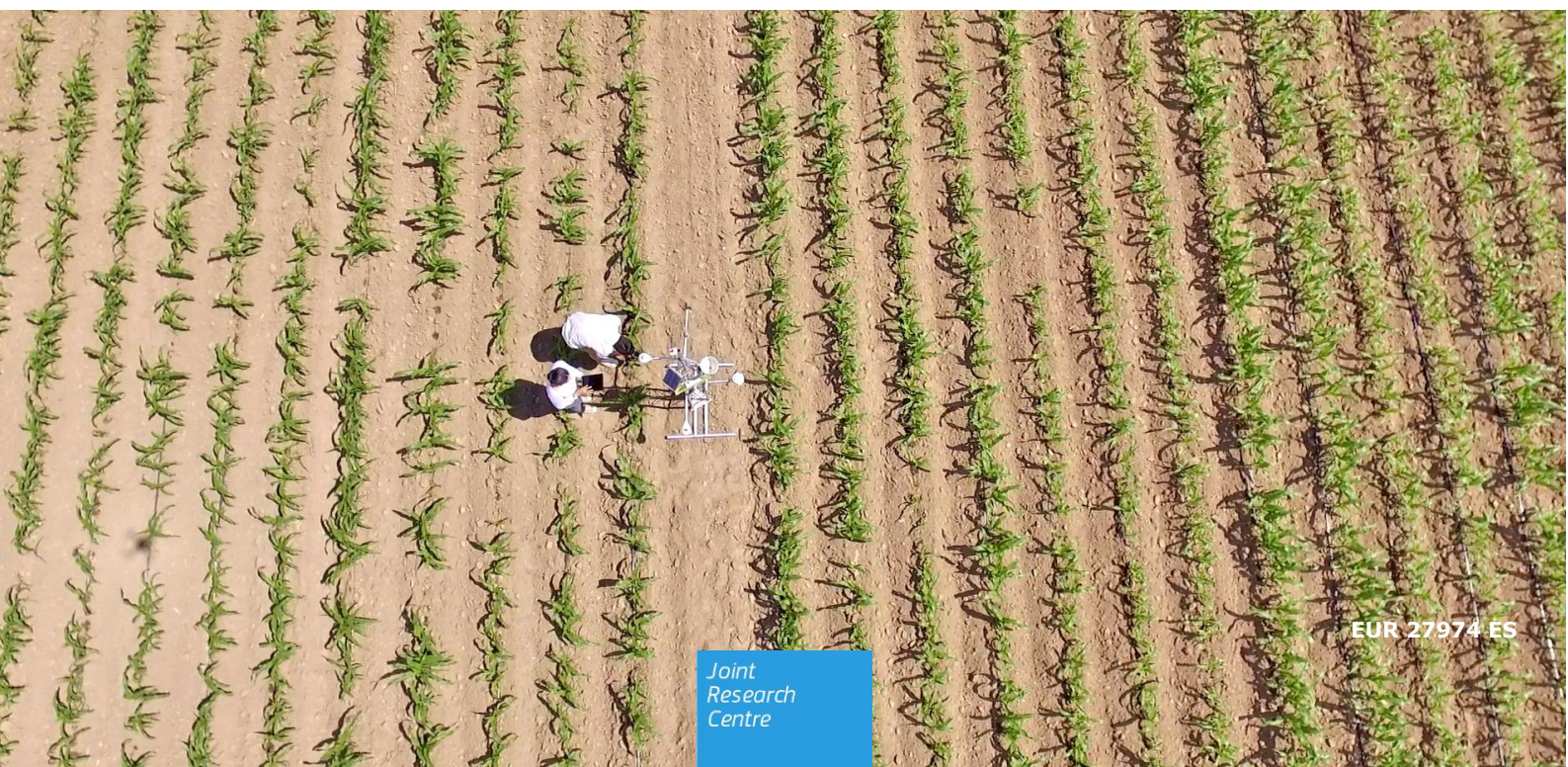
Serie de Estudios Temáticos EUROCLIMA – acción en desertificación, degradación de tierras y sequía (DDTS)



Autores: Andrés C. Ravelo, Ana M. Planchuelo, Roberto Aroche, José C. Douriet Cárdenas, Michelle Hallack Alegría, Renato Jiménez, Héctor Maureira, Tania Peña Paz, Guadalupe Tiscornia, Roberto Zanvettor y Ricardo Zimmermann

Editores: Hugo Carrão y Paulo Barbosa

2016



EUR 27974 ES

Joint
Research
Centre

Monitoreo y Evaluación de las Sequías en América Central

This publication is a Technical report by the Joint Research Centre (JRC), the European Commission's science and knowledge service. It aims to provide evidence-based scientific support to the European policy-making process. The scientific output expressed does not imply a policy position of the European Commission. Neither the European Commission nor any person acting on behalf of the Commission is responsible for the use which might be made of this publication.

JRC Science Hub

<https://ec.europa.eu/jrc>

JRC102117

EUR 27974 ES

PDF	ISBN 978-92-79-59410-6	ISSN 1831-9424	doi:10.2788/65166
Print	ISBN 978-92-79-59409-0	ISSN 1018-5593	doi:10.2788/782814

Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2016

© European Union, 2016

Reproduction is authorised provided the source is acknowledged.

How to cite: Andrés C. Ravelo, Ana M. Planchuelo, Roberto Aroche, José C. Douriet Cárdenas, Michelle Hallack Alegría, Renato Jimenez, Héctor Maureira, Tania Peña Paz, Guadalupe Tiscornia, Roberto Zanvettor y Ricardo Zimmermann; Monitoreo y Evaluación de las Sequías en América Central; Editores: Hugo Carrão y Paulo Barbosa; EUR 27974 ES; doi:10.2788/65166

All images © European Union 2016, except: cover page by Carlos Cruz.

Tabla de contenido

1. Introducción.....	8
1.1 Tipos e impactos de las sequías	9
1.2 La variabilidad climática y las sequías	10
1.2.1 El fenómeno de El Niño y las sequías	11
2. Aspectos metodológicos considerados	13
2.1 Índices de sequia	13
2.1.1 Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).....	13
2.1.2 Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI)	14
2.1.3 Índice de Humedad del Cultivo (CMI)	14
2.1.4 Índice de radiación fotosintéticamente activa (fAPAR)	14
2.1.4.1 Identificación de ocurrencia de sequías usando información satelital....	15
3. Sistema Operativo de Sequias (SOS)	16
4. Área de estudio	17
5. Base de Datos	18
5.1 Datos meteorológicos	18
5.2 Datos satelitales	18
6. Generación de mapas de los índices PDSI, SPI y CMI	19
7. Evolución temporal de los índices de sequías.....	21
7.1 Evolución temporal de los índices PDSI, SPI3 y CMI.....	21
7.2 Evolución temporal de las anomalías del fAPAR	22
8. Análisis de las ocurrencia de sequias en el área de estudio durante el año 2015 ...	23
8.1 Análisis de la ocurrencia de sequías en El Salvador.....	23
8.1.1 Daños registrados en El Salvador.....	24
8.2 Análisis de la ocurrencia de sequías en Honduras	25
8.2.1 Daños registrados en Honduras	26
9. Acciones de alerta y mitigación.....	27
10. Conclusiones	29
Referencias	30
Lista de abreviaturas y definiciones	33
Lista de cifras	34
Lista de tablas	35
ANEXO I. Serie temporal de los índices PDSI, SPI3, SPI6, SPI12 y CMI	36
Anexo I.I. Serie Enero-Septiembre, 2015 del PDSI	36
Anexo I.II. Serie Enero-Septiembre, 2015 del SPI3, SPI6, SPI12	39
Anexo I.III. Serie Junio-Agosto, 2015 del CMI	48
ANEXO II. Serie temporal de imágenes de anomalía fAPAR.....	49

Prólogo

Los países miembros de la Comunidad Europea (CE) han desarrollado sistemas de análisis, evaluación y mitigación de las sequías mediante el desarrollo de numerosos proyectos de investigación y extensión. Estas actividades llevaron a instalar un sistema de lucha contra las sequía que ha trascendido las fronteras de la Comunidad Europea y consecuentemente se están desarrollando proyectos de lucha contra las sequías en América Latina y el Caribe (LAC), con la participación en talleres de representantes de numerosos países de la región.

El presente documento fue desarrollado en el marco del Programa EUROCLIMA, financiado por la Unión Europea, coordinado por la Dirección General de Cooperación Internacional y Desarrollo (EuropeAid) e implementado por el Centro Común de Investigación (JRC por sus siglas en Inglés). El objetivo del proyecto que se informa fue establecer las bases de un sistema de acción en todos los países que integran LAC, que poseen las mismas problemáticas ambientales y que cuentan con capacidades y recursos similares para enfrentar las cuantiosas pérdidas materiales y padecimientos de la sociedad, cuando se presentan períodos con sequías o con canícula. El informe contiene los elementos metodológicos de monitoreo y evaluación de las sequías, que son fenómenos naturales que no reconocen fronteras y que poseen una recurrencia irregular y continua. Los resultados logrados en el proyecto son aplicables con seguridad de logros exitosos en los diferentes contextos ambientales y socio-económicos de los países que integran la región de LAC.

Agradecimientos

Se agradece a los organismos oficiales de los países del área considerada para el estudio de caso y a los funcionarios en particular que gentilmente proveyeron la información y datos necesarios para el desarrollo del presente informe.

Datos y bibliografía de El Salvador:

- Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección General del Observatorio Ambiental, Gerencia de Meteorología.

Datos y bibliografía de Honduras:

- Servicio Meteorológico Nacional
- La Secretaria de Energía, Recursos Naturales, Ambiente y Minas, a través de la Dirección Nacional de Recursos Hídricos
- Universidad Nacional Autónoma de Honduras a través del Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra.

Resumen Ejecutivo

Las sequías constituyen una adversidad climática recurrente en vastas regiones del mundo y su duración e intensidad son causas de importantes pérdidas económicas y disrupciones en las actividades de las comunidades rurales y urbanas. Se considera factible, que en un futuro cercano las sequías se intensifiquen a raíz de los cambios climáticos experimentados en los últimos años, además está pronosticado que aumentará la extensión de territorios afectados por sequías, lo que podría tener un mayor impacto en amplias regiones agrícolas. Si bien hasta el momento no existen mecanismos que puedan evitar la ocurrencia de sequías es posible por medio del análisis de la información climática, meteorológica, e hidrológica, realizar monitoreo y evaluaciones que permitan preparar planes de prevención de daños o de mitigación de los efectos negativos. Los objetivos del presente trabajo fueron: 1) Analizar la situación ambiental y de información meteorológica en la región de LAC respecto a la recurrencia de sequías y de canícula a través de talleres organizados por el Proyecto EUROCLIMA. 2) Generar una base de datos *ad hoc* que sirva de modelo para la aplicación de la metodología de análisis y monitoreo de sequías 3) Aplicar una metodología validada para el monitoreo y evaluación de las sequías en un área piloto de América Central; 4) Validar los resultados logrados mediante la metodología aplicada para un año con ocurrencia de sequías en el área piloto seleccionada. Para el procedimiento de monitoreo y evaluación de las deficiencias hídricas se diseñó y aplicó un programas de computación denominado Sistema Operativo de Sequías (SOS). Se utilizaron los índices de sequía PDSI (Palmer Drought Severity Index), SPI (Standardized Precipitation Index), CMI (Crop Moisture Index) y FAPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation), cuya utilización es reconocida internacionalmente. Se generaron mapas de dichos índices para el año 2015, en particular para la estación de crecimiento de los cultivos. Los resultados logrados señalan la ocurrencia de sequías severas en la mayor parte del área de estudio y se corroboran con el registro de daños y pérdidas importantes para el sector agrícola y pecuario. Los procedimientos utilizados permitieron identificar las áreas más afectadas y la variación temporal de la sequía, y generan valiosa información que puede ser utilizada en mecanismos de pronóstico del evento. Esta información es esencial para establecer planes de respuesta y mitigación a las sequías y la canícula, los cuales pueden conllevar a reducciones importantes de daños y pérdidas socio-económicas a la sociedad, en particular a las comunidades rurales.

Executive Summary

Droughts are a recurrent climatic event in many parts of the world which intensity and duration are the main causes of important economic losses and disruption in rural and urban activities. It is expected in the near future more intense droughts due to the climatic changes in the past years and, at the same time the affected territories will expand with significant impacts on agriculture. Although so far there are not mechanisms to avoid drought occurrence it is possible using climatic, meteorological and hydrological information to monitor and assess droughts to allow the preventive planning for damages reduction and mitigation of negative effects. The objectives of this work were: 1) To analyze the environmental situation and meteorological information of the LAC region in relation to drought and canícula occurrence at workshops organized by the EUROCLIMA project. 2) To generate a database to be used as example in the monitoring and assessment methodology. 3) To apply a proven methodology for monitoring and assessment of drought in a pilot area of Central America and 4) To validate the results for a selected drought year in the study area. The monitoring and assessment of water deficiencies was carried out with computer programs specifically designed as Operational Drought System (SOS). The following drought indices were used: PDSI (Palmer Drought Severity Index), SPI (Standardized Precipitation Index), CMI (Crop Moisture Index) and FAPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation), which application has been validated internationally. Drought maps for 2015 were generated particularly for the crop growing season. The results indicated the occurrence of severe drought in most of the studied area and they were verified by the recorded damages and losses of the agriculture and livestock sector. The procedures allowed identifying the most affected areas, the time variability of drought and they generated valued information needed for drought forecasting purposes. This information is essential to establish drought and canícula response and mitigation plans which can lead to the reduction of important social and economic damages and losses in particular to rural communities.

1. Introducción

Las sequías constituyen una adversidad climática recurrente en vastas regiones del mundo y su duración e intensidad son causas de importantes pérdidas económicas y disrupciones en las actividades de las comunidades rurales y urbanas (Downing, & Baker, 2000). La principal causa de cualquier sequía es la ausencia de lluvia y en particular, esa falta de lluvias durante un tiempo prolongado (Wilhite & Glantz, 1985). Por otro lado, la ocurrencia de un período seco estacional muy acotado en zonas de abundantes precipitaciones es conocida como la canícula. La canícula es definida por algunos autores como la reducción notable de las precipitaciones, asociada a varios días secos consecutivos, que aparecen con mayor frecuencia en los últimos diez días de julio y los primeros diez días de agosto. Este tipo de falta de agua está mucho más acotado en el tiempo y en el espacio territorial y si bien puede causar daños a la producción agrícola no tiene la misma dimensión del impacto que tienen las sequías (García Guirola et al., 2013). El área de afectación comprende a países de Centro América y el Caribe. Entre los factores que influyen en los daños que ocasionan las sequías son, la distribución espacial y la intensidad, así como la cantidad de agua almacenada en el suelo y en los reservorios de provisión de agua en relación a la demanda y al uso del agua por parte de los cultivos y la población (Milan-Gocic, 2014). Se considera factible, que en un futuro cercano las sequías se intensifiquen a raíz de los cambios climáticos experimentados en los últimos años, y además está pronosticado que aumentará la extensión de territorios afectados por sequías, lo que podría tener un mayor impacto en amplias regiones agrícolas (IPCC, 2007).

La deficiencia de precipitaciones por debajo de los valores normales ocasiona una escasez de agua que afecta el desarrollo de actividades agro-productivas, (Ravelo et al., 2003) industriales y sociales, afectando a todos los sectores de la población (Ravelo, 1980). Más allá de los costos productivos y monetarios, los impactos de la sequía perjudican a toda la sociedad y afectan negativamente a todos los componentes de los ecosistemas, produciendo desequilibrios ecológicos con consecuencias difíciles de revertir (Ravelo, 2000) y que conducen a una aceleración de los procesos de desertificación (Planchuelo & Ravelo, 2003). Es por esas razones que con frecuencia, las instituciones públicas y privadas deben tomar medidas que ayuden a mitigar los efectos de una sequía (Ravelo et al., 2008). En la región de Centro América, y en especial en el "corredor seco" de El Salvador, Honduras, Nicaragua, Costa Rica y Panamá, las prolongadas y severas sequías ocurridas en 2014/15, demandó que los gobiernos declaren un estado de emergencia en varias zonas de la región. A pesar de la importancia de los daños causados por las sequías no existen suficientes estudios que permitan evaluar su ocurrencia, intensidad, frecuencia y distribución geográfica y en consecuencia planificar acciones preventivas y paliativas para la adversidad climática. Dichas acciones pueden incluir la elaboración de cartografía de zonificación agroecológica de los principales cultivos, sistemas de alerta temprana de la posible ocurrencia de sequías, planes de mitigación como por ejemplo la oferta de pólizas de seguro y otras herramientas efectivas que minimicen sus efectos adversos que producen las sequías.

Si bien hasta el momento no existen mecanismos que puedan evitar la ocurrencia de sequías es posible por medio del análisis de la información climática, meteorológica, e hidrológica, realizar monitoreo y evaluaciones que permitan preparar planes de prevención de daños o de mitigación de los efectos negativos (Zanvettor & Ravelo, 2000; Ravelo et al., 2001). El conocimiento anticipado de las características del fenómeno son esenciales para establecer medidas de mitigación, adaptación y enfatizar la resiliencia de la sociedad por parte de las acciones de los sectores públicos y privados de cada país. Por estas razones, un sistema de monitoreo, evaluación y pronóstico de las sequías puede ser utilizado para la planificación de acciones de alerta temprana y mitigación de los impactos de la sequía (Ravelo, et al., 2014). Dicho sistema deberá integrar al conjunto de los aspectos ambientales y socio-económicos que deben ser adecuadamente considerados para lograr un uso sustentable del recurso agua. Unos de

los componentes más importantes para la correcta operación del sistema integrado de sequías es disponer de personal capacitado en los aspectos científicos y técnicos.

Por lo expresado, los objetivos del trabajo realizado son:

- a) Analizar la situación ambiental y de información meteorológica en la región de LAC respecto a la recurrencia de sequías y de canícula a través de talleres organizados por el Proyecto EUROCLIMA.
- b) Realizar una compilación de los métodos existentes para monitorear y evaluar integralmente a las sequías.
- c) Generar una base de datos *ad hoc* para un área de estudio seleccionada que sirva de modelo para la aplicación de la metodología de análisis y monitoreo de sequías.
- d) Aplicar una metodología apropiada para el monitoreo y evaluación de las sequías en un área piloto de América Central.
- e) Validar los resultados logrados mediante la metodología aplicada para un año con ocurrencia de sequías en el área piloto seleccionada.
- f) Generar un ejemplo del sistema operativo para un año con sequías.
- g) Establecer un conjunto de conclusiones sobre el trabajo desarrollado y las acciones técnico-administrativas necesarias para implementar un sistema de monitoreo y evaluación de las sequías a nivel regional y/o nacional.

1.1 Tipos e impactos de las sequías

Cuando las lluvias son escasas se producen períodos de sequías que según el nivel de afectación e intensidad se clasifican en distintas categorías (Ravelo, 2012, Planchuelo, 2015).

- 1) Sequía meteorológica:** Se produce cuando las precipitaciones son inferiores a los promedios normales para ese ambiente climático y en ese período estacional. Este tipo de sequía causa un tiempo seco que afecta temporalmente el ambiente, el cual puede reponerse luego de una lluvia moderada. Si la falta de lluvias se prolonga por un período más prolongado, pueden acontecer otras formas de sequías que tienen mayor impacto social y económico.
- 2) Sequía agrícola:** Ocurre cuando la cantidad de las reservas de agua del suelo no satisfacen las necesidades de las plantas, consecuentemente, se produce una disminución considerable de los rendimientos de los cultivos y de la producción ganadera. Este tipo de sequía surge por la falta prolongada de precipitaciones, y es potenciada por un mal manejo agrícola, que causa erosión edáfica y provoca que las condiciones no sean adecuadas para la retención de agua. Por lo tanto, las plantas sufren un déficit hídrico, a pesar de que el agua podría estar disponible, si las condiciones de suelo fueran apropiadas.
- 3) Sequía hidrológica:** Ocurre cuando hay un déficit de lluvias muy prolongado y se ven afectados los niveles de los cursos de aguas superficiales como son los arroyos, ríos, lagos, represas y no se reponen los acuíferos subterráneos. Este tipo de sequía afecta la disponibilidad de agua para satisfacer las demandas del entorno natural y social.
- 4) Sequía socio-económica:** Se produce como consecuencia de la ocurrencia de los tipos de sequías anteriormente descritas, que causan un impacto negativo en las comunidades y en todos los eslabones de las actividades de las cadenas productivas y sociales, generando condiciones de pobreza y exclusión social.

Las clases enunciadas se presentan en un orden de incremento de la intensidad que, en consecuencia, producen un mayor impacto negativo.

La Figura 1 muestra los diferentes impactos de las condiciones climáticas adversas asociadas a las sequías

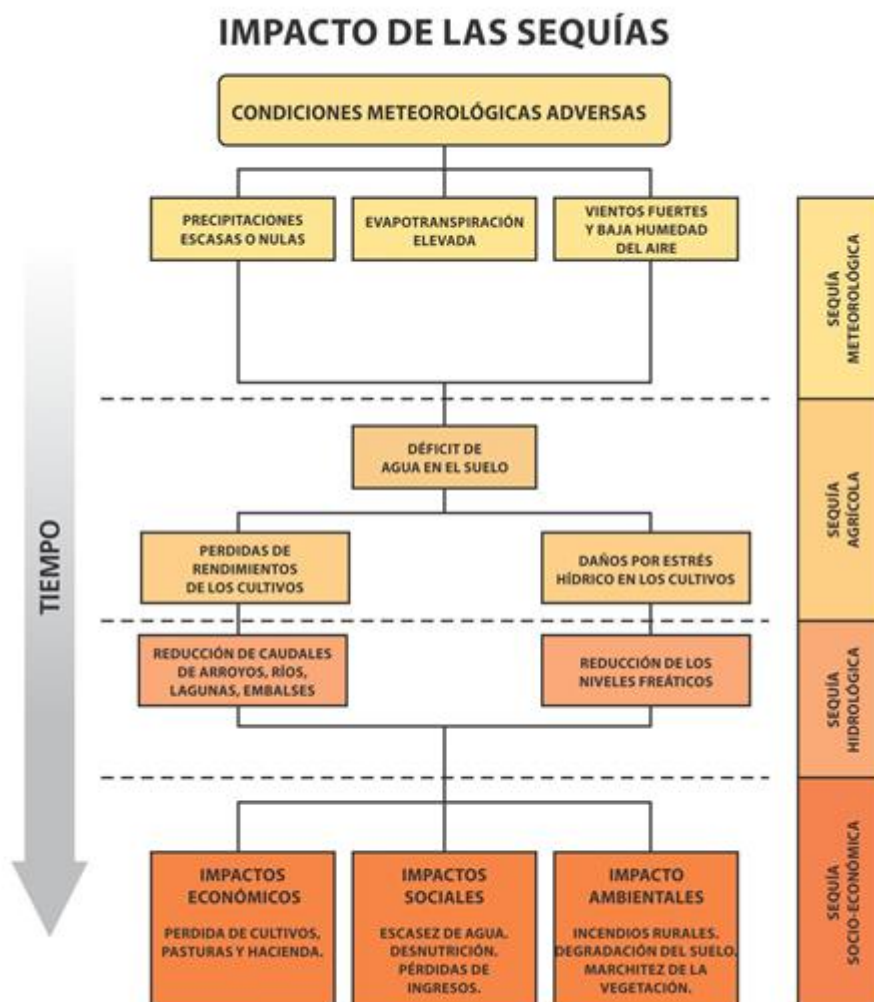


Figura 1 Características e impactos de los distintos tipos de sequías.

1.2 La variabilidad climática y las sequías

La variabilidad climática que produce períodos de sequías y/o lluvias torrenciales, afectan negativamente las producciones agrícolas tal como lo demostraron hace más de tres décadas varios autores para amplias zonas de América Latina (Strommen et al., 1979; Steyaert, et al. 1981; Ravelo & Steyaert, 1983; Planchuelo-Ravelo & Ravelo, 1985; Ravelo et al., 1987; Ravelo, 2000). Más recientemente, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) señala en su informe sobre el cambio climático (IPCC, 2007), que las observaciones meteorológicas de registros instrumentales en los últimos 150 años muestran que las temperaturas en la superficie terrestre han aumentado a nivel mundial, con variaciones regionales importantes. Este aumento de temperatura trae aparejado cambios en la circulación

general de la atmosfera que repercute en los patrones de vientos y precipitaciones a nivel global causando periodos de extremos térmicos y de montos de precipitaciones. Por lo tanto, la importancia del calentamiento global no está en el cambio de los valores promedios de las temperaturas y la precipitación sino en el aumento general de los fenómenos que causan eventos meteorológicos extremos. Se prevé que las sequías tendrán mayor intensidad y recurrencia afectando principalmente a aquellas regiones cuyos montos de precipitaciones serán menores en el futuro como consecuencia del cambio climático. Las sequías afectarán con mayor intensidad a aquellas actividades económicas sensibles a las adversidades meteorológicas y, en particular, a la agricultura. Por lo antedicho, se hace necesario desarrollar y poner en funcionamiento sistemas de monitoreo, evaluación y pronóstico de sequías para reducir la vulnerabilidad que presentan los sistemas agrícolas a la escases de agua, de manera de proponer planes para preservar los ingresos de las comunidades rurales. Además, en un plan integral del manejo de los recursos hídricos se deben tomar las previsiones de identificación, almacenamiento y distribución de fuentes de agua para riego, utilizando los mejores sistemas que permitan un aprovechamiento total de las fuentes de agua disponibles para ayudar a las poblaciones rurales en la adaptación al cambio climático y contrarrestar a las sequías y la desertificación.

Considerando las cuantiosas pérdidas económicas y sus repercusiones en la sociedad, la Convención para la Lucha contra la Desertificación y las Sequías de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha centralizado los esfuerzos internacionales para establecer estrategias de respuesta y mitigación a las sequías. En la actualidad, numerosos países poseen sistemas operativos para la detección, evaluación y mitigación de las sequías. La reciente conferencia sobre las sequías en Valencia (España) refleja la activa participación europea y de varios países a nivel mundial en las investigaciones y actividades relacionadas a la adversidad climática (ICD, 2015; Planchuelo 2015).

En la actualidad se encuentran disponibles boletines agro-meteorológicos que evalúan los episodios de ocurrencia de sequías en distintas partes de Latinoamérica. Como por ejemplo, los que figuran en las páginas web de entidades relacionadas con los servicios meteorológicos, de manejo de recursos hídricos o agrícolas de las siguientes instituciones que tratan la evaluación de las sequías.

CREAN: http://www.crean.unc.edu.ar/secciones/monitoreo/monitoreo_intro.html.
Córdoba, Argentina

CONAGUA: <http://www.conagua.gob.mx/OCPN07/Noticias/Boletin>. Culiacán, México

Observatorio Ambiental: <http://mapas.snet.gob.sv/meteorologia/decadico.pdf>.

El Salvador.

1.2.1 El fenómeno de El Niño y las sequías

El fenómeno de El Niño Oscilación del Sur (ENOS), es una anomalía climática que afecta y modifica los patrones climáticos a nivel mundial y afecta en forma reiterativa muchas áreas de la región centroamericana.

El fenómeno ocurre en lapsos de dos a siete años como consecuencia de eventos frente a la costa occidental de América del Sur. Se observa que las corrientes oceánicas y los vientos producen cambios que hacen que la temperatura del agua aumente y desplace el agua fría y rica en nutrientes que normalmente surge de las profundidades del océano. La invasión de agua caliente altera tanto la cadena alimentaria marina, como las economías de las comunidades costeras que se basan en las industrias pesqueras y afines. La intensidad y la duración del evento son variables y difíciles de predecir. Su duración es de catorce a veintidós meses, pero puede variar y extenderse por periodos

más largos o más cortos. El Niño suele comenzar a principios de año y los picos se dan entre el mes de noviembre y enero.

El ENOS puede provocar inundaciones o sequías dependiendo la fase e intensidad del evento, la época del año y la región del territorio hondureño que abarque. Según Aceituno (1998) y Rogers (1988), durante la ocurrencia de un evento El Niño, en el período de julio a diciembre, la precipitación decrece significativamente sobre Centroamérica y la parte norte de Sud América. De acuerdo con la Comisión Económica Para América Latina (CEPAL) los eventos ENOS de 1982-1983 y de 1997-1998 fueron los peores del siglo XX. Las sequías causadas por el evento de 1982-1983 favorecieron la propagación de incendios forestales en Centroamérica, México, Venezuela, Bolivia, Paraguay y Brasil, también estuvieron asociados al aumento en los periodos de sequía, posiblemente generados por El Niño. Este fenómeno produjo pérdidas económicas regionales de aproximadamente 15,480 millones de dólares.

En conclusión, las condiciones que predominan durante el período del fenómeno de El Niño dan como resultado un tiempo más seco y caliente entre junio y agosto en amplias zonas de América Central, que provoca un calentamiento de las aguas que cambian el patrón de lluvias y pueden producir sequías en las zonas costeras o intensas lluvias que causan inundaciones en amplias zonas de Centro América. Dado que en la zona de marina de afectación predomina la producción de camarón y en las zonas mediterráneas los cultivos de granos básicos, la ganadería y en menor cantidad la producción avícola son varias las cadenas productivas afectadas. Se puede decir que el fenómeno de El Niño es el mayor causante de pérdidas por sequía en una amplia zona de la región sur de Honduras y países vecinos.

2. Aspectos metodológicos considerados

Los pasos que se siguieron para poder poner en marcha la metodología de monitoreo y evaluación de sequías fueron:

- 1) Selección de los métodos de monitoreo y evaluación de las sequías meteorológicas, agrícolas e hidrológicas con especial referencia a los índices de sequía PDSI, SPI, CMI y FAPAR. Se describen los principales métodos usados internacionalmente en los últimos años y que hayan demostrado una capacidad operativa en función de sus requerimientos de datos disponibles además de su sencillez y rapidez de cálculo. Los métodos utilizados fueron computarizados para lograr una total automatización de los cálculos y representación cartográfica. Se tuvieron en cuenta las normas de la OMM para los índices seleccionados y posibles relaciones entre fenómenos climáticos (Ej. ENSO) y la variabilidad de dichos índices.
- 2) Selección del área piloto, la cual fue acordada con los representantes de los países de América Central y Cuba y con los Puntos Focales Nacionales de EUROCLIMA¹. Se propuso al corredor seco de El Salvador, Honduras y Nicaragua.
- 3) Identificación de los datos necesarios para la utilización de tres métodos de detección y evaluación de sequías. Esos datos fueron seleccionados por su capacidad operativa y de su ubicación institucional en todos los países considerados de América Central. Se indicaron el número de estaciones, las variables meteorológicas observadas, la longitud de la serie histórica y la institución que posee la información.
- 4) Preparación de un ejemplo del sistema de monitoreo y evaluación de sequías aplicado a las estaciones del área piloto. Ilustración con un diagrama de flujo y su automatización operativa.

2.1 Índices de sequia

Si bien como se explicó anteriormente no existen mecanismos que puedan evitar la ocurrencia de sequías, es posible, mediante el análisis de la información climática, meteorológica e hidrológica, realizar una identificación, valoración y previsión del fenómeno ambiental. Algunos elementos de análisis consisten en índices de sequía de tipo meteorológico; por ejemplo, el Índice de Severidad de Sequía (PDSI, siglas de Palmer Drought Severity Index) de Palmer (1965), el Índice de Humedad del Cultivo (CMI, siglas de Crop Moisture Index) de Palmer (1968) y el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI, siglas de Standardized Precipitation Index) de McKee et al. (1993). La fracción absorbida de la radiación fotosintéticamente activa (FAPAR, por sus siglas en inglés) es derivada de información satelital y puede ser utilizada para el monitoreo y evaluación de las sequías agrícolas (Rossi & Niemeyer, 2012). Sus ventajas son la amplia cobertura geográfica, su complementación con otros índices meteorológicos y su relación con la productividad de los cultivos.

2.1.1 Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

El SPI se basa en una probabilidad estadística de ocurrencia de precipitación y fue diseñado para comportarse como un indicador temporal y espacial de la sequía (McKee et al., 1993; Zanvettor & Ravelo, 2000). El SPI se lo calcula mediante una serie de datos

¹ El programa EUROCLIMA se ejecuta en 18 países de América Latina mediante los Puntos Focales que cada uno de los gobiernos de estas naciones han designado.

de precipitaciones de un período suficientemente largo (30 o más años) para cada estación meteorológica. La distribución de la serie es ajustada a una distribución Gamma, dado que es la que mejor ajusta a las series de precipitaciones mensuales. La probabilidad acumulada obtenida con la distribución Gamma es transformada a una distribución normal con una media igual a cero y una desviación estándar igual a uno. Los valores de SPI pueden ser obtenidos para reflejar las condiciones hídricas en diferentes escalas de tiempo: un mes (SPI1), tres meses (SPI3), seis meses (SPI6), 12 meses (SPI12) y 24 meses (SPI24), lo cual permite evaluar los déficits de precipitación en las diferentes fuentes de agua (agua subterránea, embalses, humedad del suelo y escurrimientos superficiales). Se consideran que un período de sequía comienza cuando el SPI alcanza un valor de -0.5 y que el mismo termina cuando los valores de SPI se tornan nuevamente positivos. En la Tabla 1 se presentan las distintas clases del SPI (desde sequía extrema a humedad extrema), sus rangos de valores y la escala cromática usada en la representación cartográfica.

2.1.2 Índice de Severidad de Sequía de Palmer (PDSI)

El PDSI fue desarrollado para estimar las condiciones de la humedad edáfica e identificar situaciones de exceso, normalidad o deficiencia hídrica. Se basa en el concepto de demanda-suministro de agua o balance hídrico. El procedimiento de cálculo requiere datos de precipitación, evapotranspiración potencial de una serie de 30 años y la capacidad de retención de agua del suelo. La situación hídrica mensual se determina teniendo en cuenta las desviaciones de la humedad edáfica actual con respecto a un valor medio de la serie de datos considerada. La Tabla 1 presenta las clases del PDSI (desde sequía extrema a humedad extrema), sus rangos de valores y la escala cromática usada en la representación cartográfica.

2.1.3 Índice de Humedad del Cultivo (CMI)

El Índice de Humedad de Cultivos (CMI por sus siglas en inglés) fue desarrollado por Palmer (1968) a partir del procedimiento para el cálculo del índice de severidad de sequías (PDSI). Considerando que el PDSI monitorea a largo plazo condiciones meteorológicas húmedas y secas, el CMI fue diseñado para evaluar las condiciones de humedad a corto plazo en las regiones agrícolas. El CMI responde rápidamente a los cambios de las condiciones hídricas y se puede utilizar para comparar las condiciones de humedad en diferentes lugares. El CMI sólo tiene validez durante el ciclo del cultivo. Considerando la rápida respuesta del índice a deficiencias hídricas de corta duración asociadas a la canícula, su cálculo para períodos de 10 días (decádicos) puede ser adecuado para la evaluación de esta adversidad climática. La Tabla 1 presenta las clases del CMI (desde sequedad severa a humedad excesiva), sus rangos de valores y la escala cromática usada en la representación cartográfica.

2.1.4 Índice de radiación fotosintéticamente activa (fAPAR)

El fAPAR es un producto que ayuda a estimar los valores de reflectancia en diferentes longitudes de onda, con alta sensibilidad a cambios ocurridos en la vegetación y baja sensibilidad a otra información ambiental (atmósfera o suelo). Este indicador se fundamenta en la reflectancia que da la vegetación en relación a la fracción de la Radiación Fotosintéticamente Activa que es absorbida por el follaje de la vegetación (Gobron & Verstraete, 2009). Existen diferentes formas para estimar el fAPAR y comúnmente se dividen en tres a) Los métodos empíricos basados en las relaciones con

índices de vegetación, b) Los basados en la interacción de elementos en el follaje y transporte en el medio de vegetación, y por último c) Los métodos basados en algoritmos computarizados los cuales son más acertados y rápidos.

Tabla 1 Clases, valores y asignación cromática del PDSI, SPI y CMI.

PDSI	SPI	CMI
 -3.00 o inferior Sequia extrema	 -2.00 o superior Sequia extrema	 -10.00 o inferior Sequedad severa
 -2.00 a -3.00 Sequia severa	 -1.50 a -2.00 Sequia severa	 -6.00 a -10.00 Sequedad moderada
 -1.00 a -2.00 Sequia moderada	 -1.00 a -1.50 Sequia moderada	 -2.00 a -6.00 Sequedad incipiente
 -1.00 a 1.00 Normal	 -0.50 a -1.00 Sequias incipiente	 2.00 a -2.00 Normal
 1.00 a 2.00 Humedad moderada	 0.50 a -0.50 Normal	 2.00 a 6.00 Humedad incipiente
 2.00 a 3.00 Humedad excesiva	 0.50 a 1.00 Humedad incipiente	 6.00 a 10.00 Humedad moderada
 3.00 o superior Humedad extrema	 1.00 a 1.50 Humedad moderada	 10.00 o superior Humedad excesiva
	 1.50 a 2.00 Humedad excesiva	
	 2.00 o superior Humedad extrema	

2.1.4.1 Identificación de ocurrencia de sequías usando información satelital

Con el objetivo de cuantificar las sequías y definir su intensidad y grado de severidad se utilizan distintos índices basados en información satelital (Ravelo et al., 2004), entre los principales se encuentran: NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) y el FAPAR (Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation). Estos índices han sido desarrollados y utilizados de forma efectiva para detectar y monitorear sequías. Las sequías afectan significativamente los ecosistemas y por lo tanto los procesos del ciclo del carbono y tiene un impacto directo en el ritmo de las plantas y su absorción de energía lo que en la literatura se conoce como red primaria de productividad (Pei et al. 2013). Los índices de vegetación han consolidado su importancia, debido a que la obtención de parámetros biofísicos a partir de información proveniente de sensores remotos, permiten dar seguimiento a la dinámica espacio temporal de la vegetación de manera eficiente y económica (Calera et al., 2005). Actualmente, se han logrado importantes avances en esta materia estableciéndose relaciones confiables entre los índices de vegetación y parámetros biofísicos, como son, la producción de biomasa, el desarrollo del coeficiente de cultivo, la evapotranspiración, la fracción de cobertura, así como otros parámetros obtenidos a partir de la reflectividad de la superficie vegetal como el albedo, radiación fotosintéticamente activa absorbida y la temperatura superficial (Sanchez-Guerrero et al. 2010). Diversos estudios se han enfocado en la respuesta de la vegetación al fenómeno de sequía, que ha llevado a diferentes resultados dependiendo del área considerada (Fay et al., 2002, 2003; Knapp et al., 2002). En un caso reciente, Sala et al. (2012) observaron que la sequía influyó en la rapidez con que la vegetación absorbía energía. Una investigación de Rossi & Niemeyer, (2012) mostró como resultado la relación directa que tienen los valores de índices de FAPAR con los de índices de precipitaciones utilizando el SPI en temporadas de sequías. Asimismo, Zhao, et al. (2010) incorporaron diferentes índices junto con el FAPAR para determinar cómo afectaba la sequía en la red primaria de producción de los ecosistemas.

El FAPAR se utilizó también para estudios de cambio climático y análisis de los fenómenos oceánico-atmosféricos, como El Niño Oscilación del Sur (ENSO).

3. Sistema Operativo de Sequías (SOS)

El sistema SOS permite el cálculo de los índices de sequía y su representación gráfica. El SOS se calcula mediante el programa de computación denominado Sistema Operativo de Sequías (SOS), diseñado conceptualmente por Ravelo et al. (2001), que consiste en un programa en lenguaje C++ que utiliza módulos del sistema operativo Windows e IDRISI para su ejecución y obtención de resultados numéricos y cartográficos de manera que se presente en un atlas de fácil interpretación (Ravelo, et al., 2012). (Figura 2).

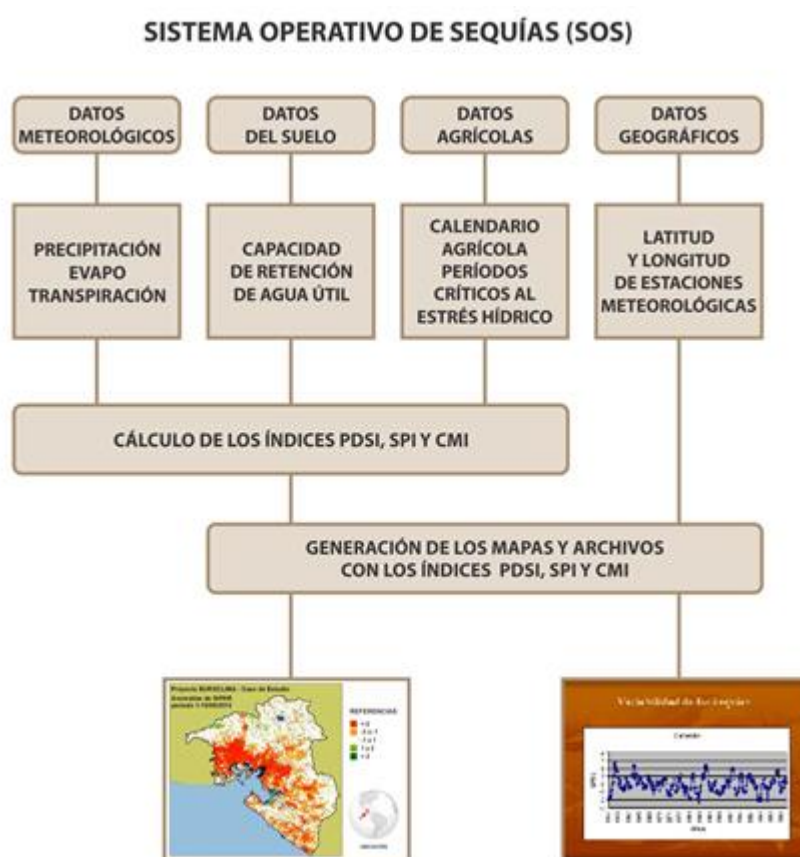


Figura 2 Diagrama de flujo de datos utilizados y resultados generados por el Sistema Operativo de Sequías (SOS).

La validación de la capacidad del sistema para identificar extremos hídricos (sequías y excesos hídricos) y, específicamente, para monitorear y evaluar la intensidad y distribución geográfica de las sequías, fue realizada para el período enero a septiembre del 2015. La verificación de la ocurrencia y extensión de los extremos hídricos en dicho período se realizó considerando la información obtenida a través de informes técnicos de instituciones locales o publicaciones periódicas.

4. Área de estudio

El área de estudio seleccionada corresponde al corredor seco de El Salvador, Honduras y Nicaragua (ECHO-FAO, 2012). Los datos geográficos, meteorológicos y agrícolas fueron obtenidos de varias instituciones oficiales de dichos países. La Figura 3 presenta el área de estudio.

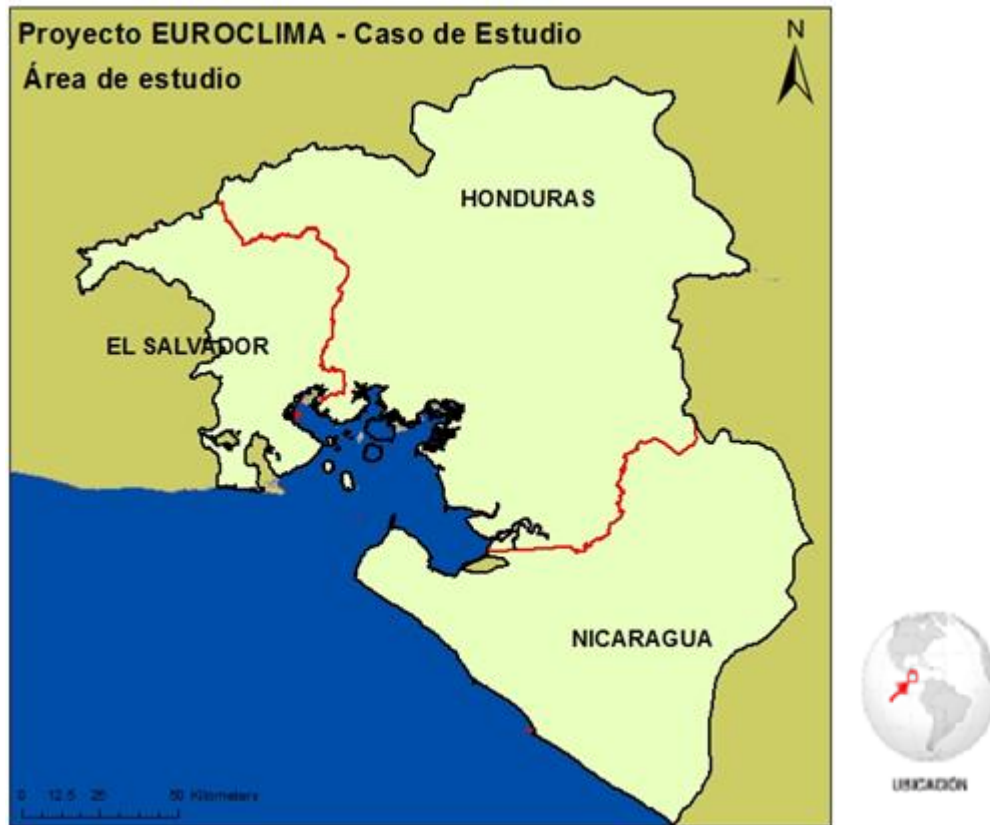


Figura 3 Área de estudio en El Salvador, Honduras y Nicaragua.

5. Base de Datos

5.1 Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos necesarios para calcular los índices de sequía PDSI, CMI y SPI fueron provistos por los Servicios Meteorológicos de El Salvador y Honduras para 17 estaciones climatológicas del área de estudio. Las estaciones seleccionadas disponían de registros históricos de al menos 20 años y se utilizó el mismo período para todas ellas.

5.2 Datos satelitales

En este trabajo se utilizaron imágenes facilitadas por el Observatorio Latino Americano de Sequías (SCADO) del JRC (Joint Research Center, European Commission), desarrollado en la primera fase (2010-2013) del Programa EUROCLIMA, que han sido procesadas y analizadas en el marco del estudio de caso. El producto proporcionado corresponde a una síntesis compuesta del FAPAR para períodos de 10 días predefinidos para cada mes (1-10, 11-20, 21 hasta fin de mes). Para cada año se obtuvieron 36 imágenes en formato Geotiff, con el primer archivo (1) a partir del 1 de enero de cada año, y el último (36) terminando en el 31 de diciembre. La resolución espacial es de 1 km, derivado de la cobertura mundial de los productos satelitales del Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Los mapas de 10 días derivados del MODIS fueron producidos a partir del producto MOD15A2 (https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table/mod15a2). Los datos de baja calidad fueron ocultos de acuerdo con la señalización de calidad del producto MOD15A2, los valores de los compuestos de 8 días fueron interpolados a 10 días utilizando un intervalo de tiempo medio ponderado (distancia inversa en el tiempo) de las dos imágenes más cercanas y se sometieron a un suavizado temporal realizado por un filtro exponencial ($\alpha = 0.5$) de datos de 10 días (EDO, 2013). La serie histórica utilizada, tanto para el cálculo de promedio como de desvíos estándar, abarca los datos disponibles entre enero de 2001 y diciembre de 2014. Por más información sobre el cálculo de las anomalías o generación de las imágenes decadales referirse al sitio del JRC (EDO, 2013)

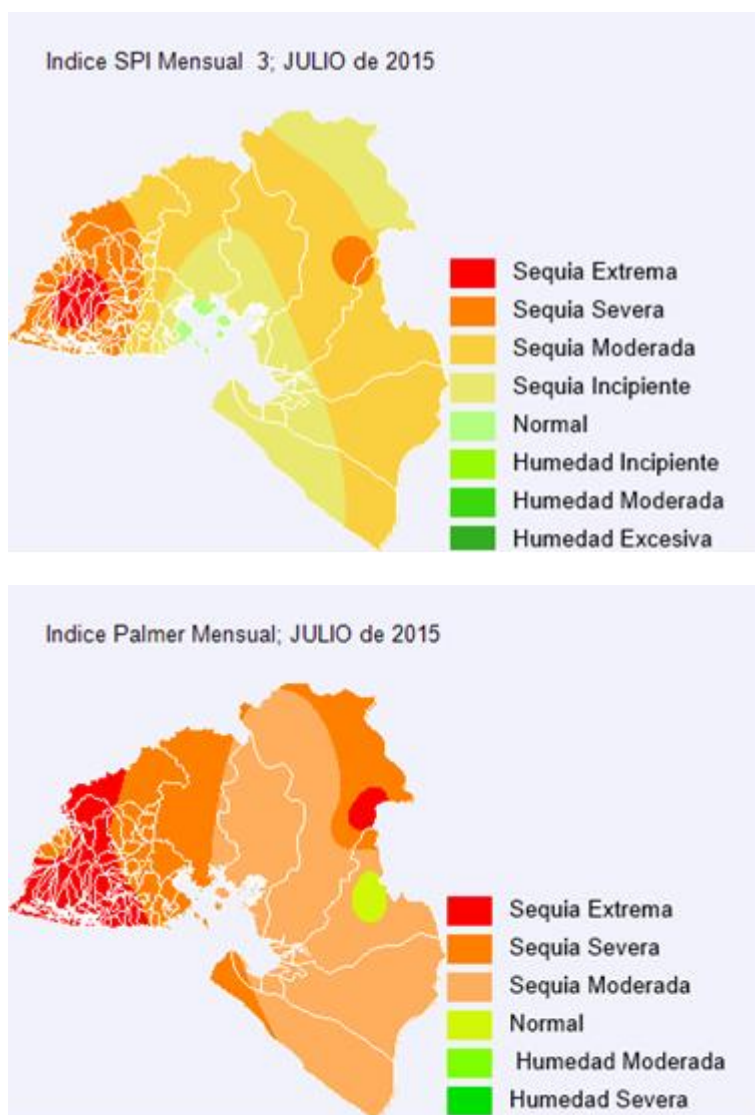
Las imágenes de anomalías proporcionadas y base para este análisis, se calculan mediante la siguiente ecuación:

$$\text{FAPAR anom} = \frac{\text{FAPAR} - \text{FAPAR prom}}{\text{FAPAR desv}}$$

Donde FAPAR corresponde al valor de FAPAR para la década seleccionada, FAPAR prom el promedio de la serie histórica para esa misma década y FAPAR desv al desvío estándar de la serie histórica para esa misma década.

6. Generación de mapas de los índices PDSI, SPI y CMI

Mediante la utilización del SOS se generaron los mapas mensuales del PDSI, SPI y CMI para la región en estudio. La Figura 4 presenta un ejemplo de dichos índices para el mes de julio de 2015, cuando ya las condiciones hídricas presentaban deficiencias importantes. El PDSI señala condiciones de sequía principalmente en la región salvadoreña. El CMI, con una relación más estrecha con los cultivos, indica la deficiencia hídrica en El Salvador y en Nicaragua, mientras que en partes de Honduras la situación de los cultivos presentan adecuadas condiciones de humedad. Por su parte el SPI3 circunscribe las sequias extremas a El Salvador, esto ocurre por la consideración del efecto de los dos meses previos cuyas deficiencias hídricas eran menores.



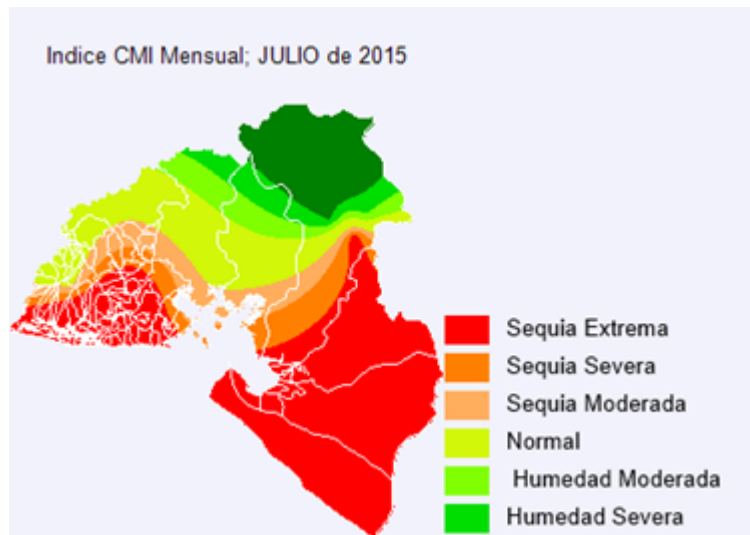


Figura 4 Intensidad y distribución de las sequías en julio 2015 según los índices de sequía SPI3, PDSI y CMI.

7. Evolución temporal de los índices de sequías

La evolución temporal de los índices de sequía permite la identificación de las áreas afectadas y se realizó mediante el uso de los índices meteorológicos y agrometeorológicos PDSI, SPI3 y CMI y el índice satelital FAPAR anom.

7.1 Evolución temporal de los índices PDSI, SPI3 y CMI

El análisis de la evolución de las sequías desde enero a agosto de 2015, permite identificar las fechas de comienzo e intensidad de la adversidad. Las figuras 5 y 6 presentan los valores de los índices PDSI y SPI3 para enero, abril y agosto de 2015, respectivamente. La figura 7 presenta los valores del CMI para junio, julio y agosto de 2015. Todos los índices considerados señalan, en general, condiciones normales o de humedad moderada y excesiva durante enero en toda la región. Las deficiencias hídricas son evidentes en abril y en agosto la ocurrencia de sequias severa y extrema se observan en amplias regiones del área de estudio. Aún el CMI que presentaba humedad adecuada para los cultivos en julio, en agosto señala deficiencias hídricas importantes en amplias zonas. En el Anexo I se puede encontrar la estimación de los índices para los meses de enero a septiembre.

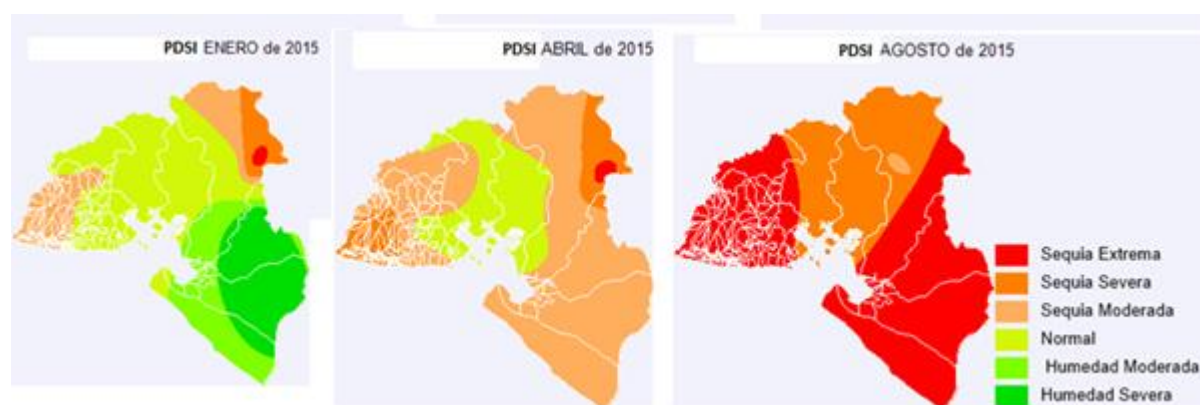


Figura 5 Evolución del índice de sequía de Palmer (PDSI) para los meses de enero, abril y agosto 2015.

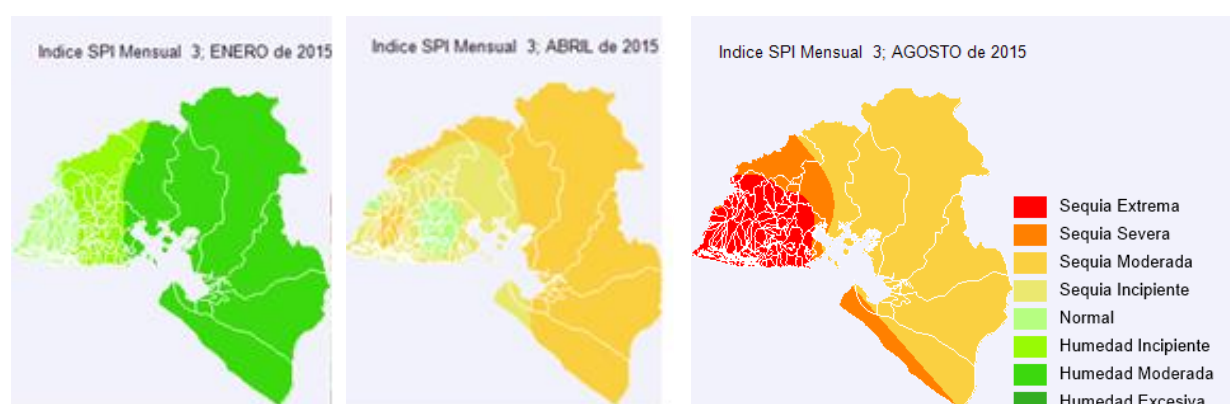


Figura 6 Intensidad y distribución geográfica de la sequía indicada por los índices SPI3 para los meses de enero, abril y agosto 2015.

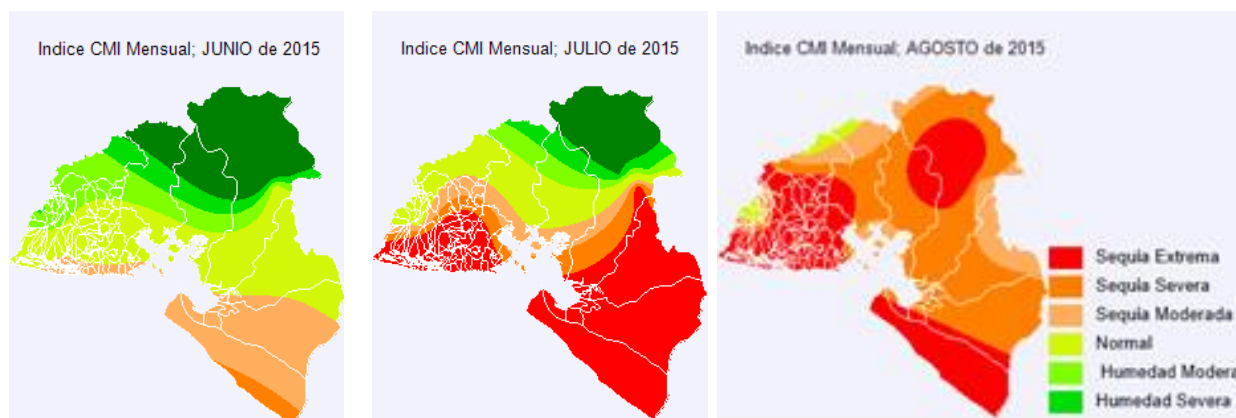


Figura 7 Intensidad y distribución geográfica de la sequía indicada por el índice CMI para los meses de junio, julio y agosto 2015 (campana agrícola).

7.2 Evolución temporal de las anomalías del FAPAR

Como resultado del análisis se obtuvieron 30 imágenes del área de estudio que integra los tres países que corresponden al área de estudio: El Salvador, Honduras y Nicaragua.

La Figura 8 representa la evolución de las anomalías de FAPAR del presente año para los meses de enero y agosto de 2015 (primera década). Se observa que en enero no se registran anomalías negativas. Sin embargo, en agosto, durante el ciclo de los cultivos, las sequías se han generalizado como lo indican las anomalías negativas del FAPAR en particular en el área norte circundante al Golfo de Fonseca.

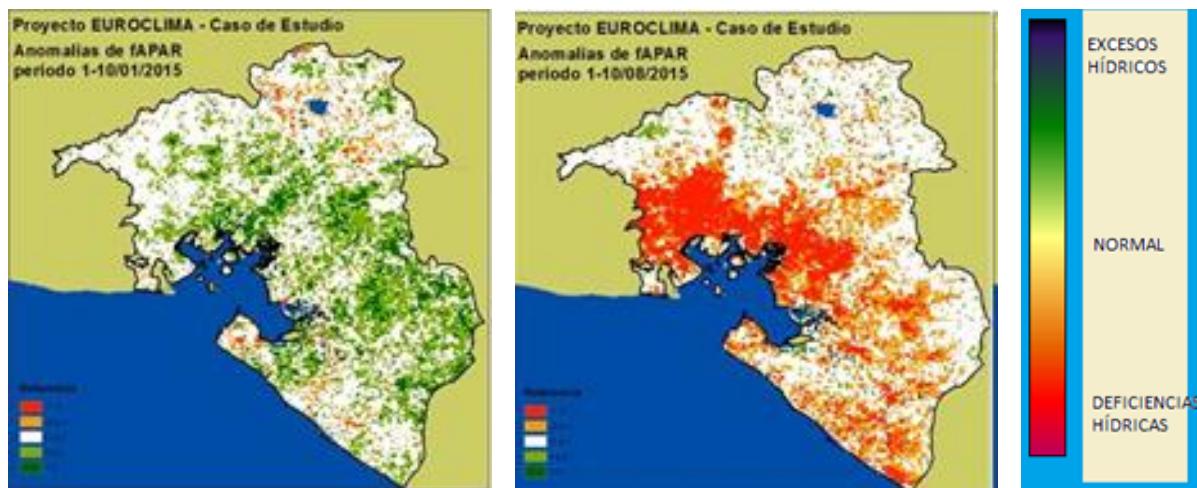


Figura 8 Evolución de las anomalías FAPAR para los meses de enero y agosto 2015.

Los resultados muestran que el año 2015 se inicia con anomalías positivas que representan un estado de la vegetación superior al promedio de la serie histórica, revirtiéndose esta situación sobre el mes de abril. A partir de junio 2015 se comenzaron a detectar anomalías negativas importantes (niveles de FAPAR por debajo de los registrados en la serie histórica) agravándose la situación durante los siguientes meses y observándose un máximo en el mes de septiembre. Durante octubre 2015 se comenzaron a observar, en la zona de estudio, niveles en el rango a los registrados en promedio para la serie histórica 2001-2014. En el Anexo II se puede encontrar la estimación del índice para los meses de enero a octubre.

8. Análisis de la ocurrencia de sequías en el área de estudio durante el año 2015

El análisis de la ocurrencia e intensidad de las sequías así como su distribución geográfica se realizó para en el área de estudio con los datos meteorológicos y agrícolas que proveyeron las instituciones de El Salvador y Honduras.

8.1 Análisis de la ocurrencia de sequías en El Salvador

En El Salvador, dentro del área de influencia de años con sequías se encuentran los embalses que producen la mayor parte de la energía eléctrica, los asentamientos humanos que se abastecen de agua de pozos y que dependen de la recarga anual, además de las actividades agrícolas para la producción de granos básicos como maíz, frijol y sorgo, que se desarrollan en la zona. En el pasado, se han registrado varios períodos secos iniciando desde la segunda quincena del mes de junio hasta la primera quincena de septiembre. Estas manifestaciones fueron más frecuentes e intensas durante el período canicular, entre los meses de julio y agosto. Cuando ocurren estos períodos secos se observan sistemas meteorológicos como el flujo de los vientos Alisios acelerado en las capas bajas de la atmósfera, relacionado a su vez con un incremento de la presión atmosférica en el Caribe, el Atlántico y golfo de México, que restringen la nubosidad y mantienen el calor sofocante. Dada la complejidad de factores humanos, energéticos y productivos que causan los períodos de falta de agua, el daño que se produce por un período de sequía o de canícula severa (cortos períodos de sequía durante época húmeda) tiene un impacto muy negativo en las economías regionales y nacionales. (García Guirola et al., 2003).

Los inicios tempranos de períodos secos, inclusive desde junio y la prolongación de de la canícula asociados al fenómeno de El Niño, provocan sequías agrícolas (García & Fernández, 1996). En octubre de 2014 se inició un período de sequía a consecuencia del fenómeno del Niño que se prolongó en 2015 con una intensidad muy fuerte y se espera continúe hasta principios de la primavera de 2016 del hemisferio norte (IRI, 2015). Por otro lado, el océano Atlántico Tropical Norte mantuvo temperaturas frías –aunque se espera que cambie hacia una temperatura más cercana a los valores normales –,que han favorecido el período de sequía en la región centroamericana. El comportamiento de la lluvia en El Salvador, debido a la influencia de las condiciones descritas anteriormente, suele tener acumulados de lluvia por debajo de los promedios históricos en 2015. Del 14 de junio al 7 de julio del año 2015 se desarrolló el primer período seco de la época lluviosa, alcanzando una sequía meteorológica de intensidad fuerte con 24 días secos consecutivos en el sur de la zona oriental. En el resto del país, para el mismo período, se produjo una sequía débil a moderada. Un segundo período seco ocurrió del 10 al 17 de julio, con ocho días seguidos sin llover, lo que representó una sequía meteorológica débil, localizada en el extremo oriental del país y al sur de los departamentos de San Miguel, Usulután, San Vicente y La Paz. El tercer período seco, del 20 de julio al 8 de agosto, se convirtió en sequía fuerte o severa, con 20 días consecutivos sin llover en la zona oriental y franja costera de la zona paracentral. En el resto del país la sequía fue de débil a moderada con 5 a 15 días secos consecutivos. El extremo suroccidental se mantuvo sin sequía durante ese período. Un cuarto período seco alcanzó la categoría de sequía fuerte o severa que se inició el 11 de agosto y finalizó el día 29, es decir 19 días secos consecutivos en la zona oriental y parte costera de la zona paracentral.

Las sequías reportadas en la zona oriental del país, se presentan en la mayoría de los casos por una combinación de déficit de lluvias en junio, julio y agosto, ocurriendo en esos meses eventos cálidos en el océano Pacífico (consecuencia del fenómeno de El Niño) y eventos fríos en el océano Atlántico norte. En esta zona es donde se han

observado las mayores pérdidas de las cosechas y si bien se dispone de un sistema de operativo de que serviría para pronosticar los eventos, se recomienda que sea validado antes de usarlo operativamente.

8.1.1 Daños registrados en El Salvador

Las Tablas 2 y 3 presentan las superficies afectadas por las sequías para los cultivos de maíz y frijol de primera siembra, en los diferentes Departamentos de El Salvador durante el año 2015.

Tabla 2 Pérdida de la producción de maíz por Departamento valorada a precios de productor en finca, debido a la sequía meteorológica en 2015.

DEPARTAMENTOS	PRODUCCION PERDIDA (QQ)	PRECIO PROMEDIO (USD)	MONTO POTENCIAL (USD)
AHUACHAPAN	524.223	16,00	8.387.568
CHALATENANGO	396.412	16,00	6.342.592
LA LIBERTAD	126.762	16,00	2.028.192
LA PAZ	286.927	16,00	4.590.832
LA UNION	160.148	16,00	2.562.368
MORAZAN	349.560	16,00	5.592.960
SAN MIGUEL	621.472	16,00	9.943.552
SAN VICENTE	62.538	16,00	1.000.608
SANTA ANA	607.236	16,00	9.715.776
SONSONATE	214.105	16,00	3.425.680
USulután	965.611	16,00	15.449.776
TOTAL	4.702.540		75.240.640

Fuente: División de Estadísticas Agropecuarias, en base a Informe sobre resultados de estimación de pérdidas y daños en granos básicos, julio 2015.

Tabla 3 Pérdida de la producción de frijol por departamento valorada a precios de productor en finca, debido a la sequía meteorológica en 2015.

DEPARTAMENTOS	PRODUCCION PERDIDA (QQ)	PRECIO PROMEDIO (USD)	MONTO POTENCIAL (USD)
AHUACHAPAN	19,364	42,00	813,288
CHALATENANGO	4,036	42,00	169,512
LA LIBERTAD	8,163	42,00	342,846
LA PAZ	119	42,00	4,998
LA UNION	2,074	42,00	87,108
MORAZAN	3,600	42,00	151,200
SAN MIGUEL	6,210	42,00	260,820
SANTA ANA	14,910	42,00	626,220
SONSONATE	307	42,00	12,894
USulután	2,596	42,00	109,032
TOTAL	60,264		2531,088

Fuente: División de Estadísticas Agropecuarias, en base a Informe sobre resultados de estimación de pérdidas y daños en granos básicos, julio 2015.

La producción perdida de maíz que se produjo en la región oriental y central del país, se estima en 4,7 millones de quintales y afecto a más de 102.000 productores. Sólo la región oriental presentaría una pérdida de 3.4 millones de quintales, de los cuales 2.9 millones provienen de superficies perdidas y 583 mil quintales provienen de las superficies con daño parcial. El cultivo de frijol presenta una pérdida de más de 60.000 quintales lo que representa una pérdida económica de más de 2,5 millones de dólares.

Por efecto de la sequía del 2015, la pérdida de maíz fue de cerca de 25% de la producción nacional, la cual tenía una proyección para ese año de 20,5 millones de

quintales. Por otro lado, la caída de frijol es de 2%, por cuanto la mayor producción se registra entre agosto y diciembre. El maíz y el frijol son considerados granos básicos en la dieta alimenticia de los salvadoreños, y como por la sequía no hubo abastecimiento, el gobierno ordenó la importación de esos granos para evitar el desabastecimiento total del mercado.

Un estudio realizado por técnicos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) reveló que 85.656 hectáreas de cultivos de maíz se perdieron total o parcialmente por la sequía de 25 días sin lluvias.

La sequía en el denominado "corredor seco" salvadoreño, abarcó a 104 de los 262 municipios del país y afectó a 102.609 agricultores.

Mapa anomalía de lluvia en el mes de julio 2015. En términos generales, el régimen de precipitación fue deficitario, en todo el país y con mayor énfasis en la zona oriental (Figura 9).



Figura 9 Anomalías porcentuales de la precipitación para el mes de julio 2015 en El Salvador.

8.2 Análisis de la ocurrencia de sequías en Honduras

La variabilidad interanual de las precipitaciones en Honduras está ocasionada por la alternancia frecuente de períodos secos y eventos húmedos que, en algunas ocasiones, producen graves inundaciones, de manera que las consecuencias de estas situaciones extremas impactan sobre el desarrollo social, económico y ambiental del lugar (IHCIT-UNAH, 2011).

El término sequía en Honduras, se asocia a las pérdidas en la producción agrícola y a la falta de agua para el abastecimiento general de todas las actividades humanas. Son pocos los estudios sobre la sequía y sus impactos en Honduras, que exponen su área de influencia (COPECO - PNUD, 2012). Sin embargo, hace falta el detalle de la sequía operacional, que define la interacción que tiene el tiempo-sociedad-sequía, y asimismo de una definición más próxima y certera del término. Es por eso que al estudiar cuál es el comportamiento de la sequía y su severidad anual, especialmente en años con presencia del fenómeno de El Niño, que es cuando las distintas instituciones del Estado encargadas del evento informan las pérdidas ocurridas. Por ejemplo, en los últimos cinco periodos secos, las pérdidas en el sector agrícola equivalen aproximadamente a

184.285.162 USD y en el sector pecuario a 74.562.626 USD (Kawas, 2011), lo cual afecta seriamente el producto interno bruto de Honduras y atenta contra la seguridad alimentaria del país. En Honduras se estima que unas 500 mil fincas se dedican al cultivo de granos básicos, de las cuales 220 mil familias cultivan para el autoconsumo. El 18% de la tierra cultivable del país se utiliza en la producción de granos básicos.

8.2.1 Daños registrados en Honduras

En la zona sur del país y parte de la zona occidental es donde se han presentado importantes sequías durante el período registral 1915-2011, causando daños y pérdidas principalmente a los cultivos. El fenómeno del Niño que se presentó entre 2015-2016 se ubica, junto a los de 1982-1983 y 1997-1998, entre los más fuertes desde 1950. [Honduras es uno de los países más perjudicado por la sequía](#)s en relación a los demás países centroamericanos, ya que afecta a unas 80,000 familias de bajos ingresos en 13 de los 18 Departamentos del país, por lo cual el sector productivo solicita normalmente que sea decretado el estado de emergencia.

La situación ocurrida en 2015 ha puesto en alerta a los gobiernos de la región, que han comenzado a distribuir recursos extraordinarios y semillas a los campesinos, mientras que organismos internacionales han pedido afianzar los esfuerzos locales y la cooperación mundial para atender a las poblaciones más vulnerables. En algunos lugares de Honduras la sequía ha afectado el 100% de los cultivos de subsistencia básicos como maíz y frijoles, mientras que en otras las pérdidas oscilan entre el 60 y 80%. Así mismo en el tema forestal, en diciembre de 2015 se informó que del total de la superficie con pinos en el país (2.2 millones de ha), al menos un 18% está afectada por el gorgojo que ha sido favorecido por las intensas sequías registradas.

9. Acciones de alerta y mitigación

La identificación de la ocurrencia de sequías, su intensidad y distribución geográfica así como los impactos negativos que ellas ocasionan al ambiente, la producción de bienes y las interrupciones sociales son posibles de ser monitoreados y evaluados mediante las técnicas expuestas y otras también disponibles para la comunidad (Wilhite et al., 2007). La aplicación de las técnicas es sencilla y facilitada por programas de computación *ad hoc* de forma de revertir una ilógica y común situación que se observa en numerosos países. Si no se toman medidas de alerta temprana, monitoreo y mitigación de los eventos de sequía, se puede llegar a un sistema rutinario que se considera ilógico ya que se desentiende de los problemas y solo se sufren los daños tal como se indica en la Figura 10. Por otro lado si se cambia el paradigma y se toman precauciones para establecer acciones acordes se puede llegar a un planteo que permite afrontar racionalmente a las sequías y canícula (Figura 11), evitando o minimizando los daños y las pérdidas económicas que producen estos eventos meteorológicos.

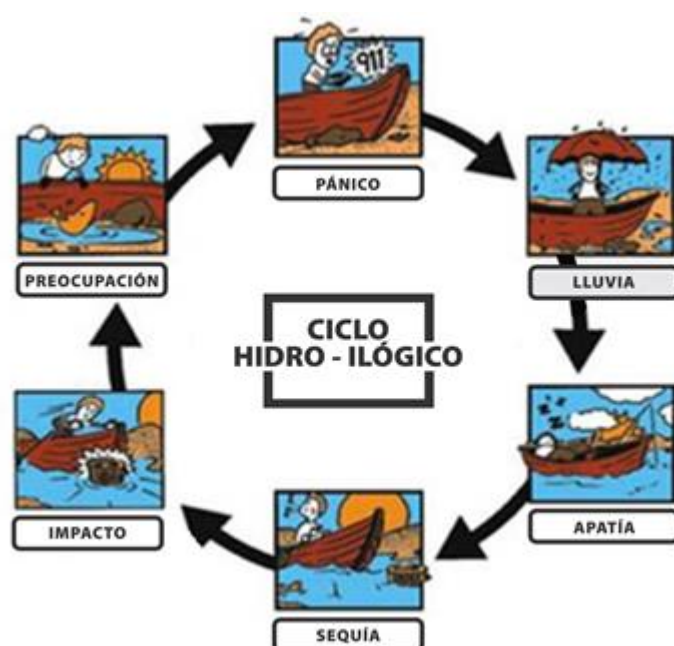


Figura 10 Esquema del llamado ciclo hidro-ilógico con la secuencia de situaciones que ocurren en algunas regiones con el fenómeno de la sequía.

La Figura 12 presenta un esquema de las etapas que deben desencadenarse al detectarse una sequía incluyendo evaluación de impacto, acciones para contrarrestar al evento, el logro de la recuperación ambiental y socio-económica, la definición de estrategias de mitigación y la preparación para la próxima ocurrencia de sequías. La utilización del programa SOS ha demostrado que es posible la detección y monitoreo temporal y geográfico de las sequías mediante el uso de información meteorológica disponible en los servicios meteorológicos de cada país. Se trata de un programa sencillo y de fácil operabilidad que permite evaluar la ocurrencia de los extremos hídricos, en particular las sequías, al final del período de interés (mensual y decádico o 10 días). Sobre la base de los índices de sequías calculados es posible utilizar programas que pronostiquen la evolución del fenómeno y, en consecuencia, implementar medidas que prevengan y/o atenuen las pérdidas agrícolas como las registradas en El Salvador y Honduras (Ravelo et al., 2014).



Figura 11 Esquema del llamado ciclo hidro-lógico con la secuencia de situaciones que ocurren con el fenómeno de la sequía pero conducentes a acciones de mitigación y procesos de resiliencia y planificación frente a la adversidad climática.



Figura 12 Esquema de un proceso racional de manejo del riesgo y crisis por la ocurrencia de sequías.

10. Conclusiones

Como corolario de la aplicación del sistema de trabajo presentado en este informe, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

1. Es posible la evaluación mensual o en períodos más cortos de la sequía e indicar la intensidad y distribución geográfica del evento.
2. Los programas de computación desarrollados permitieron automatizar el cálculo de los índices y su representación en mapas. Estos programas se ponen a disposición de las instituciones y/o individuos interesados en lograr el monitoreo y evaluación de las sequías en tiempo real y para todas aquellas regiones que dispongan de los datos necesarios.
3. Los registros meteorológicos, agrícolas y económicos de las instituciones oficiales de los países considerados permitieron mediante la metodología aplicada validar la ocurrencia y el impacto de las sequías ocurridas durante el 2015.
4. Los resultados de este proyecto evidenciaron que la utilización de índices meteorológicos, hidrológicos y satelitales permiten realizar la detección y evaluación de las sequías de un modo simple y práctico.
5. La metodología utilizada genera resultados de evaluaciones de los impactos de las sequías de fácil interpretación y pueden ayudar a los decisores que administran los recursos hídricos y económicos para situaciones de emergencias.
6. Se puso en evidencia la necesidad de establecer sistemas efectivos para el monitoreo y evaluación de las sequías y la canícula de forma de generar información confiable y oportuna para la mitigación de los efectos negativos de ambas adversidades.
7. Se estableció que además de lograr medidas más efectivas de mitigación y estimular la resiliencia de las comunidades frente a la ocurrencia de sequías, es necesario establecer mecanismos para el manejo eficiente de la crisis y del riesgo.
8. La metodología desarrollada puede ser aplicada con éxito en otros países de Latinoamérica y el Caribe (LAC).

Referencias

- Aceituno, P. 1988. On the functioning of the Southern Oscillation in the South America sector. Part I: Surface climate. *Mon. Weath. Rev.*, 116, 505 – 524.
- Calera, A., González-Piqueras, J. & Melia, J., 2005. Monitoring barley and corn growth from remote sensing data at field scale. *International Journal of Remote Sensing*, 25(1): 97-109.
- COPECO - PNUD, 2012. Plan Nacional de gestión integral del riesgo en Honduras. Págs. 25.
- CREAN, 2012. Monitoreo de Sequias. Centro de Relevamiento y Evaluación de Recursos Agrícolas y Naturales, CONICET/UNC. <http://crean.org.ar/monitoreo>
- Downing, T., & Baker, K., 2000. Drought discourse and vulnerability in Wilhite, D.A., 2000. Drought: A global Assessment, 213-230.
- ECHO-FAO, 2012. Estudio de caracterización del corredor seco centroamericano. FAO; Tomo I: 8,10 y 19.
- SCADO (2013). Factsheets of SCADO Indicators. Vegetation Productivity Anomaly (Fapar Anomaly). : South-Central American Drought Observatory.. Joint Research Center. scado.jrc.ec.europa.eu/.../factsheets/factsheet_fapar.pdf 6 pp.
- Fay, P.A., Carlisle, J.D., Danner, B.T., Lett, M. S., McCarron, J.K., Stewart, C., 2002. Altered rainfall patterns, gas exchange, and growth in grasses and forbs. *International Journal of Plant Sciences*, 163: 549–557.
- Fay, P.A., Carlisle, J.D., Knapp, A.K., Blair, J.M., & Collins, S.L., 2003. Productivity responses to altered rainfall patterns in a C 4-dominated grassland. *Oecologia*, 137: 245–251.
- García, L. & Fernández, W. 1996. Un análisis de la lluvia diaria en El Salvador: La canícula y el comienzo y final de la estación lluviosa, *Revista Geofísica*, 45.
- García Guirola, L.A., Fernández W. & Rivas Pacheco T., 2003. Aspectos generales de la Canícula y sus impactos en El Salvador. *Top. Meteor. Oceanog.* 10 (2): 63-68
- Gobron, N., & Verstraete, M., 2009. Assessment of the status of the development of the standards for the Terrestrial Essential Climate Variables. *Essential Climate Variables*. www.fao.org/gtos/doc/ECVs/T10/T10.pdf 24 pp
- ICD, 2015. International Conference on Drought. Research and Science-Policy Interfacing. 10-13 March 2015, Valencia, Spain.
- IHCIT-UNAH, 2011. Atlas de climático y de gestión de riesgos de Honduras. Cap. VI: 63-71.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Geneva, Switzerland. https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf 114 pp
- IRI, 2015. Pronóstico del ENOS con diferentes modelos. (Consultado en http://iri.columbia.edu/climate/ENSO/currentinfo/SST_table.html)
- Kawas, N., 2011. Pérdidas por sequía. IHCIT-UNAH, Honduras, Informe de estudio final :1-3.
- Knapp, A.K., Fay, P.A., Blair, J.M., Collins, S.L., Smith, M.D., Carlisle, J.D., Harper, C.W., Danner, B.T., Lett, M.S., McCarron, J.K. 2002. Rainfall variability, carbon cycling, and plant species diversity in a mesic grassland. *Science* 298 (5601): 2202-2205
- McKee, T.B.; Doeskenand, N.J. & Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Preprints, Eighth Conference on Applied Climatology*, Anaheim, California, Amer. Meteor. Soc., 179-184.

Milan Gocic, S.T., 2014. Spatiotemporal characteristics of drought in Serbia. *Journal of Hydrology* 510: 110-123.

Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought. Documento de Investigación N° 45, Oficina Meteorológica del Departamento de Comercio, Washington, D.C.

Palmer, W.C. 1968. Keeping track of moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*. 21: 156-161.

Pei, F., Li, X., Liu, X., & Lao, C., 2013. Assessing the impacts of droughts on net primary productivity in China. *Journal of Environmental Management*, 114:362-371.

Planchuelo, A.M. 2015. Incidencia de las sequías en la agricultura y la vulnerabilidad hídrica de los cultivos. 36 pp. Ilust. Edt. CREAN. http://www.crean.unc.edu.ar/secciones/monitoreo/monitoreo_intro.html.

Planchuelo-Ravelo, A.M. & Ravelo, A.C. 1985. Drought/Crop Condition Assessment Methods for Northeast Brazil, Mexico, Paraguay and Uruguay. Edit. Univ. Missouri Press. Columbia, Missouri, U.S.A. 128 pp., ilust.USA. Indexado en WordCat. Library of Congress, USA.

Planchuelo, A M. & Ravelo, A.C. 2003 Monitoreo y evaluación de la cobertura vegetal en relación a los procesos que conducen a la desertificación. En Abraham, E., Tomasini, D. & Maccagno, P., Ed. Indicadores de la Desertificación en América Latina y el Caribe: 90-91.

PMDN-COPECO, 2010. Estudio del corredor seco de Honduras e índices de sequía. PMDN Informe final del estudio. Págs. 5-10.

Ravelo, A.C., 1980. Drought/Food production problems in Haiti: A case study for 1978. Tech. Report to USAID/OFDA, 57 pp.

Ravelo, A.C., 2000. Caracterización Agroclimática de las sequías extremas en la región pampeana argentina. *Rev. Fac. Agronomía* 20(2):187-192.

Ravelo, A.C., 2012. Informes Finales del Proyecto PREMIA. OMM- CONAGUA. <https://sites.google.com/a/wmo.int/mex/system/app/pages/search?scope=searchsite&q=ravelo>.

Ravelo, A.C. & Steyaert, L.T. 1983. Climate Impact Assessment methods for Early Warning of Drought/Food Shortages in Central and South America. University Missouri Press, Columbia, Missouri, USA, 385 pag.

Ravelo, A. C Planchuelo, A.M. & Cherlet, M. 2004. Monitoring land cover and drought along an ecological gradient in Argentina. 2nd VEGETATION International Users Conference. Book of Abstracts: 64. Antwerp 24-26 March 2004.

Ravelo, A.C., Planchuelo-Ravelo, A.M. & Hodges, T. 1987. The Effects of climatic variations on barley yields and agricultural practices. In "The impact of climatic variations on agriculture". Vol. 2. Assessment on Semi-arid regions. Intern. Institute for Applied System Analysis (IIASA). A-2361 Laxenburg, Austria. 47-62.

Ravelo, A.C., Sanz , R. & Douriet, J.C. 2014. Detección, evaluación y pronóstico de las sequías en la región del Organismo de Cuenca Pacífico Norte, México. *Agriscientia* 31(1):11-24.

Ravelo A.C. , Zanvettor, R., Da Porta, W. 2001. Desarrollo de un sistema para la detección, seguimiento y evaluación de las sequías agrícolas en Argentina. *Rev. Argentina de Agrometeorología* 1(2):27-34.

Ravelo, A., Planchuelo, A., Rojas, O., Nègre, T. & Cherlet, M. 2003. Editores. Taller en monitoreo de cultivos y pronóstico de rendimientos: herramientas para la alerta temprana de seguridad alimentaria. JRC-FAO-CREAN, ISBN 92-894-6522. Italia. 85pp

- Ravelo, A.C, Planchuelo, A.M., Zanvettor, R.E., Barbeito, A. & Marraco, G. 2008. Monitoreo, evaluación e impacto de la sequía en la provincia de Córdoba. Boletín Agroclimático Septiembre-Diciembre 2008. Gobierno de la provincia de Córdoba
- Ravelo, A.C., Planchuelo, A.M., Zanvettor, R.E. & Boletta, P.C. 2012. Atlas de las sequías en Argentina. Actas XIV Reunión Argentina de Agrometeorología. Malargüe, Mendoza. Octubre 2012. 225.226. ISBN 978-987-688-015-2.
- Rogers, J.C.,1984. The association between the North Atlantic Oscillation and the Southern Oscillation in the Northern Hemisphere. Mo. Wea. Rev.112: 1999-2015.
- Rossi, S., & Niemeier, S., 2012. Drought Monitoring with estimates of the Fraction of Absorbed Photosynthetically-active Radiation (fAPAR) derived from MERIS. Remote Sensing for Drought: Innovative Monitoring Approaches, edited by: Wardlow, B., Anderson, M., and Verdin, J., CRC Press-Taylor & Francis, Boca Raton, FL, USA, 95-116.
- Sala, A., Woodruff, D.R., & Meinzer, F.C., 2012. Carbon dynamics in trees: feast or famine?. Tree Physiology, 32(6): 764-775.
- Sánchez Guerrero, I., Gonzáles Martín., I., Diaz San Andrés, A., & Balbontin Nesvera, C. (2010). Manual de Procesado de imágenes de satélite: Obtención de magnitudes biofísicas de la vegetación. Universidad de Castilla La Mancha. Albacate, España. 48 pp.
- Steyaert, L.T., Ravelo A.C. & Sakamoto, C. 1981. Drought Subsistence Food shortages inthe Caribbean Basin and Sub-Saharan Africa. Edit. University Missouri Press, Columbia, Missouri, USA, 225 pag.
- Strommen, N., Steyaert, L.T., Ravelo, A.C. & Achutuni, V.R. 1979. A study of the drought/Food production problems in the Caribbean Basin. Edit. Missouri University Press, Columbia, Missouri, USA. 289 pag.
- Wilhite DA, Glantz, M. H.,1985. Understanding the drought phenomenon: The role of definitions. Water International 10:111-120.
- Wilhite D.A., Svoboda M.D., Hayes M.J., 2007. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness. Water Resource Management 21:763-774
- Zanvettor R.E & Ravelo, A.C. 2000. Using the SPI to monitor the 1999-2000 drought in Northeastern Argentina. Drought Network News 12(3): 3-4.
- Zhao, M., & Running, S.W. ,2010. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. Science, 329.5994: 940-943.

Lista de abreviaturas y definiciones

ENSO: El Niño Southern Oscillation

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

FAPAR: Fraction of Absorbed Photo-synthetically Active Radiation

OMM: Organización Meteorológica Mundial

PDSI: Palmer Drought Severity Index

SPI: Standarized Precipitación Index

CMI: Crop Moisture Index

Lista de cifras

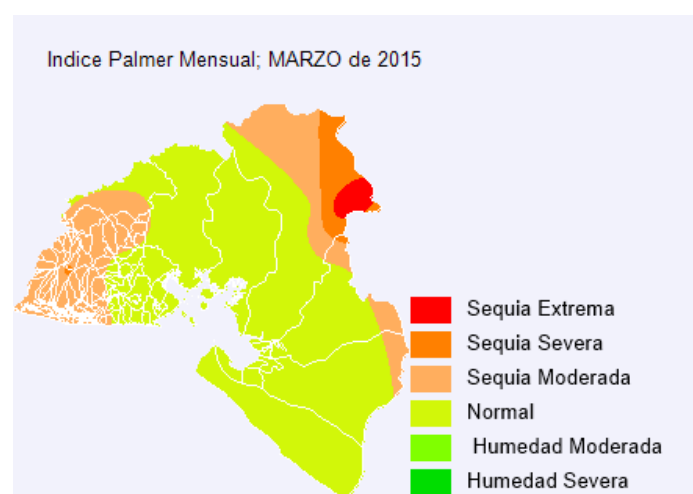
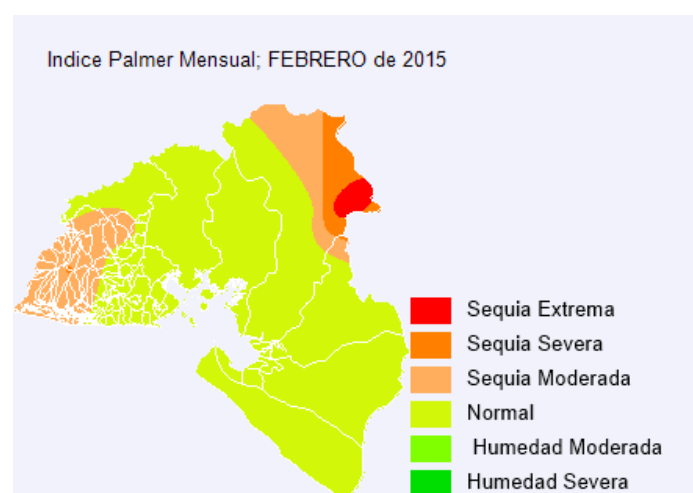
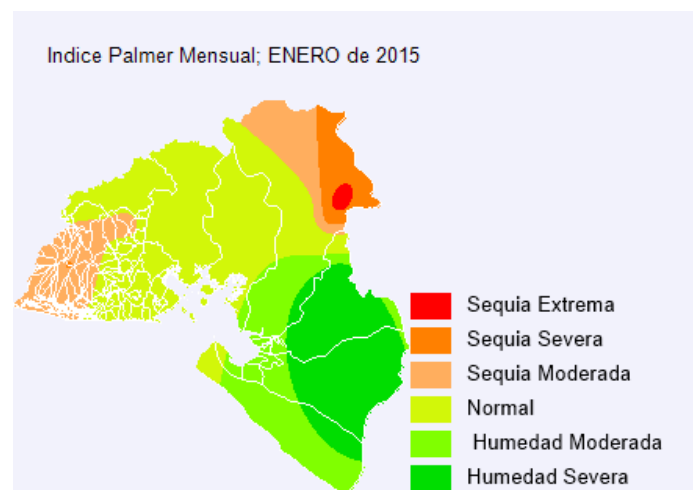
Figura 1 Características e impactos de los distintos tipos de sequías.....	10
Figura 2 Diagrama de flujo de datos utilizados y resultados generados por el Sistema Operativo de Sequías (SOS).	16
Figura 3 Área de estudio en El Salvador, Honduras y Nicaragua.....	17
Figura 4 Intensidad y distribución de las sequías en julio 2015 según los índices de sequía SPI3, PDSI y CMI.	20
Figura 5 Evolución del índice de sequía de Palmer (PDSI) para los meses de enero, abril y agosto 2015.....	21
Figura 6 Intensidad y distribución geográfica de la sequía indicada por los índices SPI3 para los meses de enero, abril y agosto 2015.	21
Figura 7 Intensidad y distribución geográfica de la sequía indicada por el índice CMI para los meses de junio, julio y agosto 2015 (campaña agrícola).	22
Figura 8 Evolución de las anomalías FAPAR para los meses de enero y agosto 2015. ..	22
Figura 9 Anomalías porcentuales de la precipitación para el mes de julio 2015 en El Salvador.	25
Figura 10 Esquema del llamado ciclo hidro-ilógico con la secuencia de situaciones que ocurren en algunas regiones con el fenómeno de la sequía.	27
Figura 11 Esquema del llamado ciclo hidro-lógico con la secuencia de situaciones que ocurren con el fenómeno de la sequía pero conducentes a acciones de mitigación y procesos de resiliencia y planificación frente a la adversidad climática.	28
Figura 12 Esquema de un proceso racional de manejo del riesgo y crisis por la ocurrencia de sequías.	28

Lista de tablas

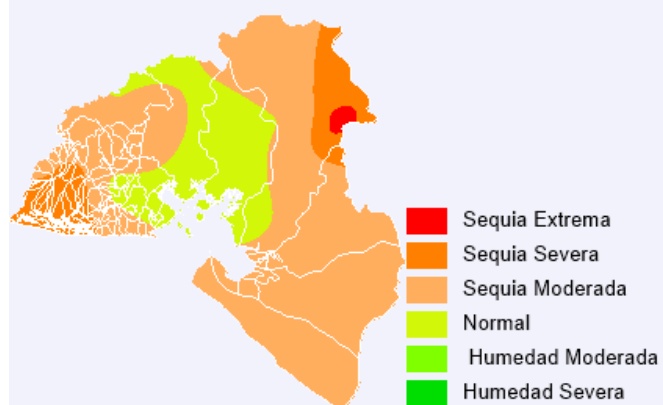
Tabla 1 <i>Clases, valores y asignación cromática del PDSI, SPI y CMI.</i>	15
Tabla 2 <i>Pérdida de la producción de maíz por Departamento valorada a precios de productor en finca, debido a la sequía meteorológica en 2015.....</i>	24
Tabla 3 <i>Pérdida de la producción de frijol por departamento valorada a precios de productor en finca, debido a la sequía meteorológica en 2015.....</i>	24

ANEXO I. Serie temporal de los índices PDSI, SPI3, SPI6, SPI12 y CMI

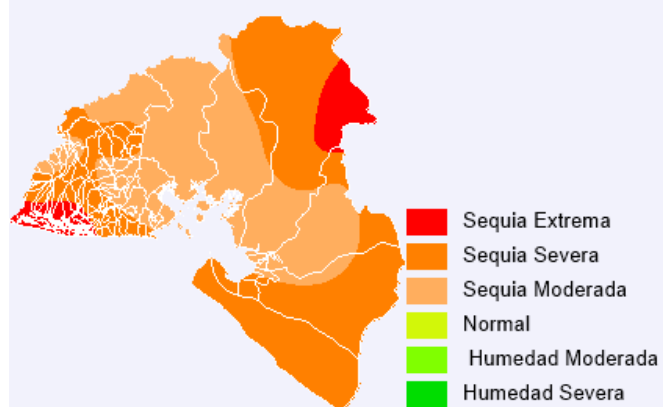
Anexo I.I. Serie Enero-Septiembre, 2015 del PDSI



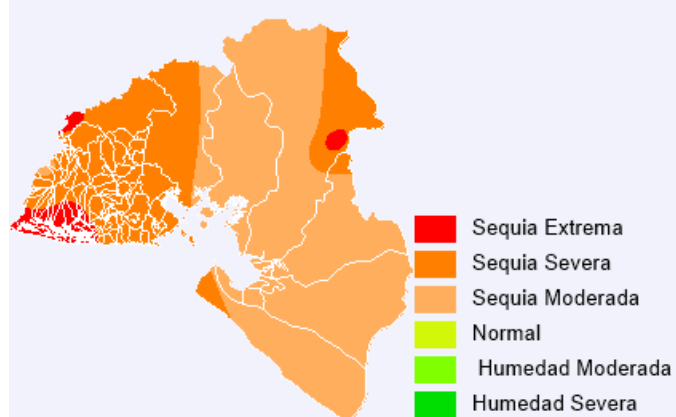
Indice Palmer Mensual; ABRIL de 2015



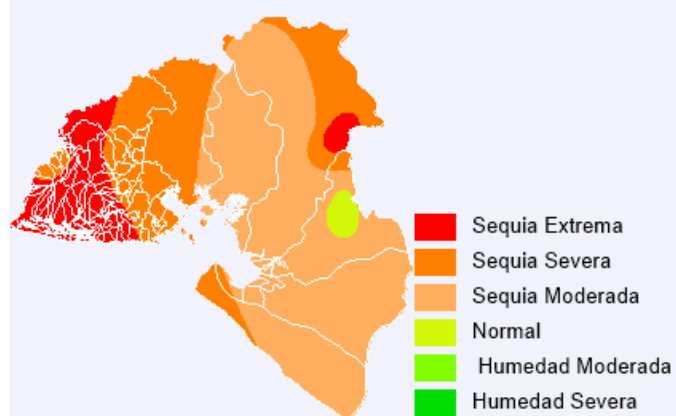
Indice Palmer Mensual; MAYO de 2015



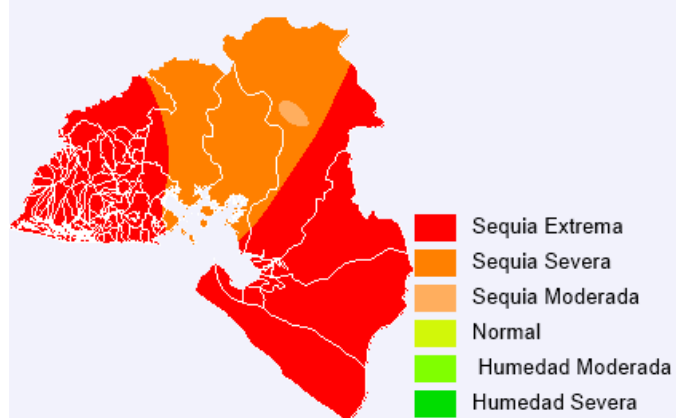
Indice Palmer Mensual; JUNIO de 2015



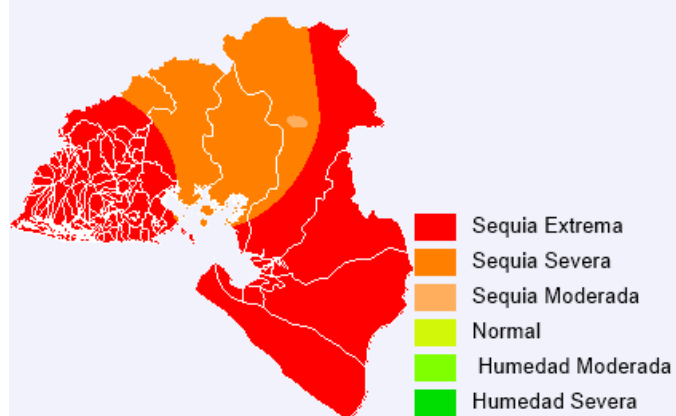
Indice Palmer Mensual; JULIO de 2015



Indice Palmer Mensual; AGOSTO de 2015

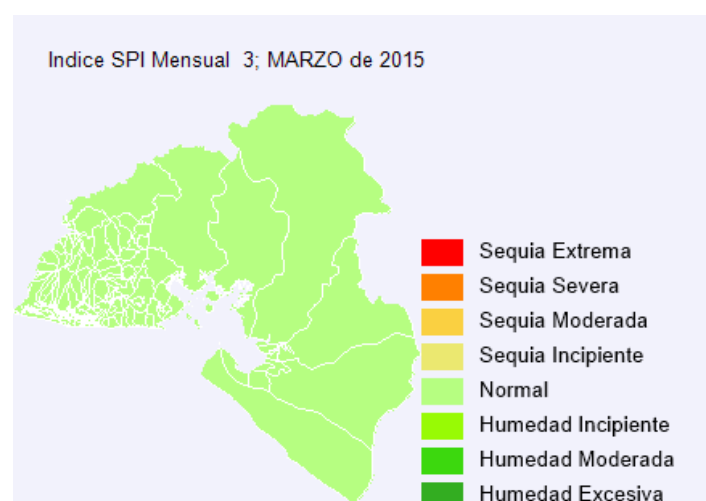
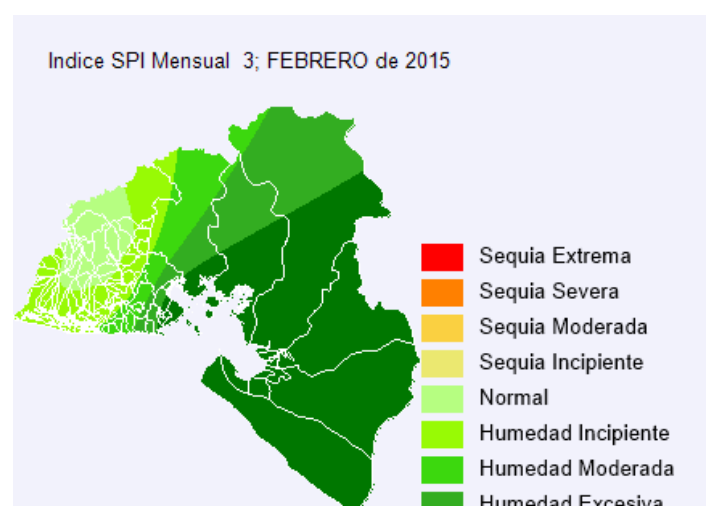
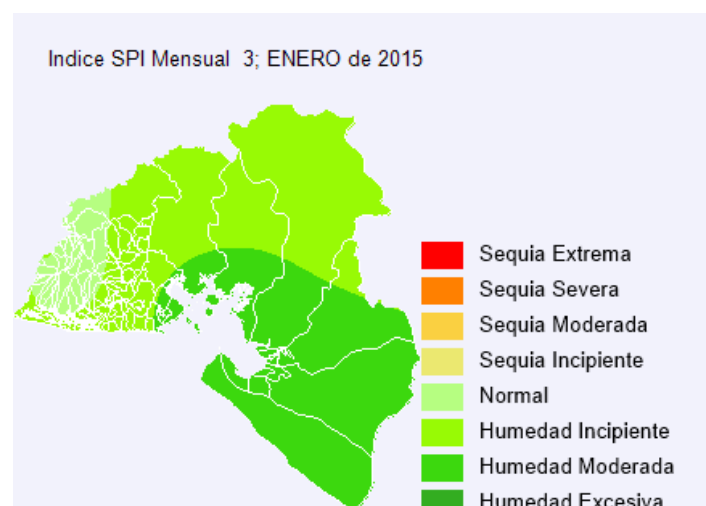


Indice Palmer Mensual; SEPTIEMBRE de 2015

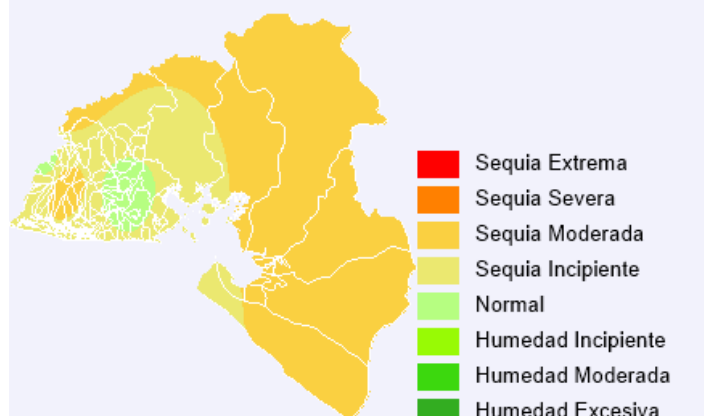


Anexo I.II. Serie Enero-Septiembre, 2015 del SPI3, SPI6, SPI12

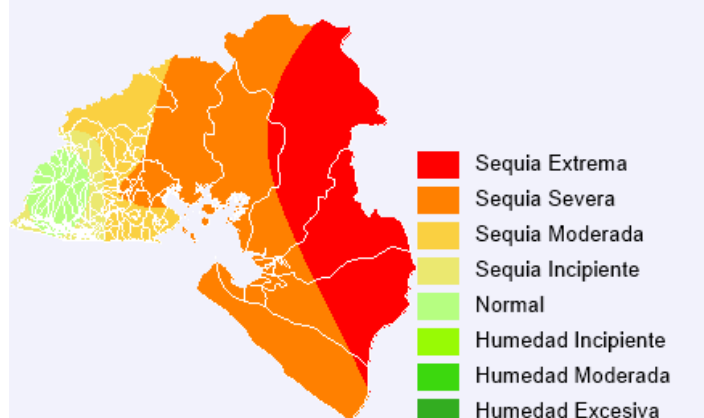
SPI3



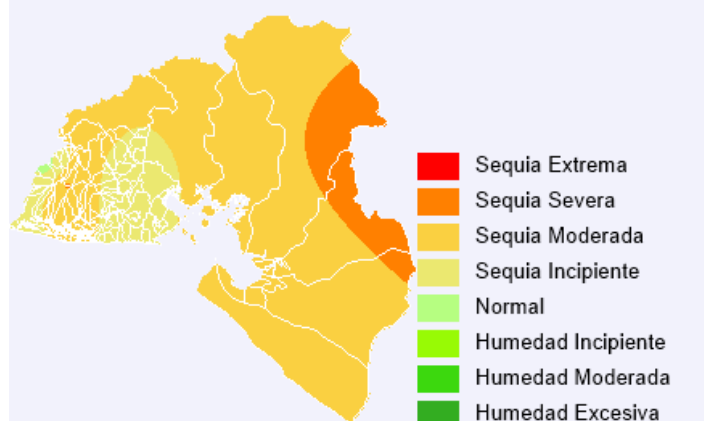
Índice SPI Mensual 3; ABRIL de 2015



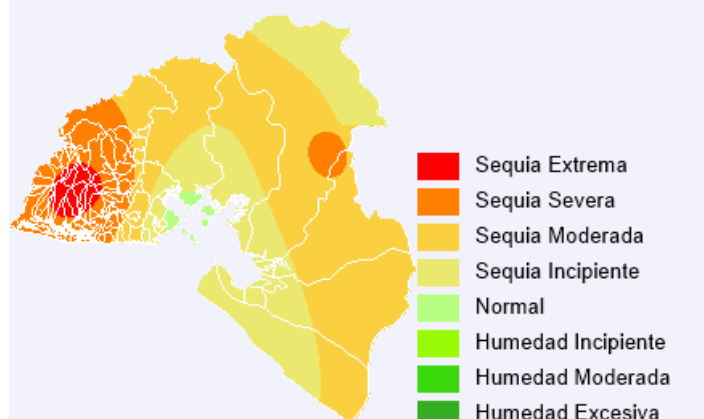
Índice SPI Mensual 3; MAYO de 2015



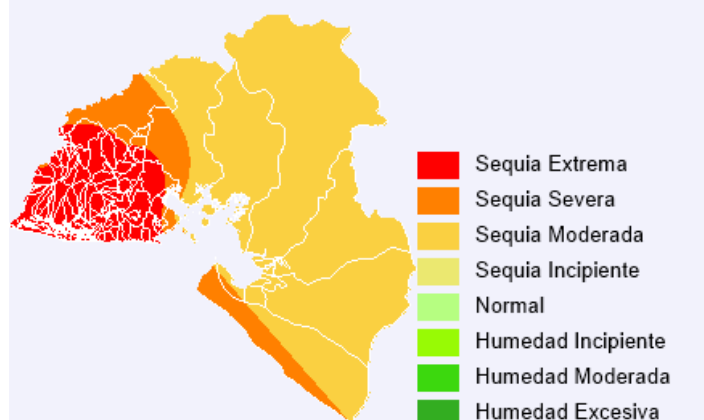
Índice SPI Mensual 3; JUNIO de 2015



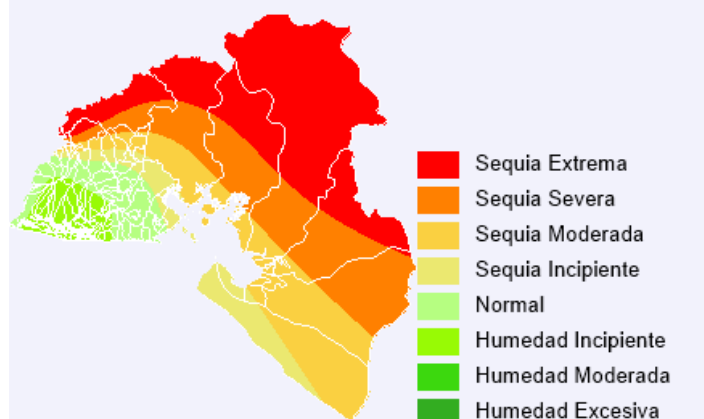
Índice SPI Mensual 3; JULIO de 2015



Índice SPI Mensual 3; AGOSTO de 2015

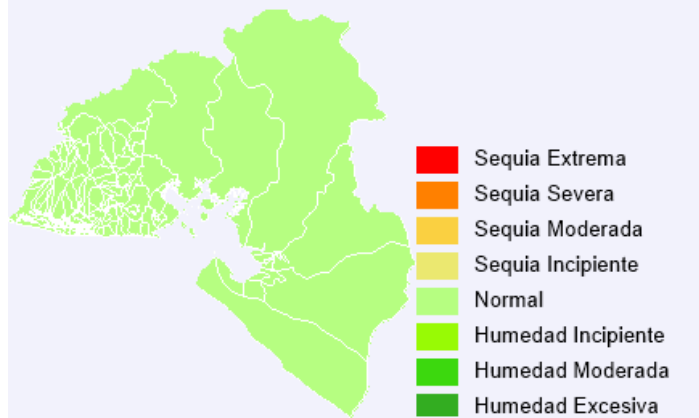


Índice SPI Mensual 3; SEPTIEMBRE de 2015

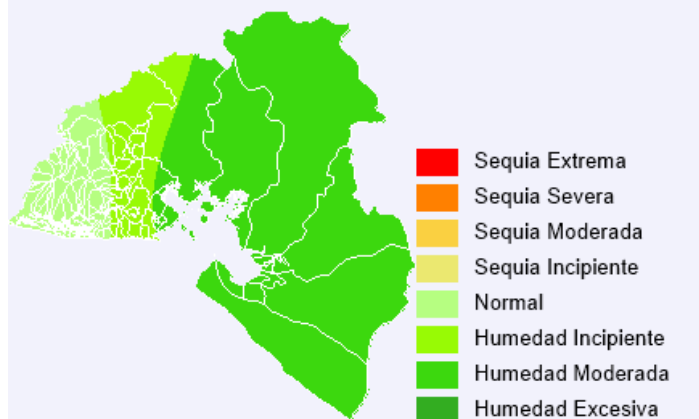


SPI6

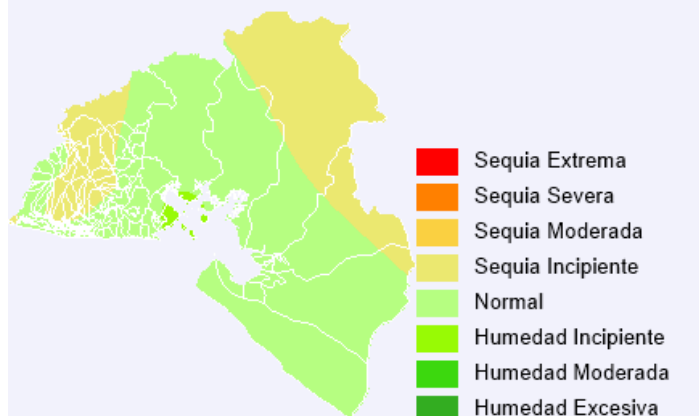
Índice SPI Mensual 6; ENERO de 2015



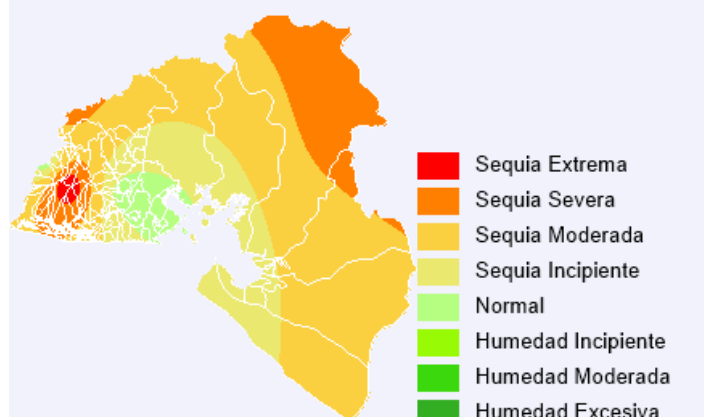
Índice SPI Mensual 6; FEBRERO de 2015



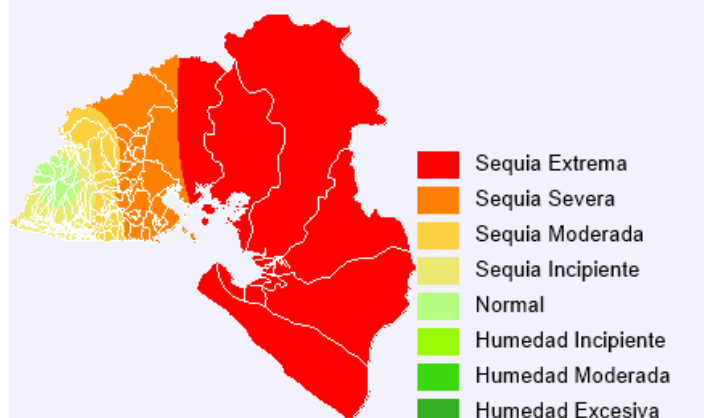
Índice SPI Mensual 6; MARZO de 2015



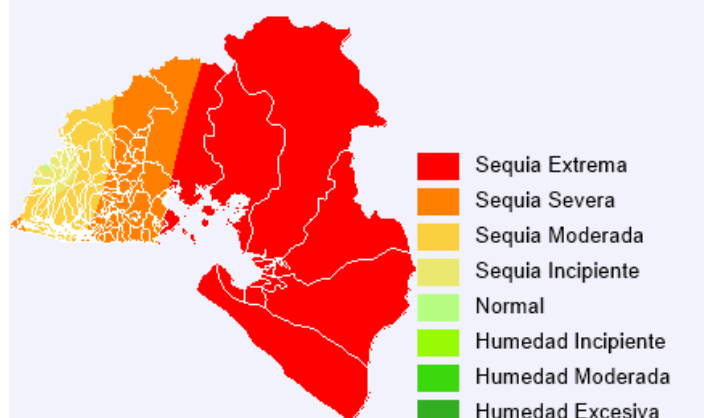
Índice SPI Mensual 6; ABRIL de 2015



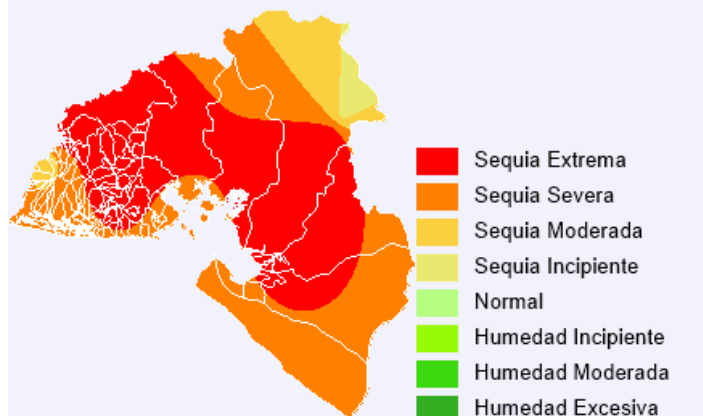
Índice SPI Mensual 6; MAYO de 2015



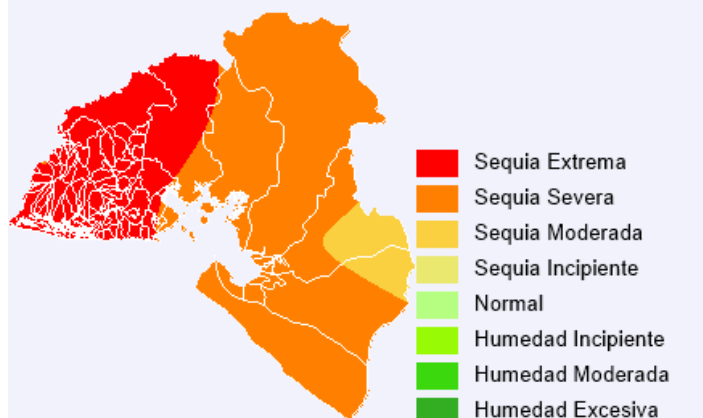
Índice SPI Mensual 6; JUNIO de 2015



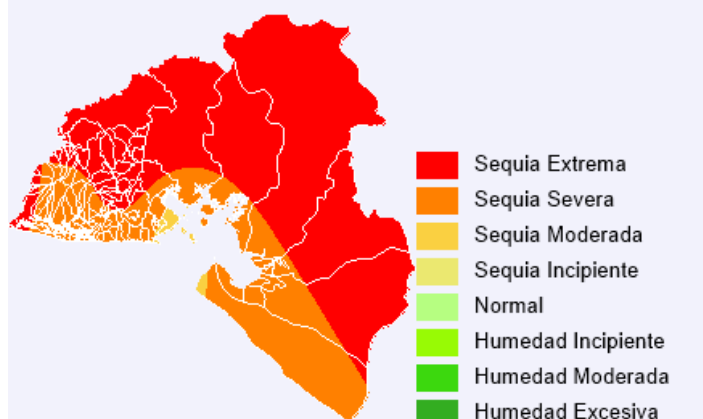
Índice SPI Mensual 6; JULIO de 2015



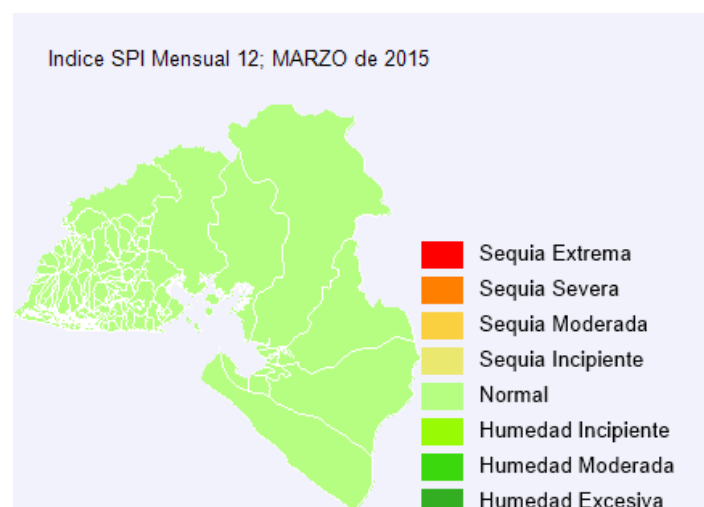
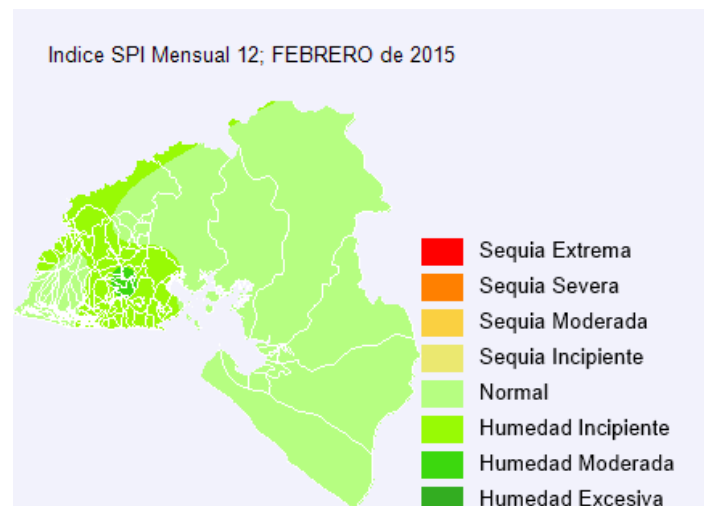
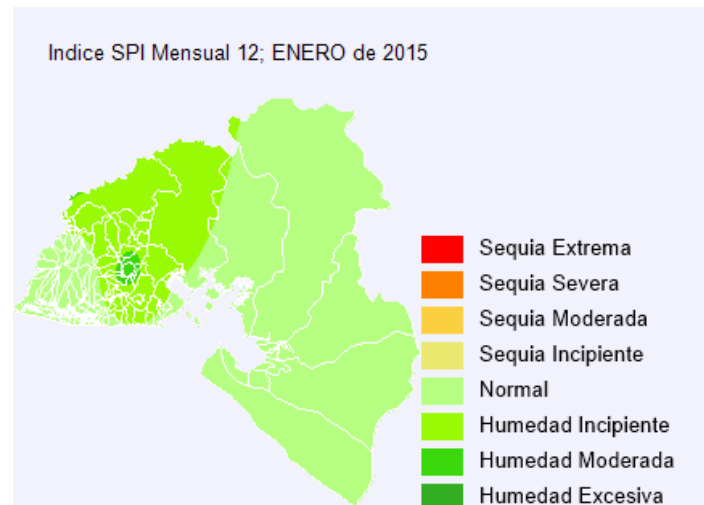
Índice SPI Mensual 6; AGOSTO de 2015



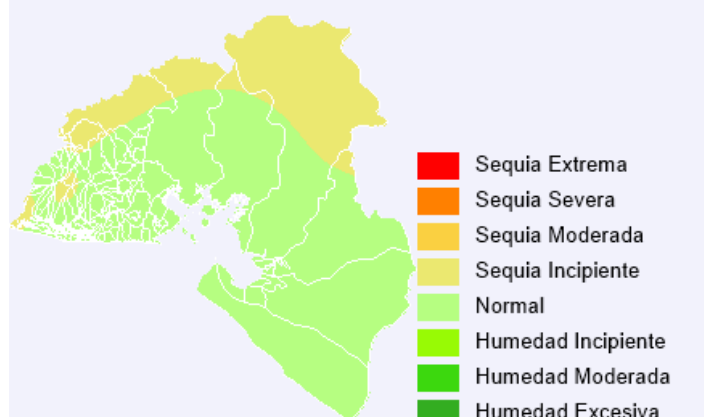
Índice SPI Mensual 6; SEPTIEMBRE de 2015



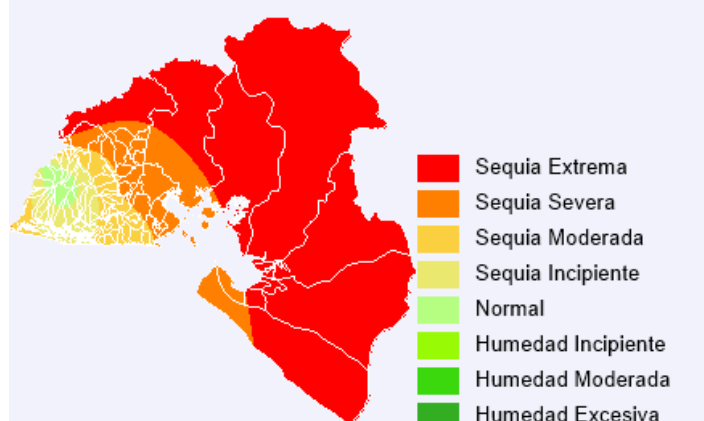
SPI12



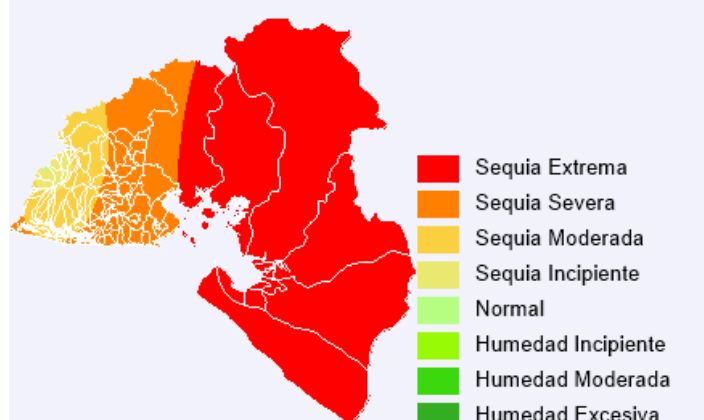
Índice SPI Mensual 12; ABRIL de 2015



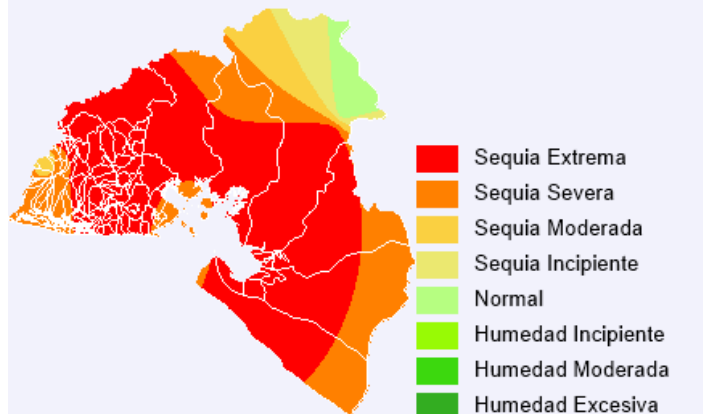
Índice SPI Mensual 12; MAYO de 2015



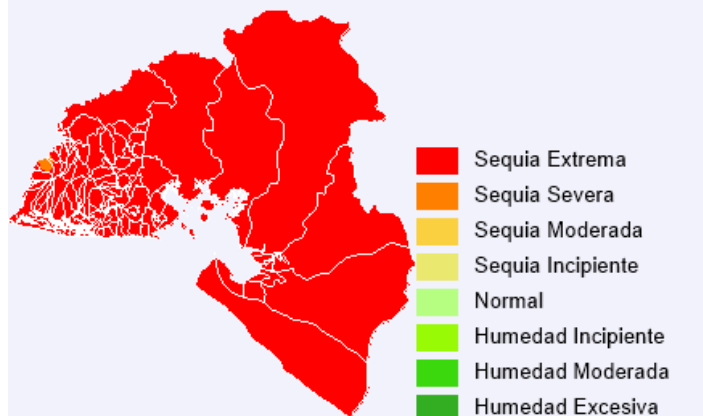
Índice SPI Mensual 12; JUNIO de 2015



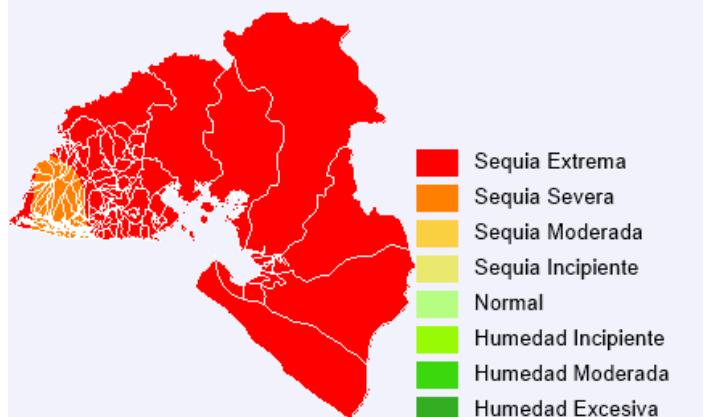
Índice SPI Mensual 12; JULIO de 2015



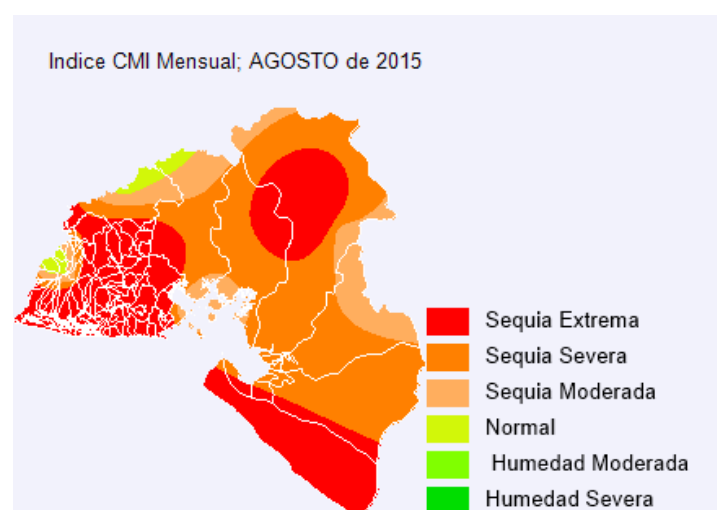
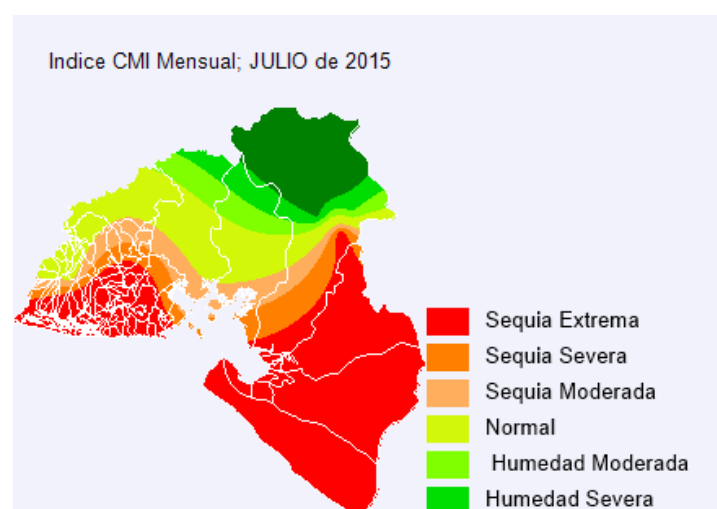
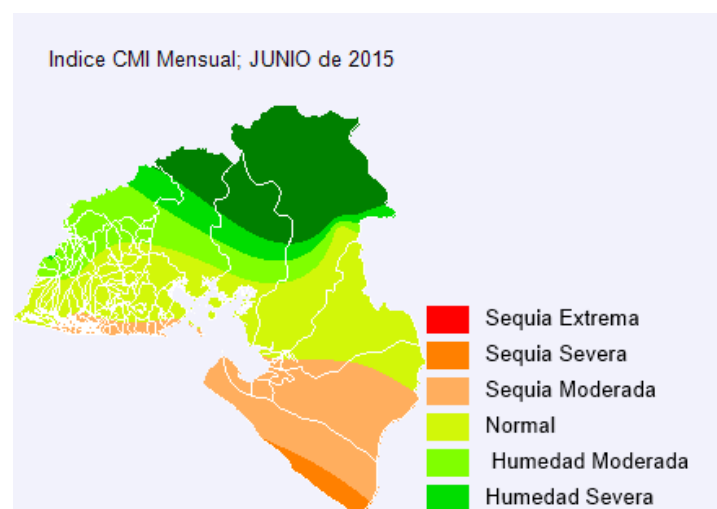
Índice SPI Mensual 12; AGOSTO de 2015



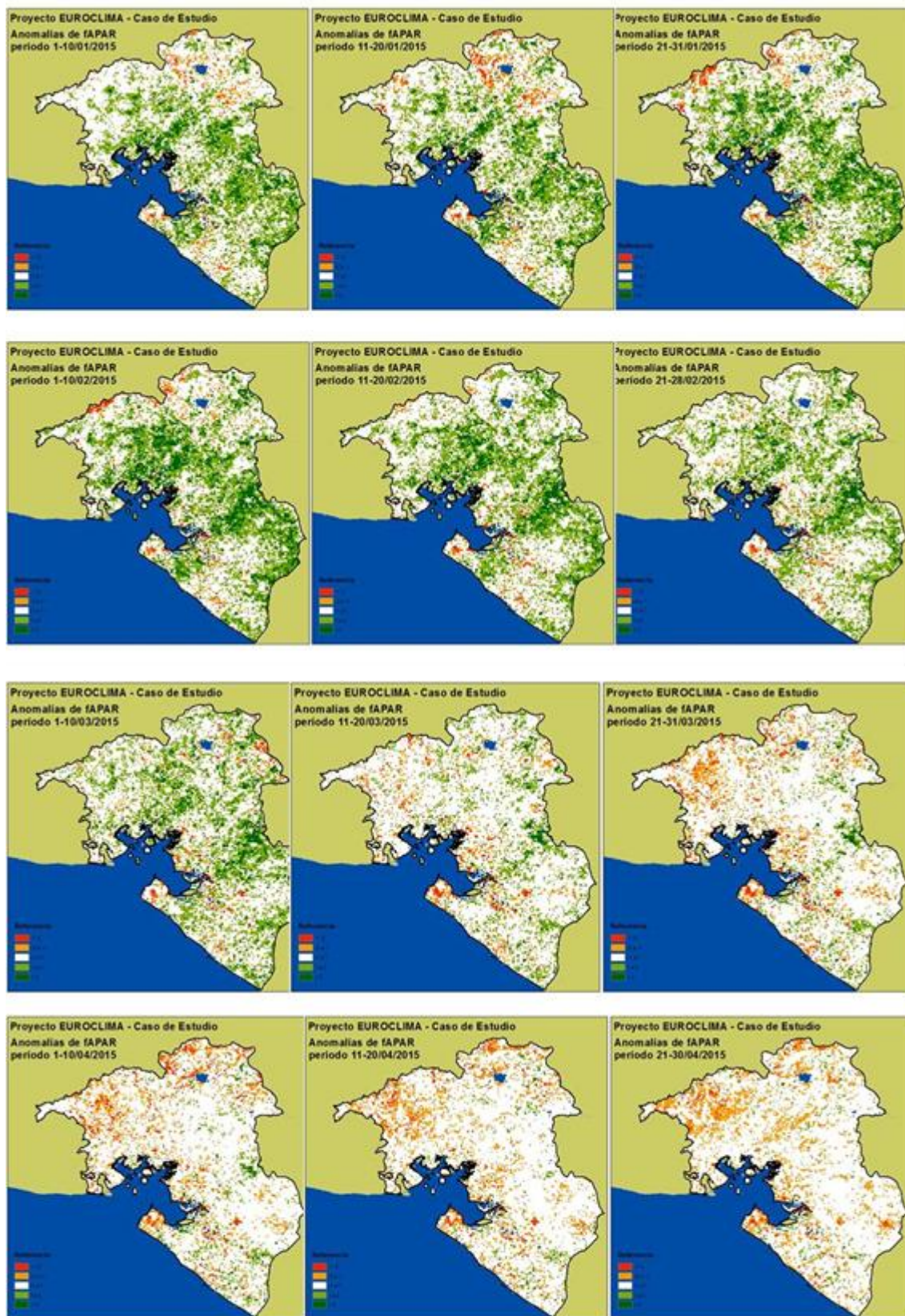
Índice SPI Mensual 12; SEPTIEMBRE de 2015

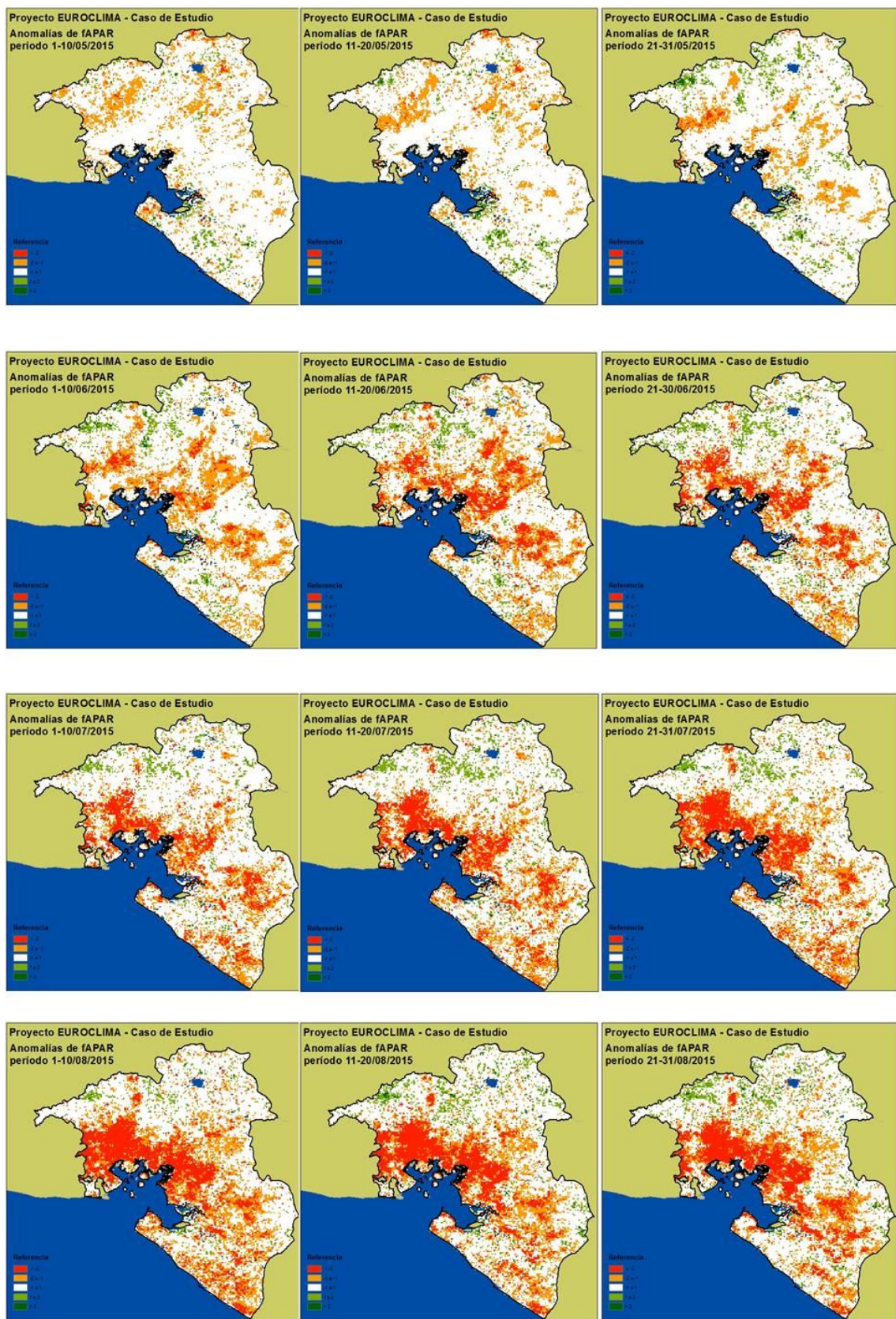


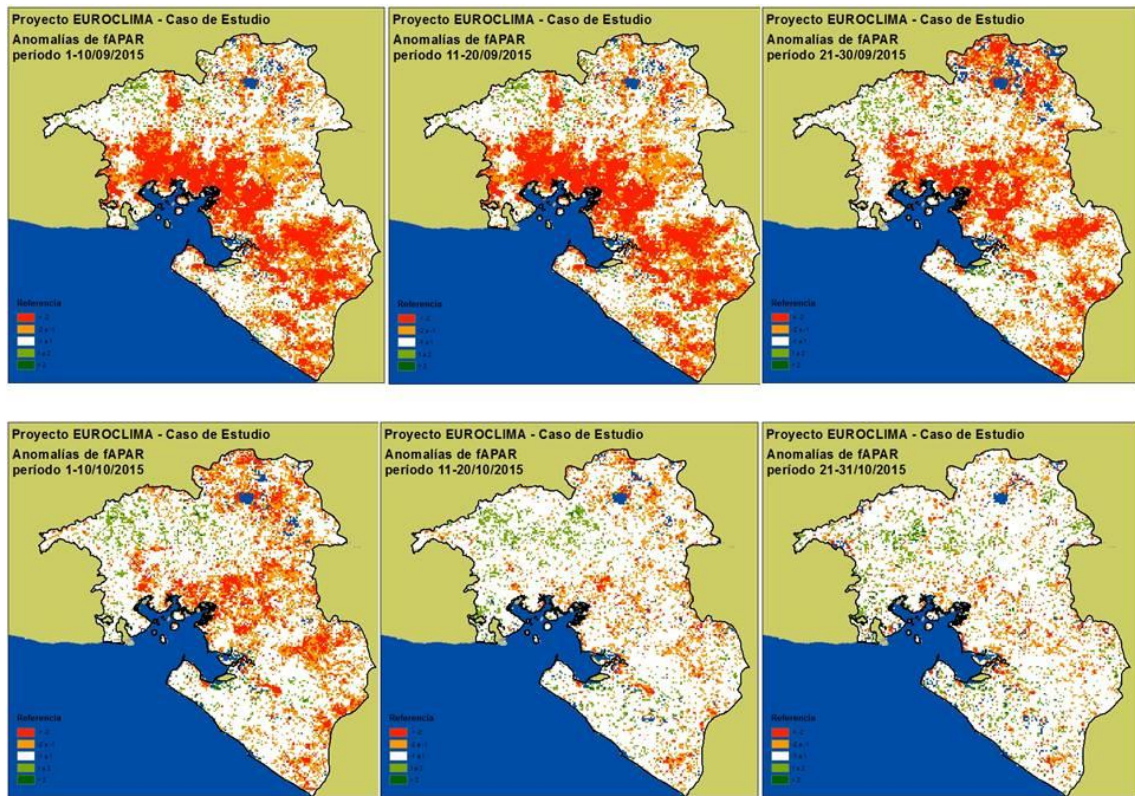
Anexo I.III. Serie Junio-Agosto, 2015 del CMI



ANEXO II. Serie temporal de imágenes de anomalía fAPAR







Europe Direct is a service to help you find answers to your questions about the European Union
Free phone number (*): 00 800 6 7 8 9 10 11
(*) Certain mobile telephone operators do not allow access to 00 800 numbers or these calls may be billed.

A great deal of additional information on the European Union is available on the Internet.
It can be accessed through the Europa server <http://europa.eu>

How to obtain EU publications

Our publications are available from EU Bookshop (http://publications.europa.eu/howto/index_en.htm), where you can place an order with the sales agent of your choice.

The Publications Office has a worldwide network of sales agents.
You can obtain their contact details by sending a fax to (352) 29 29-42758.

JRC Mission

As the science and knowledge service of the European Commission, the Joint Research Centre's mission is to support EU policies with independent evidence throughout the whole policy cycle.



EU Science Hub

ec.europa.eu/jrc



@EU_ScienceHub



EU Science Hub - Joint Research Centre



Joint Research Centre



EU Science Hub