

ACTUALIZACIÓN DE LAS ESTADÍSTICAS DE LA SEQUÍA EN COLOMBIA

Juan Antonio Gómez Blanco
Martha Cecilia Cadena

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM

SUBDIRECCIÓN DE METEOROLOGÍA

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| 1. OBJETIVOS..... | 7 |
| 1.1. OBJETIVO GENERAL..... | 7 |
| 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 8 |
| 2. MARCO CONCEPTUAL..... | 8 |
| 2.1 DEFINICIONES..... | 8 |
| 2.2 INDICADORES DE SEQUÍA..... | 12 |
| 3. CARACTERIZACIÓN DE EVENTOS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA (PERIODO 1981-2015)..... | 13 |
| 3.1 METODOLOGÍA..... | 13 |
| 3.1.1 Información meteorológica..... | 15 |
| 3.1.2 Identificación y valoración de los eventos..... | 16 |
| 3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 22 |
| 3.2.1 Inventario de eventos..... | 22 |
| 3.2.2. Periodos de Retorno de la Sequía Meteorológica..... | 33 |
| 4.0 SEQUÍA AGRÍCOLA..... | 36 |
| 4.1 METODOLOGÍA..... | 36 |
| 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 39 |
| 5. TENDENCIAS ESTACIONALES DE LAS LLUVIAS Y LAS SEQUÍAS METEOROLÓGICAS..... | 46 |
| 5.1 METODOLOGÍA..... | 46 |
| 5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 47 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 52 |
| BIBLIOGRAFIA..... | 54 |

| | |
|---|----|
| ANEXOS | 55 |
| ANEXO I – MARCO TEÓRICO DEL ÍNDICE SPI..... | 56 |
| ANEXO I I – TABLAS-MEMORIA DE CÁLCULO | 60 |

TABLA DE ILUSTRACIONES

| | |
|--|----|
| ILUSTRACIÓN 1: AGRUPACIÓN DE LAS ESTACIONES POR ZONAS PARA EL ANÁLISIS DE SEQUÍA | 19 |
| ILUSTRACIÓN 2: ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN 1985 | 23 |
| ILUSTRACIÓN 3: ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN 1988 | 24 |
| ILUSTRACIÓN 4: ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (1991-1992)..... | 25 |
| ILUSTRACIÓN 5: ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (1997-1998)..... | 26 |
| ILUSTRACIÓN 6: ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN 2001 | 27 |
| ILUSTRACIÓN 7: ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (2009)..... | 28 |
| ILUSTRACIÓN 8: ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (2015-2016)..... | 29 |
| ILUSTRACIÓN 9: ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (1982-1983)..... | 31 |
| ILUSTRACIÓN 10: ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (1986-1987)..... | 32 |
| ILUSTRACIÓN 11: ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (2002-2003)..... | 33 |
| ILUSTRACIÓN 12: PERÍODO DE RETORNO SEQUÍA METEOROLÓGICA (PRIMER Y SEGUNDO SEMESTRE) Y REGIONAL | 35 |
| ILUSTRACIÓN 13: PERÍODO DE RETORNO DE LA SEQUÍA AGRÍCOLA PERÍODO (DICIEMBRE-FEBRERO) | 40 |
| ILUSTRACIÓN 14: PERÍODO DE RETORNO DE LA SEQUÍA AGRÍCOLA PERÍODO (MARZO-MAYO)..... | 41 |
| ILUSTRACIÓN 15: PERÍODO DE RETORNO DE LA SEQUÍA AGRÍCOLA PERÍODO (JUNIO-AGOSTO) | 42 |
| ILUSTRACIÓN 16: PERÍODO DE RETORNO DE LA SEQUÍA AGRÍCOLA PERÍODO (SEPTIEMBRE-NOVIEMBRE) | 43 |
| ILUSTRACIÓN 17: PERÍODO DE RETORNO DE LA SEQUÍA AGRÍCOLA (TRIMESTRES MÓVILES)..... | 46 |
| ILUSTRACIÓN 18: TENDENCIA DE LAS TEMPORADAS SECAS | 49 |
| ILUSTRACIÓN 19: TENDENCIA DE LAS TEMPORADAS LLUVIOSAS..... | 51 |
| ILUSTRACIÓN 20: GRÁFICOS SPI (1, 3, 6 Y 12 MESES NEIVA Y MEDELLÍN) | 60 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| TABLA 1: ESTACIONES METEOROLÓGICAS UTILIZADAS | 15 |
| TABLA 2: ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN – SPI, PARA ALGUNAS DE LAS ESTACIONES SELECCIONADAS. | 16 |
| TABLA 3: INVENTARIO DE EVENTOS DE SEQUÍAS - ANEXO II | 16 |
| TABLA 4: RELACIÓN DE EVENTOS DE SEQUÍA POR ZONAS GEOGRÁFICAS – ANEXO II. | 20 |
| TABLA 5: INCIDENCIA TERRITORIAL DE LA SEQUÍA, (SPI6<-1) | 21 |
| TABLA 6: CLASIFICACIÓN DEL SPI POR CATEGORÍAS..... | 20 |
| TABLA 7: PERÍODO DE RETORNO SEQUÍAS METEOROLÓGICAS- ANEXO II..... | 21 |
| TABLA 8: EVENTOS DE SEQUIAS METEOROLÓGICAS (1981-2016) | 22 |
| TABLA 9: BALANCE HÍDRICO CLIMÁTICO DECADAL, ESTACIÓN LA VUELTA (ANDÁGUEDA-CHOCÓ)-PERIODO (1981-2015). | 37 |
| TABLA 10: PROBABILIDAD Y PERÍODO DE RETORNO SEQUÍA AGRÍCOLA - ANEXO II | 38 |
| TABLA 11: VALOR DE LA PENDIENTE DE REGRESIÓN PARA ABRIL-MAYO Y OCTUBRE-NOVIEMBRE | 46 |
| TABLA 12: RESUMEN DE TENDENCIA DE LAS TEMPORADAS SECAS ENERO-FEBRERO (ARRIBA) Y JUNIO-JULIO (ABAJO). | 47 |
| TABLA 13: RESUMEN DE TENDENCIA DE LAS TEMPORADAS LLUVIOSAS ABRIL-MAYO (ARRIBA) Y OCTUBRE-NOVIEMBRE (ABAJO). .. | 49 |
| TABLA 14: RANGOS Y CALIFICATIVOS DEL ÍNDICE..... | 55 |

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es la actualización de las estadísticas de la Sequía en Colombia publicadas por el IDEAM en dos documentos disponibles en su página institucional. El primero, elaborado en 2006, titulado “La Sequía en Colombia”, donde se hizo un análisis de la sequía meteorológica, sus características de intensidad y recurrencia y su cubrimiento por regiones geográficas, a partir de una base de datos consistente en 469 estaciones con información de lluvias de la normal climatológica 1971 – 2000. Posteriormente en 2012 se hizo un segundo estudio: “Sequía Meteorológica y Agrícola en Colombia: Incidencias y tendencias”; donde se describe el comportamiento espacio-temporal del fenómeno de la sequía, diferenciando los conceptos de sequía meteorológica (ocasionada únicamente por lluvias inferiores a las normales climatológicas), y de sequía agrícola (caracterizadas por deficiencias de agua en la capa agrícola de suelo), además se calcularon tendencias a largo plazo, con el propósito de apoyar estudios de cambio climático en el país. Algunas de las conclusiones del segundo estudio aclaran que la recurrencia de los eventos de sequía ocasionada exclusivamente por deficiencias de lluvia o sequía meteorológica durante las temporadas lluviosas del primer y segundo semestre, oscilan entre cuatro y ocho años en la mayor parte de las regiones Caribe y Andina, resultando más frecuentes dentro del primer semestre; mientras en amplios sectores de la Orinoquia, Amazonia y región Pacífica, la recurrencia es menor, registrándose la incidencia del fenómeno cada siete a nueve años.

A raíz de la ocurrencia del último evento El Niño en 2015, catalogado como uno de los más intensos de la historia y que produjo gran afectación en la disponibilidad de agua en el país durante este periodo, el estudio de la sequía cobró especial interés y aunque las sequías han estado asociadas históricamente con la aparición de El Niño, dado que los años de mayor incidencia, son aquellos en los que tiene lugar el fenómeno, las estadísticas demuestran que puede producirse independientemente de este tipo de eventos y que prácticamente todos los años se presenta en algún lugar del territorio nacional, dejando pérdidas económicas importantes principalmente en los sectores agrícola y energético.

Aunque existen pocas investigaciones sobre la sequía en el país, se han logrado algunos avances en el tema y desde esa perspectiva, este estudio pretende incorporar nuevas herramientas de análisis, hasta llegar a establecer zonas de mayor afectación, así como la duración e intensidad del fenómeno, para elaborar un mapa de amenaza por sequía en el país. En consecuencia, se incorporaron análisis complementarios, no solo basados en la lluvia, sino también en el balance hídrico; adicionalmente se analizaron las tendencias de las series de precipitación, y partiendo de esta línea base, se identificaron zonas con mayor incidencia de periodos clasificados como sequía, según los criterios establecidos en la metodología, que finalmente permitió espacializar los resultados, que se convirtieron en mapas de amenaza, con sus correspondientes periodos de retorno, tomando series de tiempo actualizadas para el periodo 1981-2015.

Las principales limitaciones del análisis son las que resultan intrínsecas al concepto de sequía y se traducen en la incertidumbre respecto a su inicio y terminación en el tiempo,

su cobertura espacial y a la intensidad de los eventos; sin embargo dentro de la metodología se establecieron criterios de clasificación que permitieron determinar rangos y características propias de cada región, para la obtención de los mapas finales, donde se identificaron las zonas con mayor afectación y amenaza por la ocurrencia de periodos anormalmente secos.

A lo largo del estudio básicamente se presentan 4 secciones, las cuales se sintetizan así:

- ❖ Inicialmente se hace referencia a un marco conceptual muy resumido, debido a que las definiciones fueron dadas de forma muy completa en los estudios publicados con anterioridad, se retoman los conceptos más relevantes sobre sequía, sus principales características y los diferentes tipos que se presentan, ya que es conveniente diferenciar la sequía agrícola de la meteorológica o la sequía estacional de la contingente, además se hace una descripción de los principales índices utilizados para hacer el seguimiento del fenómeno, de acuerdo con la información disponible.
- ❖ En la segunda sección, se hace un inventario y caracterización de los eventos de sequía meteorológica (solo tomando en cuenta la lluvia), presentados durante el periodo analizado, con los respectivos periodos de retorno para el periodo semestral, con los cuales se identifican los periodos de ocurrencia de la sequía meteorológica. Igualmente se realizó una caracterización espacio temporal de la sequía estableciendo su incidencia territorial y su intensidad por regiones y adicionalmente se calculó el número de eventos y el periodo de retorno de la sequía meteorológica para el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) de 3, 6 y 12 meses para el total las estaciones y se agrupo por regiones.
- ❖ En la tercera sección, se realiza la caracterización de eventos de sequía agrícola, para lo cual se utilizaron los resultados generados (déficit decadal) por los balances hídricos climáticos calculados por el método de Palmer, para el total de estaciones.
- ❖ En la cuarta sección, se hace un análisis del comportamiento intraestacional de las tendencias tomando periodos secos y lluviosos del periodo histórico analizado.

1. OBJETIVOS.

1.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar espacial y temporalmente la sequía meteorológica y agrícola en Colombia, con la finalidad de brindar una herramienta que permita a los diferentes sectores socioeconómicos y a las entidades del orden nacional, regional y municipal, prevenir y mitigar los impactos económicos de los mencionados fenómenos.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer las tendencias de las series de precipitación para contextualizar el comportamiento histórico de la sequía y espacializar los resultados, estableciendo sitios que tienden a presentar incremento en el déficit de lluvias (Serie histórica 1981-2015).
- Determinar las zonas con mayor amenaza de sequía meteorológica mediante el análisis temporal de las series de índices de sequía, relacionando estadísticos como número de eventos, duración y magnitud de los mismos.
- Identificar zonas con déficit de disponibilidad hídrica para actividades agrícolas mediante el cálculo de balances hídricos.
- Definir la frecuencia de la sequía mediante el cálculo de los periodos de retorno de los eventos detectados para determinar la probabilidad de ocurrencia de sequías tanto agrícolas como meteorológicas y elaborar un mapa con los resultados.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 DEFINICIONES

Debido a la existencia de estudios antecedentes, mencionados en el párrafo introductorio, que definen ampliamente los conceptos y la clasificación de la sequía, así como las variables importantes para su caracterización y dado que este es un estudio de actualización de las estadísticas publicadas en 2006 y 2012, se resume de forma muy general la parte conceptual, resaltando las definiciones más importantes para el entendimiento de los términos utilizados a lo largo del documento, como la sequía estacional, la sequía agrícola, la sequía contingente, la intensidad y duración de los eventos y los índices de sequía, entre otros. Para mayor detalle, consultar las publicaciones del IDEAM en su página institucional en la sección de Aplicaciones Meteorológicas (Hurtado & Mayorga, 2006 y Hutado, 2012), en el link institucional: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21147/NotaT%C3%A9cnicaSequia.pdf/d9ba4965-f7cd-4a2f-a875-2a38b1d6a941>.
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Sequias+Incidencias+y+Tendencias.pdf/3e72c86c-cf4a-42f9-95f1-07e7cf88861a>.

Adicionalmente se pueden consultar publicaciones de la OMM, con toda la conceptualización sobre el tema, en la página del “Integrated Drought Management Programme”: <http://www.droughtmanagement.info/find/guidelines-tools/>

La sequía es uno de los fenómenos más complejos que existe en la naturaleza, normalmente se asocia con periodos en los cuales se presenta una deficiencia hídrica que supera determinados límites. Sin embargo, este sencillo concepto involucra una enorme gama de detalles que contribuyen a incrementar su complejidad. En primer lugar, es difícil

determinar en tiempo real el momento preciso en el cual comienza y finaliza el evento; generalmente estas fechas se determinan a posteriori tras un estudio detallado del comportamiento climático de una región específica.

De otra parte, es muy difusa la determinación de su cobertura que normalmente abarca grandes extensiones y muchas veces no respeta características geográficas o límites hidrográficos como otros fenómenos similares; tampoco es fácil determinar su intensidad en el momento en que está afectando un territorio (Hurtado G. & Cadena M., 2002). El carácter multifacético y progresivo de los impactos de la sequía, desde la afectación del ciclo hidrológico inicialmente, hasta su incidencia en los ecosistemas y las actividades humanas y su extensión espacial difusa, hacen que este fenómeno represente el riesgo natural más complejo de identificar, analizar, monitorear y gestionar.

Por lo tanto, al abordar el tema, debe contarse con información confiable y en lo posible, con buen cubrimiento espacial, además de tener un objetivo específico muy bien definido especialmente en lo que se refiere al sector al cual va dirigido; ya que la sequía, repercute en todas las dimensiones de la seguridad alimentaria, el abastecimiento del recurso hídrico y el sostenimiento de los ecosistemas, que progresivamente van siendo afectados por efectos de la variabilidad climática extrema, reflejándose en la disminución de la producción agrícola, brotes de enfermedades y calidad del suelo y del agua.

La sequía es un fenómeno natural insidioso caracterizado por precipitaciones inferiores a lo esperado o inferiores a lo normal o aguas superficiales limitadas que, cuando se extiende durante una temporada o período prolongado, son insuficientes para satisfacer la demanda humana, actividades económicas y el medio ambiente (World Meteorological Organización, 2006)

En su sentido más amplio, la sequía se caracteriza por una ausencia prolongada, marcada deficiencia o pobre distribución de la precipitación en determinado lugar. En cuanto a las demás variables climáticas, generalmente se asocia con “altas temperaturas, baja humedad relativa, mayores cantidades de insolación y menor nubosidad, que producen un incremento de la evaporación del suelo y de la transpiración de las plantas (Marcos, 2001).

Palmer, 1965, simplifica la definición de la sequía, considerándola un fenómeno estrictamente meteorológico, que puede ser evaluado desde la cuantificación de una deficiencia anormal de humedad. Este enfoque prescinde de muchos otros factores biológicos complejos y definiciones arbitrarias, limitándolo al análisis climático, en lo que respecta a la determinación de la severidad, duración y magnitud de la sequía.

Como característica normal y recurrente del clima, la sequía se produce en prácticamente todos los regímenes climáticos, incluidas las zonas de alta y baja precipitación; es un fenómeno temporal y en contraste con la aridez que es una característica permanente del clima y está restringida a las áreas de baja precipitación (Wilhite, 2000).

La naturaleza gradual de la sequía dificulta el reconocimiento del verdadero alcance de los impactos a medida que se filtran a través de la economía y el medio ambiente, a menudo disminuyendo el sentido de urgencia que de otro modo desencadenaría una respuesta oportuna e integral (Hao et al., 2017).

Adicionalmente, es conveniente hacer ciertas precisiones al concepto general, en dependencia de la aplicación que se quiera analizar. De esta forma, vale la pena recordar algunas de las diferenciaciones que amplían la definición.

La SEQUÍA METEOROLÓGICA. Se refiere exclusivamente a la escasez de lluvia durante un período determinado (citado por: Hurtado G. & Cadena M., 2002).

La SEQUÍA AGRÍCOLA. Se presenta cuando la oferta hídrica, ya sea por precipitación o por aporte de agua del suelo, para que los cultivos puedan desarrollarse adecuadamente.

Las anteriores definiciones se refieren a la incidencia específica del fenómeno. Sin embargo, es conveniente tener en cuenta otras precisiones adicionales, al momento de analizar su impacto en el tiempo:

La SEQUÍA ESTACIONAL. Se relaciona con el comportamiento climático en los patrones de circulación. Generalmente se presenta invariablemente cada año, durante los mismos meses.

La SEQUÍA CONTINGENTE. Es una baja anormal de las lluvias durante el período apto de crecimiento de los cultivos, es decir, durante la temporada de lluvias.

La SEQUÍA INVISIBLE. Es una temporada de varios meses en los cuales las lluvias permanecen moderadamente por debajo de los promedios, produciendo un efecto acumulativo que en la agricultura puede reducir la productividad, sin que necesariamente los cultivos colapsen (Citado por: Hurtado, 2012).

La SEQUÍA HIDROLÓGICA. Es la consecuencia del déficit de agua durante un tiempo prolongado, que produce una reducción importante de las corrientes de agua, y de los aportes a embalses, lagos y todo tipo de fuentes de agua, lo cual impacta la vida animal y los humedales.

La SEQUÍA SOCIO-ECONÓMICA. Es aquella que se presenta cuando las condiciones ambientales empiezan a afectar el normal desarrollo de las actividades humanas, generando pérdidas en la producción y las actividades económicas como respuesta a la anormal y prolongada deficiencia de precipitaciones.

Definición de Sequía consensuada para Colombia junto con los diferentes actores afectados por la ocurrencia del fenómeno, durante el encuentro nacional sobre sequías organizado por la Unidad Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD, 2017): “La Sequía es una disminución anómala de la precipitación respecto a los promedios históricos, la cual afecta los ciclos hidrológicos naturales, los sistemas de producción y

demás actividades ambientales y socio-económicas del país o de una región en particular, teniendo en cuenta el ordenamiento productivo”.

Inicialmente, la sequía meteorológica ocasiona deficiencia de agua en el suelo y esta deficiencia da lugar a un fuerte estrés hídrico, generando reducción de la biomasa y de los rendimientos. Cuando se produce este efecto en las plantas y su ambiente, aparece la sequía agrícola.

La sequía agrícola, relaciona la sequía meteorológica con el impacto en la agricultura focalizándose en las deficiencias hídricas en el suelo y las diferencias entre la evapotranspiración real y la potencial y en las situaciones en que la planta no puede alcanzar sus requerimientos hídricos durante el periodo vegetativo.

La diferencia existente entre la sequía meteorológica y la agrícola, consiste básicamente en que, la primera toma en cuenta únicamente la distribución de la lluvia, mientras la segunda involucra la respuesta del suelo.

Este estudio se enfoca en la caracterización espacial y temporal de la sequía meteorológica y agrícola y tiene como finalidad disponer insumos y herramientas para consulta de los tomadores de decisiones encargados de evaluar el impacto y planificar y gestionar la sequía en el país.

Actualmente, existe una preocupación creciente sobre la sequía, debido a la conciencia global sobre los impactos económicos, sociales y ambientales derivados de su ocurrencia, ya que el cambio climático y los cambios proyectados asociados a la variabilidad climática, probablemente aumentarán la frecuencia y gravedad de las sequías y otros eventos climáticos extremos.

Este creciente interés junto con una mayor disponibilidad y accesibilidad de las observaciones climáticas y predicción del clima, ofrecen la oportunidad de planificar e implementar acciones para mitigar los daños y gestionar los riesgos. Pero sin duda el éxito de este empeño, se basa en el conocimiento sobre la caracterización espacial y temporal de la sequía, combinado con el conocimiento profundo de los posibles impactos de este fenómeno en la escala nacional y regional.

En los últimos años, más que una política de asistencialismo frente a la crisis por sequía, se espera una acción preparatoria destinada a la gestión del riesgo, que contrario a la espera de ayudas económicas, insta a las comunidades a aumentar su resiliencia frente a los desastres ambientales, trayendo beneficios colaterales en términos de adaptación al cambio y a la variabilidad climática.

En conclusión, es importante avanzar hacia un enfoque proactivo de la sequía, mediante una planificación que establezca un conjunto de principios o directrices operativas para controlar la gestión de la sequía y sus diversos impactos en múltiples escalas espaciales y temporales (Organización Meteorológica Mundial (OMM) y Asociación Mundial del Agua (GWP), 2014, OMM (2018).

2.2 INDICADORES DE SEQUÍA

Un indicador es una variable que describe la condición y evolución de la sequía. Un buen indicador de sequía debe reunir las siguientes condiciones:

- ❖ Adecuado al tipo de demanda hídrica que se quiera estudiar, en este caso, agrícola y meteorológica.
- ❖ Disponibilidad de la información. Los datos deberán ser confiables, listos para usar y fáciles de manipular.
- ❖ Fáciles de comprender e interpretar.
- ❖ Sensibles temporal y espacialmente. Si son válidos para una época y región determinadas, deben ser válidos para cualquier época y región.
- ❖ Identificar claramente el principio, desarrollo y fin del evento.

En el manejo de indicadores es importante establecer una relación con aspectos de manejo y reducción del impacto de la sequía, a través de determinar ciertos disparadores, en determinados valores del índice para alertar sobre medidas de mitigación, tales como racionamientos de agua.

El disparador hace referencia al umbral o valor específico de cada indicador, que determina el comienzo de una sequía y la emisión de una alerta; se pueden citar como ejemplo, las precipitaciones por debajo del percentil 5 durante dos meses consecutivos o el SPI con valor negativo, por debajo del umbral -0.5 (para el caso del estudio), por tres meses consecutivos o cualquier criterio que se haya establecido como rango de alerta.

El impacto por su parte se determina mediante la interacción de la amenaza y los elementos expuestos y la vulnerabilidad de estos a las condiciones adversas, que incidirán de acuerdo a muchos otros factores adicionales, como por ejemplo, las condiciones antecedentes, la época en la cual se presenta, el periodo de crecimiento de los cultivos, entre otros.

La importancia de los indicadores radica en que simplifican relaciones complejas y las traducen en términos comprensibles, útiles y operativos para el entendimiento del fenómeno; permiten hacer una evaluación cuantitativa de las condiciones anómalas porque se puede establecer la intensidad, duración y extensión geográfica de la sequía; además de que el análisis de las series de los índices, muestran periodos de recurrencia, útiles en la planificación de las actividades afectadas por la sequía. Sin embargo, se necesita mucha información adicional, ya que deben ser combinados con datos sobre cosechas perdidas, enfermedades presentes y una serie de estadísticos que solo pueden ser colectados y analizados por los agricultores (OMM, 2012).

Al momento de seleccionar tanto los indicadores como los disparadores, es necesario fijarse en su operatividad, los datos disponibles para su cálculo, su sensibilidad en la escala espacial y temporal y en lo efectivo que resulte para detectar de forma adecuada y a tiempo el inicio y finalización del evento. Normalmente se clasifican de acuerdo con su facilidad de uso y dentro de ellos se encuentran los que detectan la sequía meteorológica, los que cuantifican la humedad en el suelo, los que analizan los caudales de los ríos y en los últimos años, los que se han desarrollado a partir de la teledetección. Los más recomendables o al menos los más operativos se caracterizan por no requerir datos diarios, admiten información faltante y están disponibles en internet, mientras los más elaborados normalmente necesitan múltiples variables de entrada, los programas para calcular el índice no son de uso libre y los cálculos necesarios son complejos y no existe un código disponible para hacerlo (OMM, 2016).

Existen aproximadamente una veintena de metodologías para el cálculo de índices meteorológicos, dentro de los cuales se encuentran por una parte, el índice de anomalía de la aridez, el del porcentaje de la precipitación normal, el de los deciles, el índice estandarizado de la precipitación, el índice de la anomalía ponderada de la precipitación estandarizada, que tienen como datos de entrada sólo la lluvia; y por otro lado, los índices para analizar la sequía agrícola, que requieren un mayor número de variables, dentro de los cuales los más conocidos son el índice de anomalía de la humedad del cultivo, el coeficiente hidrotermal de Selyaninov, el índice de severidad de la sequía de Palmer, el índice de precipitación y evapotranspiración estandarizado, el índice de déficit de evapotranspiración, entre otros.

Para los análisis calculados dentro del estudio se escogió un índice basado en la lluvia y otro en el balance hídrico. Se seleccionó el índice estandarizado de la precipitación (SPI) para diferentes escalas de tiempo y el déficit de la humedad en el suelo obtenido a partir del cálculo del balance hídrico.

Para realizar un buen plan de manejo además de incluir varios indicadores y combinar varios métodos, que consideren el uso de métodos cuantitativos y cualitativos, es necesario que, entre los métodos cualitativos, se considere la conformación de un comité especializado para la implementación de respuestas.

3. CARACTERIZACIÓN DE EVENTOS DE SEQUÍA METEOROLÓGICA (PERIODO 1981-2015)

3.1 METODOLOGÍA

Teniendo en cuenta que en el presente proyecto se estudiará la distribución espacio-temporal de la sequía meteorológica y de la sequía agrícola, el primer paso consiste en la selección de un indicador adecuado, que refleje en forma clara y precisa, la incidencia del fenómeno.

Para evaluar la sequía meteorológica se seleccionó el índice estandarizado de precipitación (SPI), que es el índice de sequía más utilizado en la actualidad y recomendado por la Organización Mundial Meteorológica (OMM) para el monitoreo de la sequía. Se basa en el hecho de que las series históricas de precipitación se ajustan a una distribución gamma, que puede ser transformada a una distribución normal, sobre la cual puede calcularse el número de desviaciones estándar de la lluvia actual, respecto al promedio climatológico.

Una ventaja del SPI es que puede ser calculado para varias escalas temporales. Se pueden tomar acumulados de 1, 3, 6, 9, 12, y 24 meses y cada período de acumulación permite estudiar diferentes tipos de sequía. Por ejemplo, el SPI de 1 a 3 meses, sirve para estudiar la sequía meteorológica; entre 3 y 6 meses, para la sequía agrícola y entre 12 y 24 meses, la sequía hidrológica.

El SPI de un mes, es similar al que se obtiene calculando el porcentaje de precipitación del mes, con relación al promedio. El SPI de 1 mes simplemente compara el total de precipitación de ese mes en particular, con el total de la precipitación del promedio de ese mes para toda la serie.

El SPI de 3 meses compara acumulados de 3 meses. Por ejemplo, el SPI de noviembre, refleja el acumulado de septiembre, octubre y noviembre. Proporciona una estimación intra-estacional y es ideal para ser utilizado en aplicaciones agrícolas, igual que el SPI 1, ya que en cultivos herbáceos o plantas de poco corte, la humedad en el suelo es vital y depende de eventos submensuales.

El SPI de 6 meses indica tendencias de precipitación cercanas al mediano plazo y puede ser eficaz para evidenciar la precipitación estacional. También puede reflejar niveles de almacenamiento anómalos en los embalses, en función de la región y la época del año.

El SPI de 12 meses da una indicación de pautas de precipitación en escalas temporales medias. Un valor extremo puede indicar efectos en el almacenamiento de los embalses, por lo cual se le considera un buen indicador para los sistemas de riego.

Se analizó cuál de los índices era el más apropiado para el caso del presente estudio y se llegó a la conclusión de que el índice de 6 meses, era el que mejor reflejaba el comportamiento de la sequía en Colombia.

El índice SPI(12), que calcula acumulados anuales, puede enmascarar las sequías de corta duración, desaprovechando la información mensual, que constituye la base de datos. Por otra parte, se probó el análisis en la escala trimestral (SPI3) que, por el contrario, generaba mucho detalle, ocasionando dispersión de los eventos y mostrando una gran cantidad de casos, que si bien eran importantes para el seguimiento de la génesis de la sequía, en el caso de estudiar los eventos más intensos, resultaba engorroso y confuso.

El índice de 6 meses en cambio, permitió detectar sequías en una escala temporal mínimo de un semestre, lo cual es importante, porque en Colombia el régimen de lluvia predominante en las principales regiones agrícolas, es el bimodal, que presenta dos temporadas de siembra durante el año. Una sequía que ocupe solo un semestre, puede ser moderada por su duración, pero es capaz de producir grandes pérdidas, al arruinar la cosecha de un semestre.

La base teórica en la que se fundamenta el índice SPI, puede ser consultada en el Anexo I de este documento.

3.1.1 Información meteorológica

La información meteorológica se recopiló en su totalidad de la base de datos del IDEAM, registrada por la red de estaciones meteorológicas que funcionan o han funcionado en Colombia. En total se extractaron 500 estaciones con información de precipitación procesada (ver Tabla 1- Anexo II-Memorias de Cálculo).

El período seleccionado de análisis corresponde a 1981 – 2015, para la variable precipitación, algunas de las estaciones seleccionadas y sus coordenadas aparecen a continuación, los códigos de las otras 500 estaciones pueden ser consultados en la tabla 1 del Anexo II-Memoria de cálculo.

Tabla 1: Estaciones Meteorológicas Utilizadas

| Numero | CODIGO | NOMBRE | LONGITUD | LATITUD |
|--------|----------|-----------------------|-------------|------------|
| 1 | 17015010 | Apto Sesquicentenario | -81.7038889 | 12.5869444 |
| 2 | 17025020 | Apto El Embrujo | -81.3500000 | 13.3500000 |
| 3 | 15015050 | Apto Simon Bolivar | -74.2288889 | 11.1283333 |
| 4 | 14015020 | Apto Rafael Nunez | -75.5160278 | 10.4472500 |
| 5 | 29045020 | A.E Cortisoz | -74.7797778 | 10.8833361 |
| 6 | 15065010 | Apto A.Padilla | -72.9176944 | 11.5282222 |
| 7 | 28035030 | Apto Alfonso Lopez | -73.2494444 | 10.4394444 |
| 8 | 13085040 | Apto Los Garzones | -75.8251389 | 8.8258333 |
| 9 | 12015070 | Apto Los Cedros | -76.7178333 | 7.8166667 |
| 10 | 23155030 | Apto Yariguies | -73.8086111 | 7.0263889 |
| 11 | 23195130 | Apto Palonegro | -73.1845278 | 7.1214722 |

Se calculó el SPI, para todas las escalas de tiempo 1, 3, 6 y 12 meses, para las 500 estaciones contempladas dentro del estudio. (Tabla 2-Anexo II-Memorias de Cálculo). Un

ejemplo del cálculo del Índice estandarizado de precipitación para algunas de las estaciones analizadas para la escala temporal de un mes aparece a continuación.

Tabla 2: Índice Estandarizado de Precipitación – SPI(1), para algunas de las estaciones seleccionadas.

| CODIGO | 11010010 | 11045010 | 11110010 | 11110020 | 11115020 |
|--------------|--------------|----------------|-------------------|--------------|--------------|
| NOMBRE | Vuelta La | Apto El Carano | Normal Sta Teresa | Abriaqui | Canasgordas |
| LONGITUD | -76.545 | -76.64386111 | -76.13361111 | -76.075 | -76.02972222 |
| LATITUD | 5.458861111 | 5.690555556 | 6.763333333 | 6.6425 | 6.758055556 |
| DEPARTAMENTO | Choco | Choco | Antioquia | Antioquia | Antioquia |
| MUNICIPIO | Lloro | Quibdo | Frontino | Abriaqui | Canasgordas |
| 1981-01 | 0.44838572 | -0.089910242 | -1.37841252 | -0.67547555 | -1.371559737 |
| 1981-02 | 0.772626629 | 1.480239525 | 0.633212183 | 0.781782475 | 0.81859428 |
| 1981-03 | -0.079923781 | 1.414005288 | 1.197686298 | -0.061198703 | 0.194535744 |
| 1981-04 | 0.615597501 | 0.002688573 | -0.314253073 | -0.21106362 | 0.830008497 |
| 1981-05 | -0.37912428 | -2.027086431 | 1.234420065 | 1.026260158 | 1.86556838 |
| 1981-06 | 0.082752179 | -0.834484847 | 1.900802317 | 1.624957947 | 1.16993503 |
| 1981-07 | 0.550050261 | 0.011607539 | 0.211787789 | 0.727199046 | -0.031250296 |
| 1981-08 | -0.543804007 | 0.516947405 | 0.437370095 | 0.196302802 | 0.978026728 |
| 1981-09 | 1.270436244 | -1.126779448 | 0.580622383 | -0.065447224 | -0.643126435 |
| 1981-10 | 0.545245133 | 0.323009843 | 0.783048772 | 0.673064251 | 1.257788007 |
| 1981-11 | 1.08719273 | 1.637980298 | 0.396687646 | 0.282980431 | 0.561707356 |
| 1981-12 | 1.1379433 | -0.130218276 | -1.853577528 | 0.741784741 | 0.674996922 |
| 1982-01 | 0.629731539 | 0.524542538 | 1.10462915 | 1.475656259 | 1.47785259 |
| 1982-02 | 1.177245575 | 1.668338044 | 0.727469192 | 0.275158101 | 1.122252927 |
| 1982-03 | -0.290623735 | -0.697918138 | -0.169730965 | -0.203650134 | 1.055278325 |

3.1.2 Identificación y valoración de los eventos

Para efectos de evaluar los eventos de sequía meteorológica, se recurrió a un procedimiento sencillo pero práctico.

La sequía es un fenómeno silencioso que, en la mayoría de los casos, no permite detectar con facilidad su inicio ni finalización. Normalmente inicia el déficit de lluvias y progresivamente va alcanzando, al cabo de algunos meses, su punto máximo; el final también se produce en forma paulatina. Por esta razón y para efectos del análisis, para la detección de un determinado evento, se han tenido en cuenta dos niveles de valor del índice SPI con escala temporal de 6 meses (SPI6): -0,5 y -1,0.

El valor de -0,5, indicaría la transición hacia una presunta sequía y superar el valor de -1,0 indicaría el establecimiento del evento. Del valor del índice de -1,0 en adelante, se

procede a analizar la intensidad del evento, según los valores que se vayan registrando y de acuerdo con la clasificación del SPI. Siguiendo la metodología descrita, se identificaron los eventos de sequía para cada una de las 500 estaciones evaluadas. (Tabla 3: Inventario de Eventos de Sequías - ANEXO II-Memoria de cálculo). Algunas de las estaciones seleccionadas con el cálculo del SPI(6) y agrupadas para la región 1 correspondiente a Urabá y el Litoral Caribe, aparecen a continuación:

Tabla 3: Inventario de Eventos de Sequía (SPI6) por Zonas Geográficas – ANEXO II.

| CODIGO | 12010070 | 12010120 | 12015020 | 12015070 | | |
|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-------------|----------------------------|
| ESTACION | Casco El | Sta Martha | Uniban | Apto Los Cedros | | |
| LONGITUD | -76.64777778 | -76.64722222 | -76.65138889 | 76.71783333 | | |
| LATITUD | 7.884444444 | 7.883611111 | 7.826111111 | 7.816666667 | | |
| DEPARTAMENTO | Antioquia | Antioquia | Antioquia | Antioquia | | |
| MUNICIPIO | Apartado | Turbo | Apartado | Carepa | | |
| REGIÓN | 1 | 1 | 1 | 1 | | |
| 29587 | NA | NA | NA | NA | | |
| 29618 | NA | NA | NA | NA | | |
| 29646 | NA | NA | NA | NA | | |
| 29677 | NA | NA | NA | NA | | REGIÓN |
| 29707 | NA | NA | NA | NA | No. Eventos | URABA Y LITORAL CARIBE SUR |
| 29738 | 0.037239569 | 0.58475227 | 0.287000948 | 2.186730476 | 0 | 0 |
| 29768 | -0.22768122 | 0.261276367 | 0.437714309 | 1.843548693 | 0 | 0 |
| 29799 | 0.499119208 | 0.420695251 | 0.150230317 | 1.699979129 | 0 | 0 |
| 29830 | 0.664910661 | 0.322226847 | -0.065264442 | 1.053724564 | 0 | 0 |
| 29860 | -1.94848803 | 1.32645922 | -0.52810213 | 0.430757136 | 1 | 5.55555556 |
| 29891 | 1.494485853 | 2.038636259 | -0.34517066 | 0.233393688 | 1 | 5.55555556 |
| 29921 | 0.779729702 | 1.568717874 | -0.362099785 | 0.149880958 | 0 | 0 |
| 29952 | 0.463389248 | 1.52569452 | -0.428670069 | 0.776539179 | 0 | 0 |

El siguiente paso consistió en agrupar las estaciones por zonas cuasi homogéneas, en cuanto a la fisiografía y las lluvias. Para el efecto se tuvo en cuenta su localización por cuencas, su régimen pluviométrico y su agrupación dentro de una misma región geográfica (Ilustración 1.), obteniendo la siguiente clasificación:

1. Urabá y Litoral sur del Caribe
2. Guajira y Litoral Caribe Central
3. Norte de Santander
4. Cuenca del Alto Magdalena (Huila, Tolima)
5. Cuenca del medio Magdalena (Cundinamarca, Sabana de Bogotá, Tolima)
6. Medio Cauca (Suroriente Antioqueño)
7. Medio Magdalena (Cuenca Sogamoso)
8. Cuenca Chicamocha (Boyacá, Santander-Flanco occidental)
9. Cuenca Sinú (Córdoba)
10. Cuenca del Alto y Medio Cauca (Cauca, Risaralda, Caldas, Antioquia)
11. Caribe Centro
12. Piedemonte Orinoquia (Cundinamarca, Boyacá)
13. Piedemonte Orinoquia (Meta)
14. Orinoquia (Casanare, Arauca)
15. Nariño-Macizo
16. Amazonia
17. Chocó
18. San Andrés y Providencia

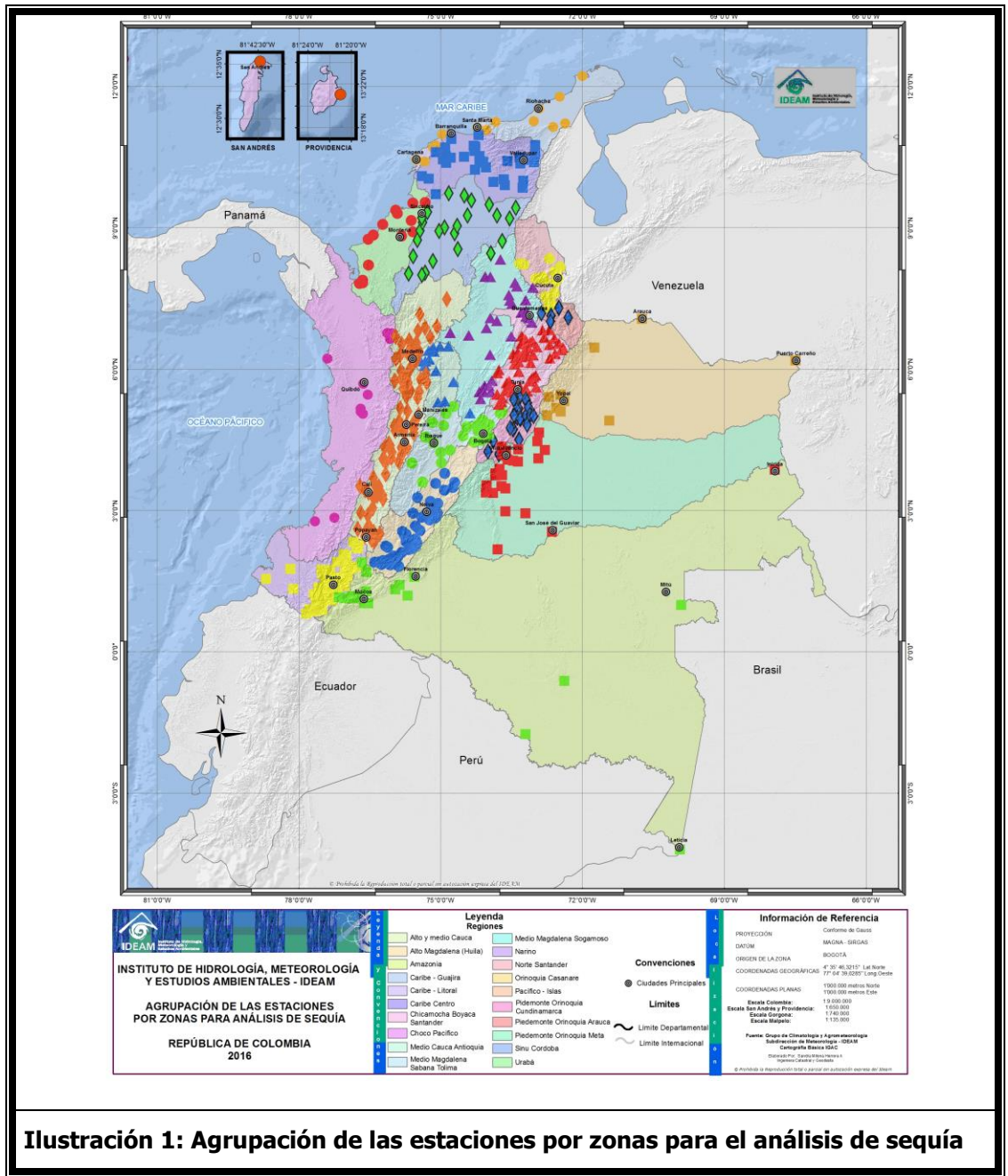


Ilustración 1: Agrupación de las estaciones por zonas para el análisis de sequía

Una vez clasificadas las estaciones, se procedió a identificar los períodos en los cuales una situación de sequía predominaba en toda la región, es decir en el mayor número de estaciones ubicadas en las zonas diferenciadas, siendo el total de estaciones el 100%. El cálculo obtenido para la totalidad de las zonas puede ser consultado en la (Tabla 4-Anexo II-Memorias de Cálculo). A manera de ejemplo, se muestra a continuación el porcentaje

de área cubierto por sequía según el criterio establecido para cada una de las regiones identificadas y la fecha de ocurrencia.

Tabla 4: Relación de Eventos de Sequía por Zonas Geográficas – ANEXO II.

| RELACIÓN DE EVENTOS DE SEQUÍA POR CUENCA - 1981 - 1990 | | | | | | | |
|--|---------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|-------------|
| PORCENTAJE DE PUNTOS CON NIVELES DE SPI<-1 (NARANJA, MÁS DEL 30% ;ROJO, MÁS DEL 50%) | | | | | | | |
| | | CARIBE | LITORAL | CUENCA | ANTIOQUIA | CUENCA | ALTO |
| | URABA | CENTRO | CARIBE | SINU | CENTRO | CAUCA | MAGDALENA |
| 06/1981 | 0 | 2.941176471 | 0 | 0 | 0 | 5.952380952 | 6.976744186 |
| 07/1981 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.571428571 | 6.976744186 |
| 08/1981 | 0 | 2.941176471 | 0 | 0 | 0 | 2.380952381 | 6.976744186 |
| 09/1981 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.19047619 | 4.651162791 |
| 10/1981 | 5.55556 | 2.941176471 | 7.142857143 | 0 | 0 | 2.380952381 | 4.651162791 |
| 11/1981 | 5.55556 | 2.941176471 | 0 | 0 | 0 | 4.761904762 | 4.651162791 |
| 12/1981 | 0 | 0 | 0 | 4 | 7.142857143 | 8.333333333 | 2.325581395 |
| 01/1982 | 0 | 0 | 0 | 4 | 7.142857143 | 5.952380952 | 0 |

A pesar de que la sequía es un fenómeno de macro escala que tiende a dominar amplias regiones, es sabido también que en cualquier momento, por diferentes razones, un municipio aislado puede verse afectado por situaciones de insuficiencia de lluvia, sin que ello signifique que una situación de sequía desastrosa pueda estar afectando las vecindades. Es por ello que para el estudio se han seleccionado sequías de una razonable extensión territorial, con el fin de eliminar eventuales casos puramente locales, que podrían ser incluso, producto de información errada.

Para tal efecto se tomó como indicador el porcentaje que representa el número de puntos afectados simultáneamente en un periodo similar, con relación al total de la región, que alcanzaron el nivel de sequía establecido, es decir que el indicador otorga la categoría a cada evento, de acuerdo con la clasificación relacionada en la tabla 5.

Los casos de moderada y gran incidencia se tomaron como base para establecer los periodos donde se estableció la sequía en una región representativa y extensa a lo largo del país, para luego hacer los mapas nacionales para dichos periodos. Los casos de ligera incidencia (SLI), no se han considerado para el estudio.

Tabla 5: Incidencia Territorial de la Sequía, SPI6<=(-1)

| Incidencia Territorial | Característica |
|---|--|
| Sequía de ligera incidencia territorial (SLI) | cuando menos del 30% de los puntos ha alcanzado el nivel de sequía establecido |
| Sequía de moderada incidencia territorial (SMI) | cuando 30% o más de los puntos ha alcanzado el nivel de sequía establecida |
| Sequía de gran incidencia territorial (SGI) | cuando un 50 % o más de los puntos ha alcanzado el nivel de sequía establecida |

Una vez obtenidos los mapas, se aplicó el criterio de clasificación del SPI para identificar la intensidad de la sequía, que está en función de las desviaciones estándar encontradas, como se describe en la tabla 6-(Ilustraciones 2-10).

Tabla 6: Clasificación del SPI por Categorías

| VALOR DEL SPI(6) | CATEGORÍA |
|-------------------------|--------------------------------------|
| 2.0 o mayor | Extremadamente húmedo |
| 1.5 a 1.99 | Muy húmedo |
| 1.00 a 1.49 | Moderadamente húmedo |
| 0 a 0.99 | Ligeramente húmedo |
| 0 a -0.99 | Ligeramente seco |
| -1.0 a -1.49 | Moderadamente seco (Sequía moderada) |
| -1.5 a -1.99 | Muy seco (Sequía severa) |
| -2.0 o menor | Extremadamente seco (Sequía extrema) |

Para calcular el periodo de retorno, se hicieron varios análisis. Inicialmente se calculó el número de eventos y el respectivo periodo de retorno para todas las estaciones, teniendo en cuenta el criterio de que un evento se cuenta como sequía, si se ha presentado durante por lo menos tres meses consecutivos con un valor igual o inferior a -1,0, para las escalas de tiempo 3, 6 y 12 meses; el número de eventos y su correspondiente periodo de retorno para el SPI(6) se agrupó por zonas y se obtuvo un mapa regional.

Otro de los análisis fue por semestre, se tomó el valor del SPI(6) para los meses de junio a diciembre, como indicadores de la sequía semestral; con la serie se hizo el cálculo del periodo de retorno y se obtuvieron los mapas de ocurrencia de sequía (Ilustración 12 y Tabla 7, ANEXO II-Memoria de Cálculo). A continuación se aprecia el cálculo del periodo de retorno de la sequía meteorológica para algunas de las estaciones, para el primer y segundo semestre.

Tabla 7: Período de Retorno Sequías Meteorológicas- ANEXO II

| CODIGO | NOMBRE | LONGITUD | LATITUD | PERIODO RETORNO | |
|----------|-------------------|--------------|-------------|-----------------|-------------|
| | | | | SEMESTRE I | SEMESTRE II |
| 11110010 | Normal Sta Teresa | -76.13361111 | 6.763333333 | 6.451612903 | 6.711409396 |
| 11110020 | Abriaqui | -76.075 | 6.6425 | 8.695652174 | 8.928571429 |
| 11115020 | Canasgordas | -76.02972222 | 6.758055556 | 7.042253521 | 7.633587786 |
| 12010070 | Casco El | -76.64777778 | 7.884444444 | 5.952380952 | 7.751937984 |
| 12010120 | Sta Martha | -76.64722222 | 7.883611111 | 9.615384615 | 7.194244604 |
| 12015020 | Uniban | -76.65138889 | 7.826111111 | 7.936507937 | 8.333333333 |
| 12015070 | Apto Los Cedros | -76.71783333 | 7.816666667 | 8.547008547 | 6.451612903 |
| 12030010 | San Juan de Uraba | -76.53330556 | 8.755222222 | 5.649717514 | 7.246376812 |
| 12045010 | Arboletes | -76.42272222 | 8.846638889 | 6.211180124 | 5.347593583 |
| 12045020 | Cristo Rey | -76.2255 | 9.072166667 | 5.882352941 | 7.575757576 |
| 13075010 | Chima | -75.62208333 | 9.15075 | 8.333333333 | 8.695652174 |

3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.2.1 Inventario de eventos

Las sequías de mayor efecto territorial que se han registrado durante el periodo analizado 1981 – 2015, han sido las que cubrieron amplios territorios de las zonas Caribe y Andina, las de mayor población y producción agrícola. En segundo nivel de importancia estarían

las sequías menos severas, con menor cubrimiento territorial y de corta duración. (Tabla 8).

Tabla 8: Eventos de Sequías Meteorológicas (1981-2016)

| CATEGORÍAS | PERIODOS | | | | | | |
|-----------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|------|
| | Sequías Severas y extremas | 1985 | 1988 | 1991-1992 | 1997-1998 | 2001 | 2009 |
| Sequías menos severas | 1982-1983 | 1986-1987 | 2002-2003 | | | | |

3.2.1.1. Sequías Severas y extremas

- **Sequía 1985:** Se registró prácticamente en casi todo el país, fue severa y en amplios sectores de los departamentos del sur de Bolívar, Cesar, Antioquia, Santander y Tolima, así como en la Orinoquia y la Amazonia, incluso, su intensidad fue extrema. Aunque fue de gran extensión y con intensidad fuerte, se disipó para el segundo semestre del año (Ilustración. 2).

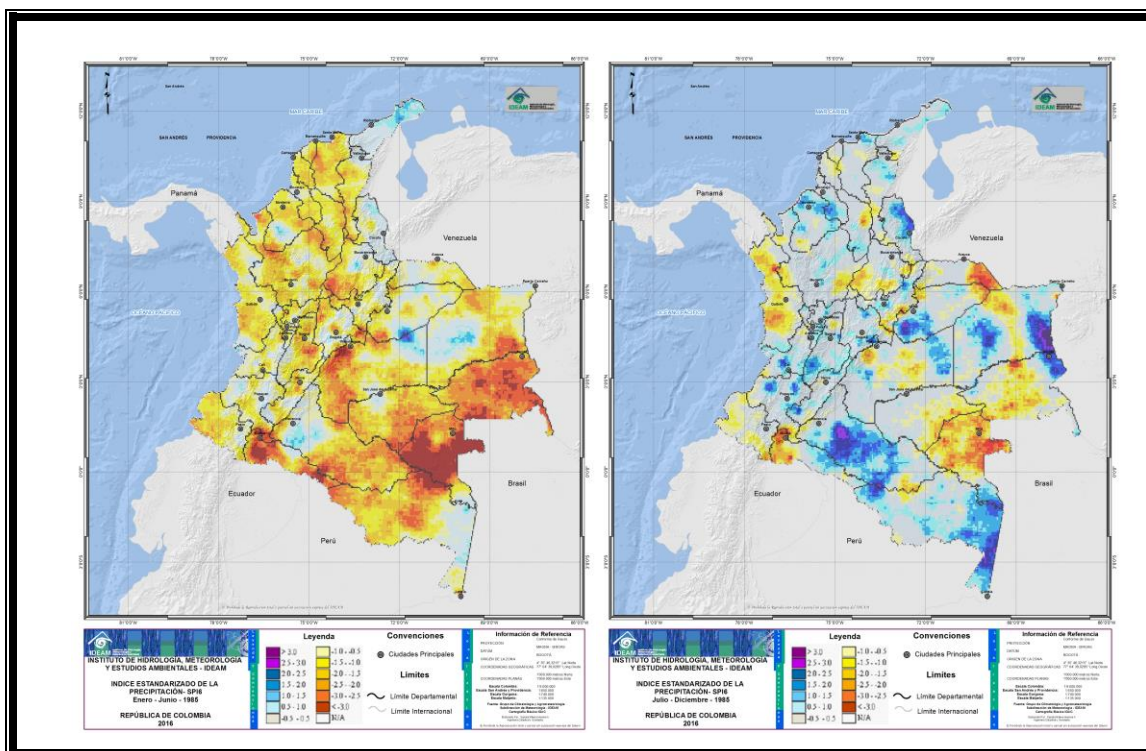


Ilustración 2: Índice Estandarizado de Precipitación 1985

- **Sequía 1988:** Presente en buena parte del país, con excepción de la región Caribe. Incidencia importante e intensidad extrema en la Orinoquia y norte de la Amazonia, mientras en la región Andina fue de intensidad moderada (Ilustración. 3)

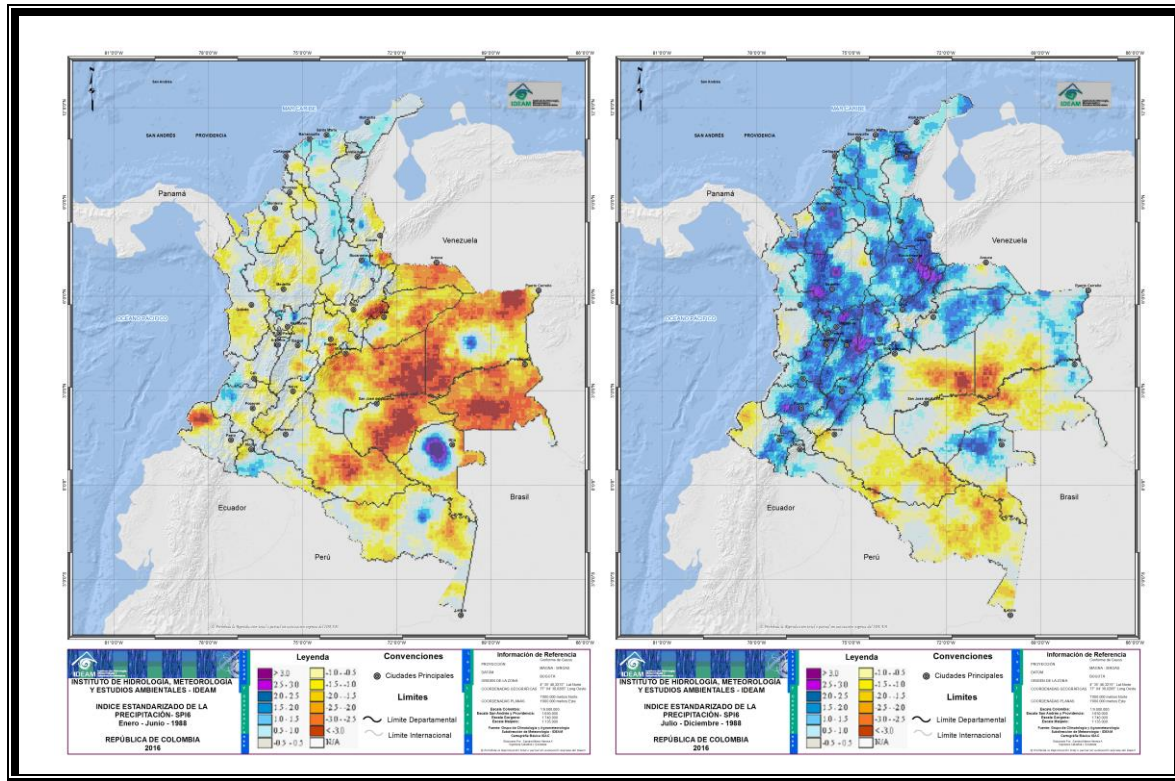


Ilustración 3: Índice Estandarizado de Precipitación 1988

- **Sequía 1991-1992:** Una de las más importantes e intensas sequías en la historia del país, combinando su intensidad y duración. A partir del primer semestre de 1991, comenzó a incidir en las regiones Caribe y centro y norte de la Andina. El periodo más intenso sobre el centro y sur del país se presentó durante el primer semestre de 1992, en la mayor parte de los departamentos de la Región Andina, alcanzando valores extremos en Huila, Cundinamarca, Nariño, Santander y Antioquia (Ilustración. 4).

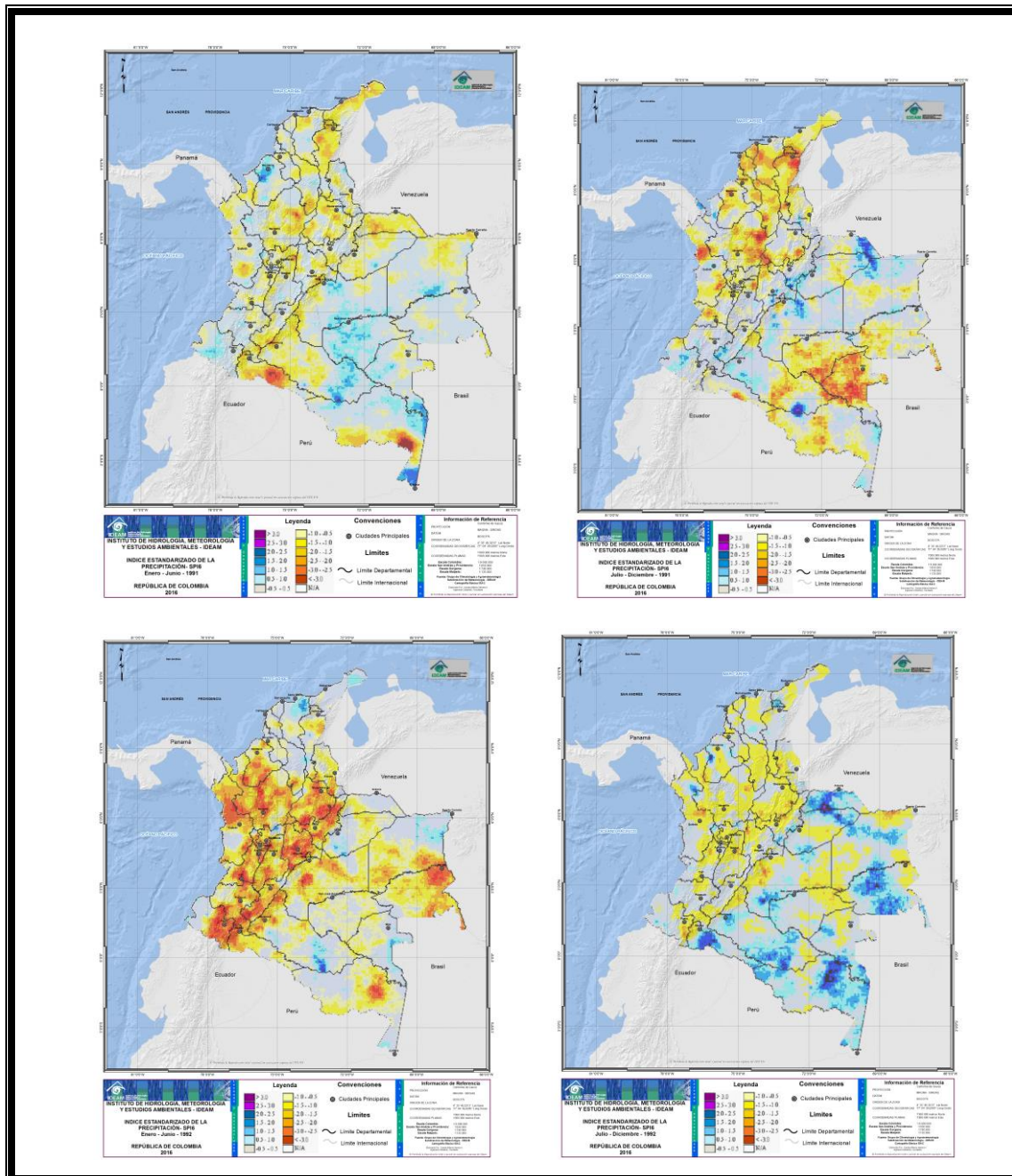


Ilustración 4: Índice Estandarizado de Precipitación 1991 y 1992

- **Sequía 1997-1998:** Aunque fue un poco más corta en su duración que la anterior, se extendió prácticamente a todo el país, con una intensidad extrema durante el segundo semestre de 1997. Al oriente del país su efecto fue muy local durante el segundo semestre de 1998 (Ilustración. 5).

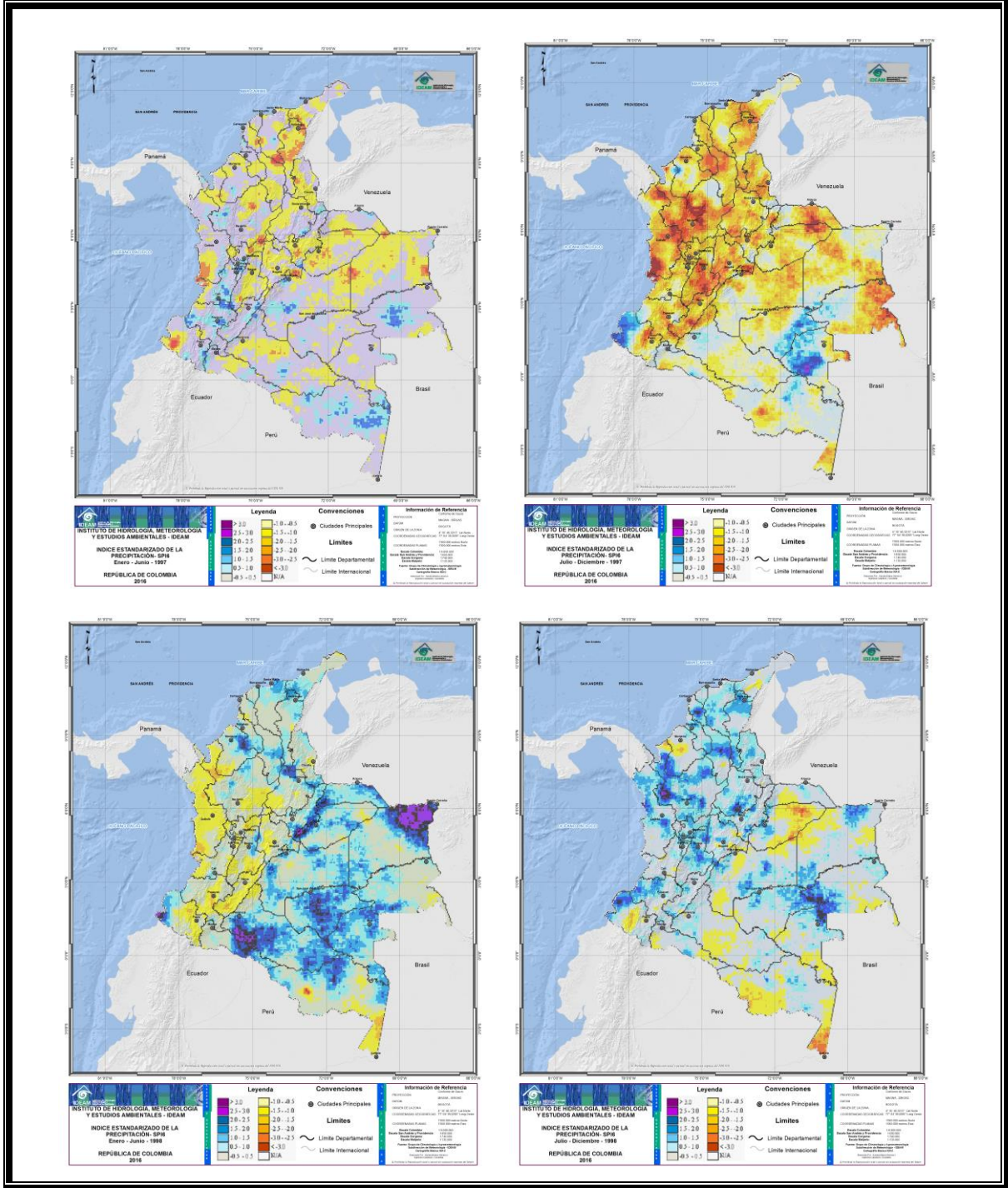


Ilustración 5: Índice Estandarizado de Precipitación 1997 y 1998

- **Sequía 2001:** Prácticamente no se detectó en la Amazonia y en el Chocó. Fue una de las más importantes sequías presentadas en Nariño ya que el periodo seco se extendió hasta el primer semestre de 2003. Tuvo alta incidencia sobre el centro y sur de las regiones Andina y Caribe y en el piedemonte de la cordillera oriental. (Ilustración. 6).

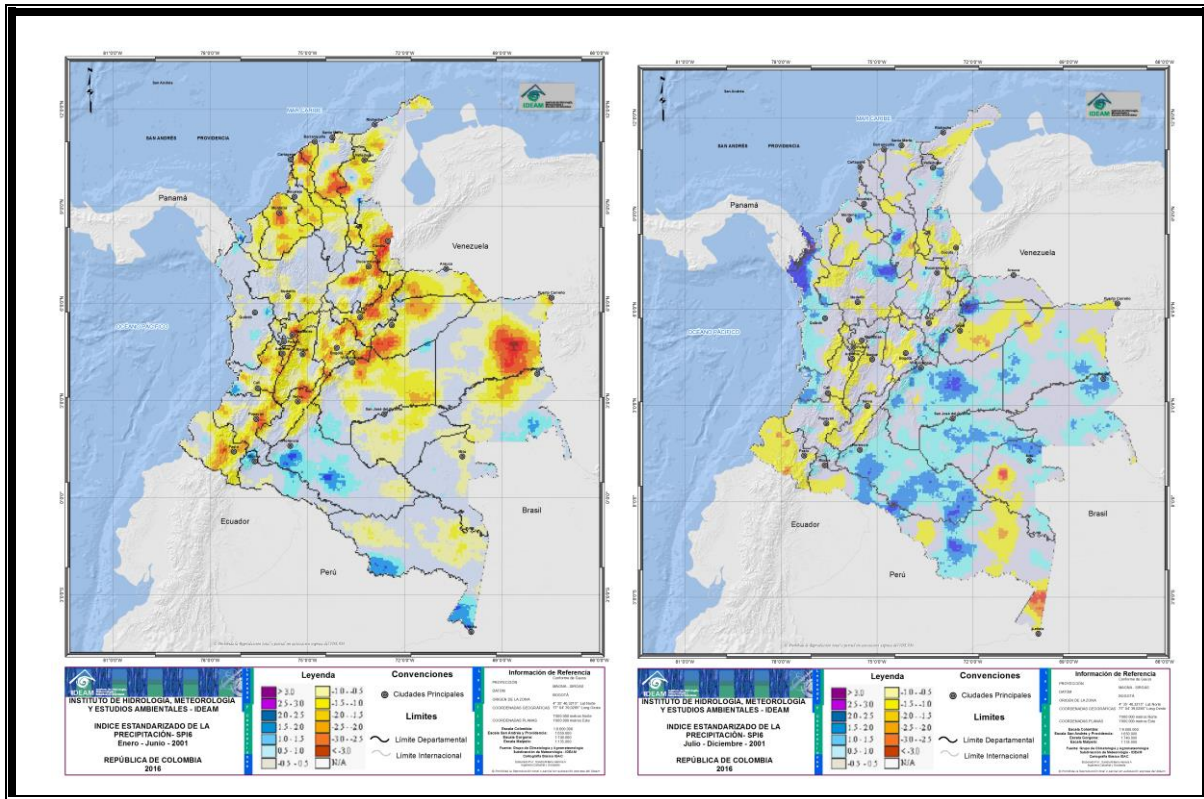


Ilustración 6: Índice Estandarizado de Precipitación 2001

- **Sequía 2009:** Tuvo presencia en la mayor parte del país durante el segundo semestre de 2009, con intensidad severa sobre Antioquia, Santander, Norte de Santander, Boyacá, Valle y Tolima. La sequía del segundo semestre de 2010, solo afectó las precipitaciones presentes en la Amazonia (Ilustración.7).

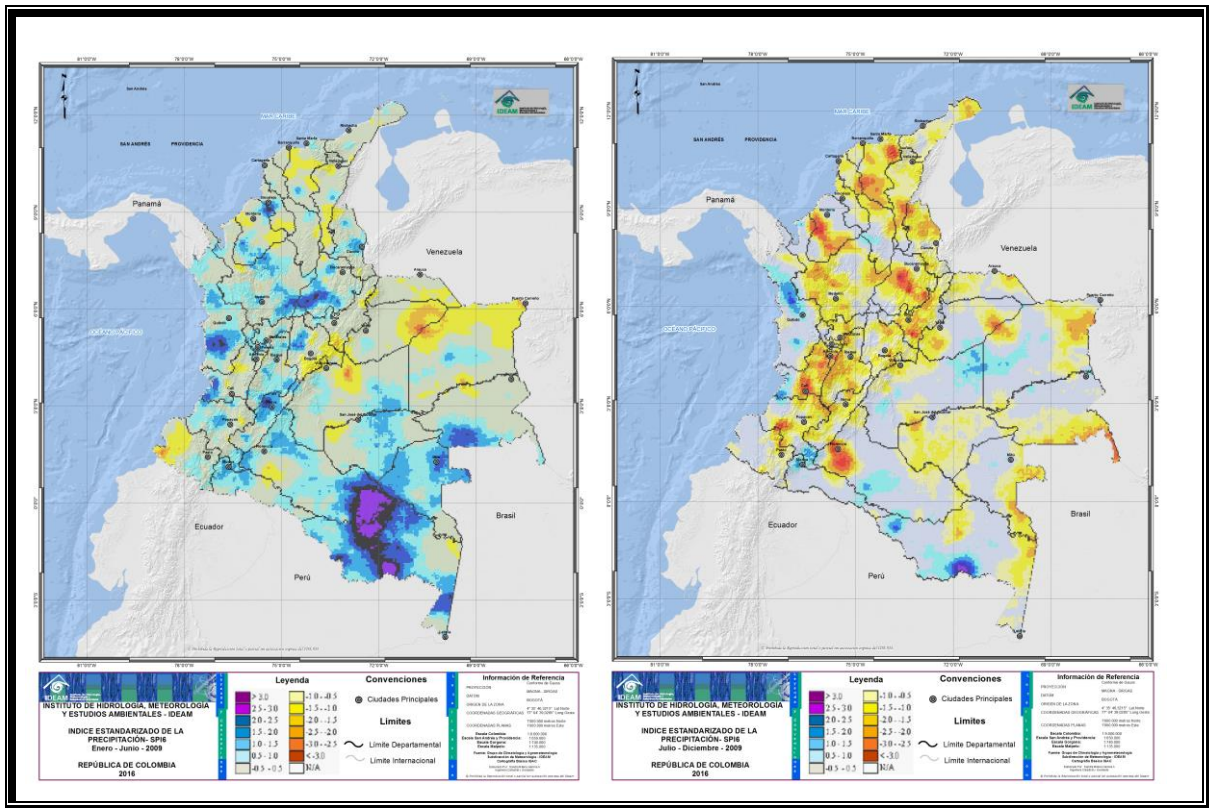


Ilustración 7: Índice Estandarizado de Precipitación 2009

- **Sequía 2015-2016:** Junto con la del 92, ha sido una de las sequías más prolongadas y de mayor incidencia territorial de la historia, dominando la mayor parte de los territorios de las regiones Caribe y Andina, con intensidad severa. Comenzó en el primer semestre de 2015 en áreas de la Región Caribe, extendiéndose a la Región Andina, alcanzando su mayor intensidad durante el segundo semestre, en importantes regiones agrícolas de los Altiplanos Cundiboyacenses y nariñense, y sobre el Alto y Medio Magdalena y Cauca (Ilustración 8).

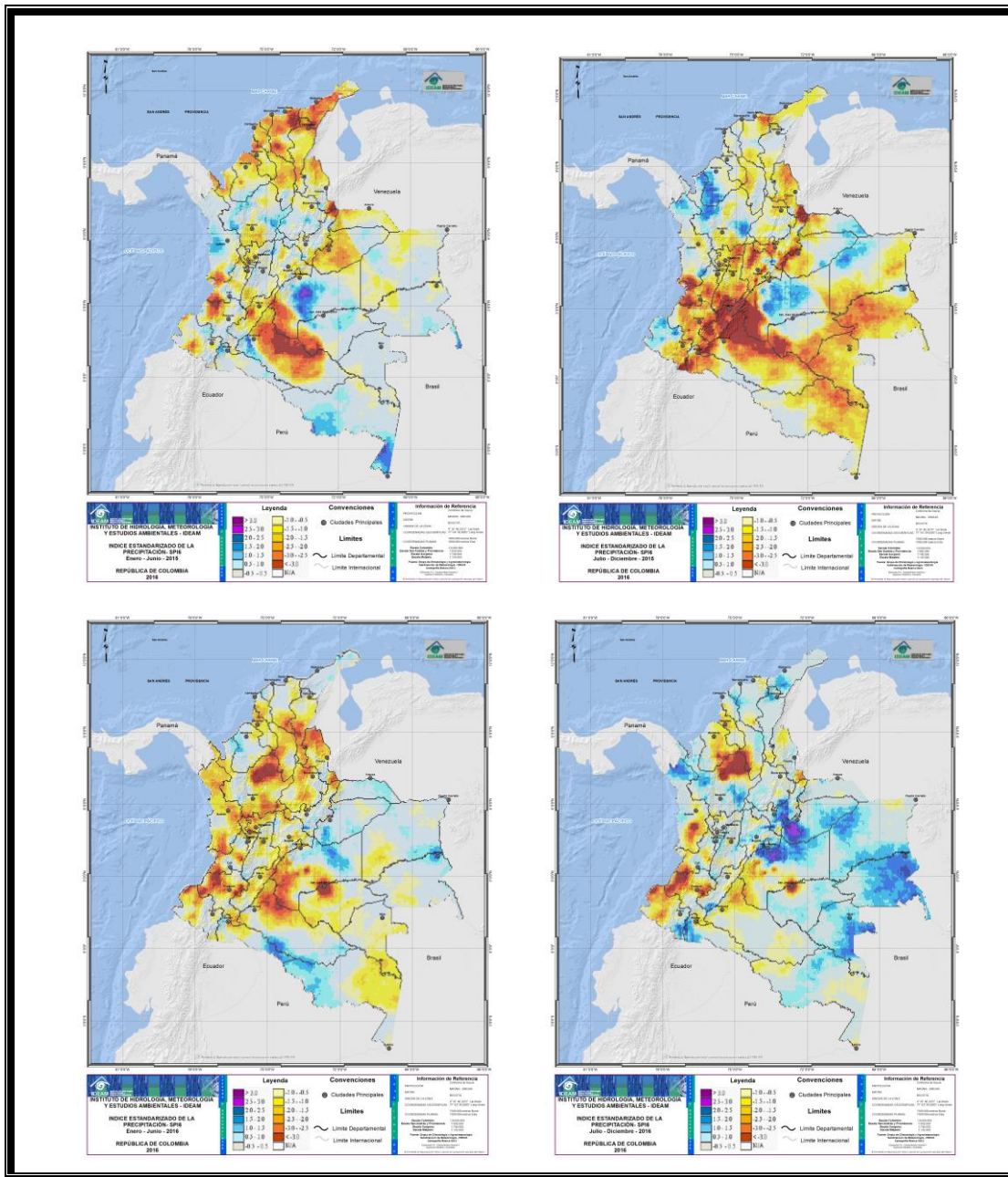
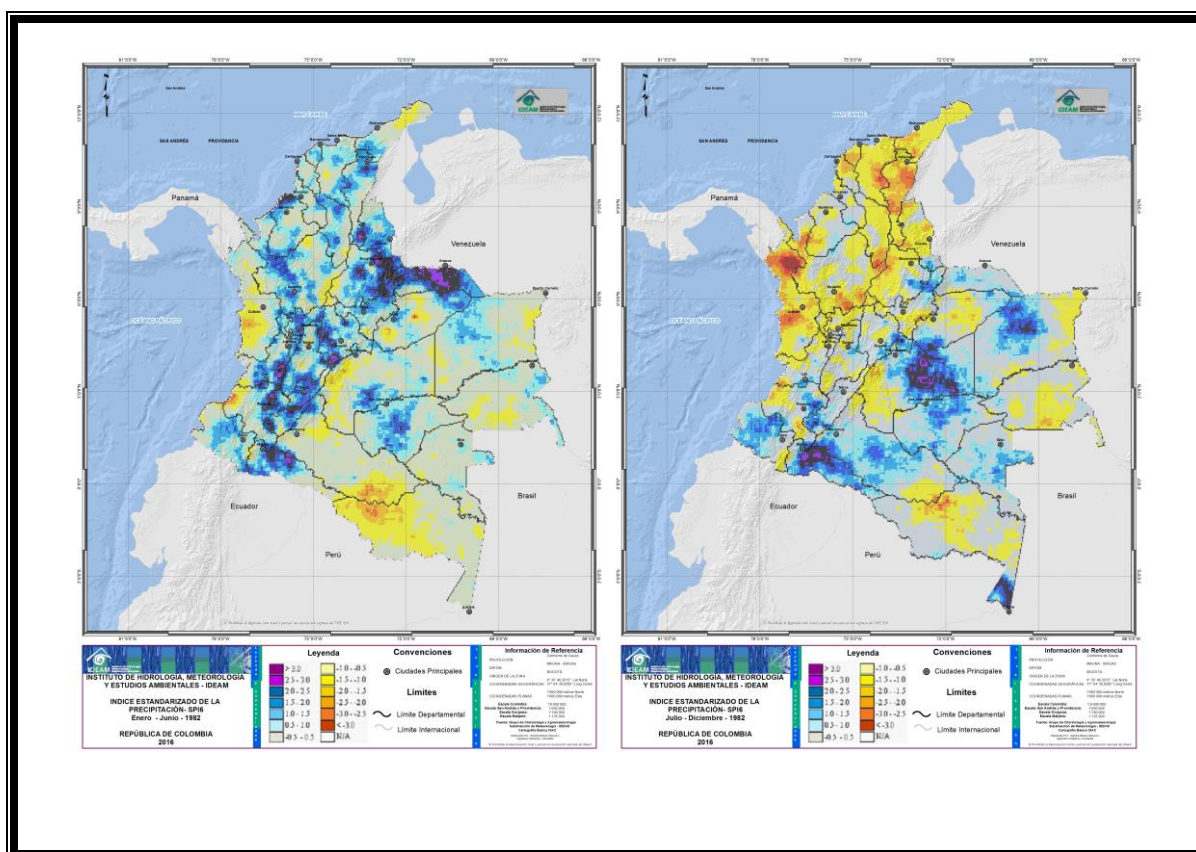


Ilustración 8: Índice Estandarizado de Precipitación 2015 y 2016

3.2.1.2. Sequías menos severas.

- **Sequía 1982-1983:** De acuerdo con la Ilustración 9, el periodo más intenso de la sequía fue el segundo semestre de 1982 y afectó moderadamente el norte y centro de la región Caribe, el litoral y la parte nororiental de Antioquia, sur de Bolívar, Santander y Norte de Santander. Paralelamente y de acuerdo con la información recopilada, en la Región Pacífica ha sido una de las sequías más severas. Durante el primer semestre de 1983, tuvo mayor incidencia territorial en las regiones Orinoquia y Amazonia.



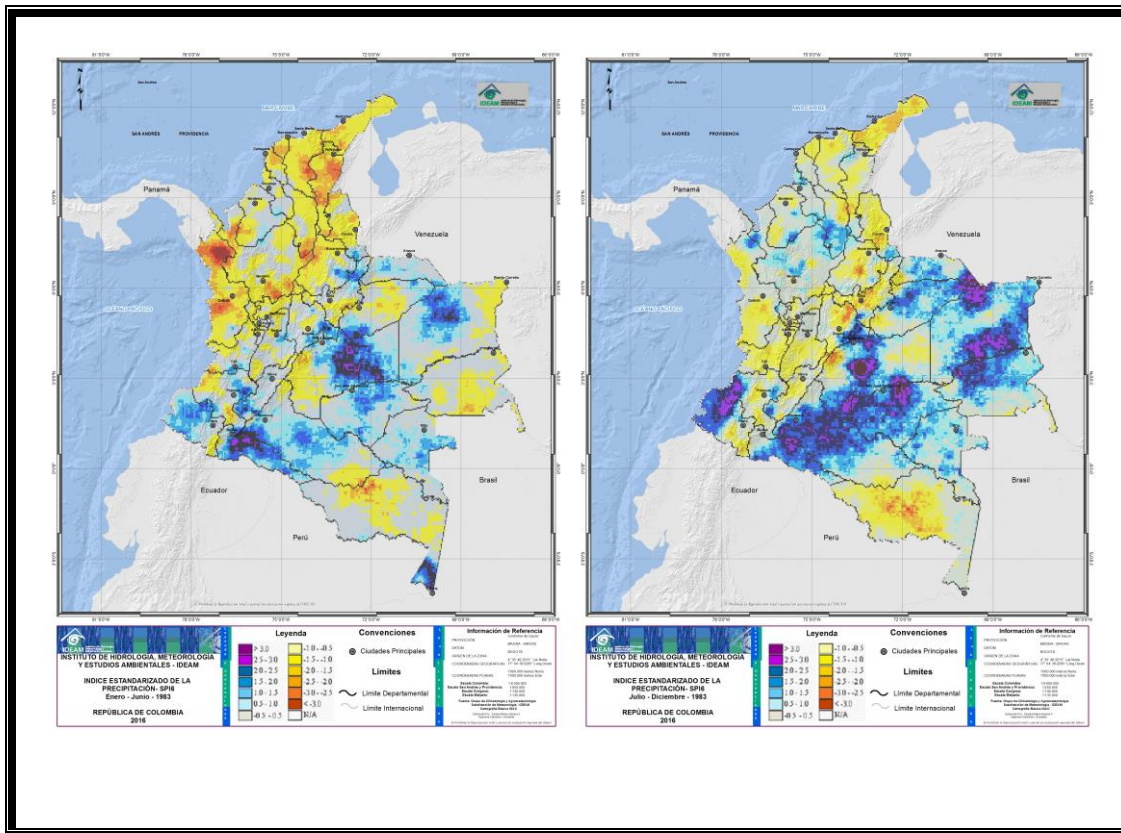


Ilustración 9: Índice Estandarizado de Precipitación 1982 y 1983

- **Sequía 1986-1987:** Tuvo incidencia sobre Urabá, Chocó, la cuenca del Sinú y durante el primer semestre del 87, se extendió a buena parte de la Región Andina (Ilustración 10).

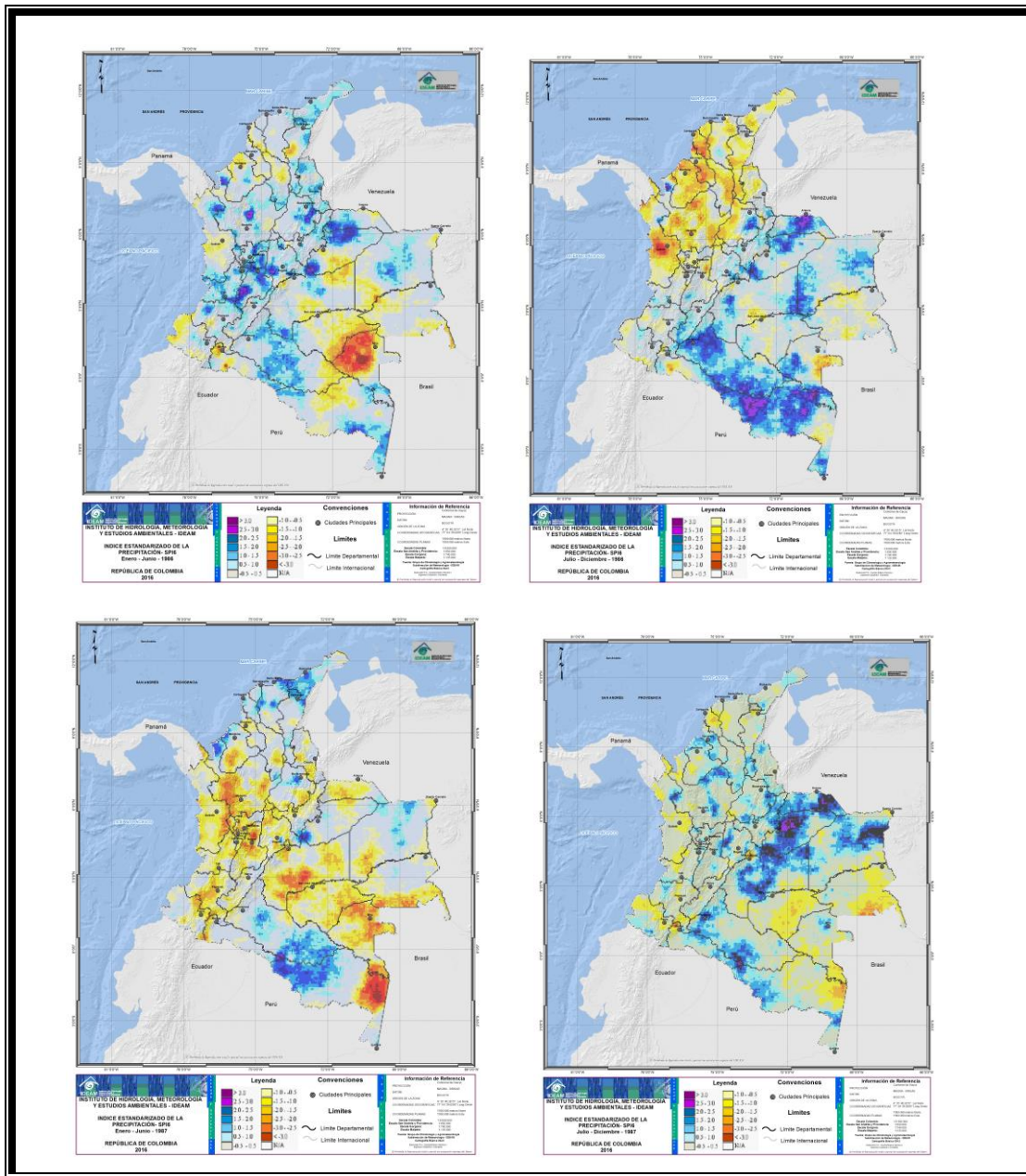


Ilustración 10: Índice Estandarizado de Precipitación 1986 y 1987

- **Sequía 2002-2003:** Tuvo su mayor incidencia durante el segundo semestre de 2002 y se extendió hasta abril de 2003, de intensidad moderada en ese semestre. (Ilustración 11).

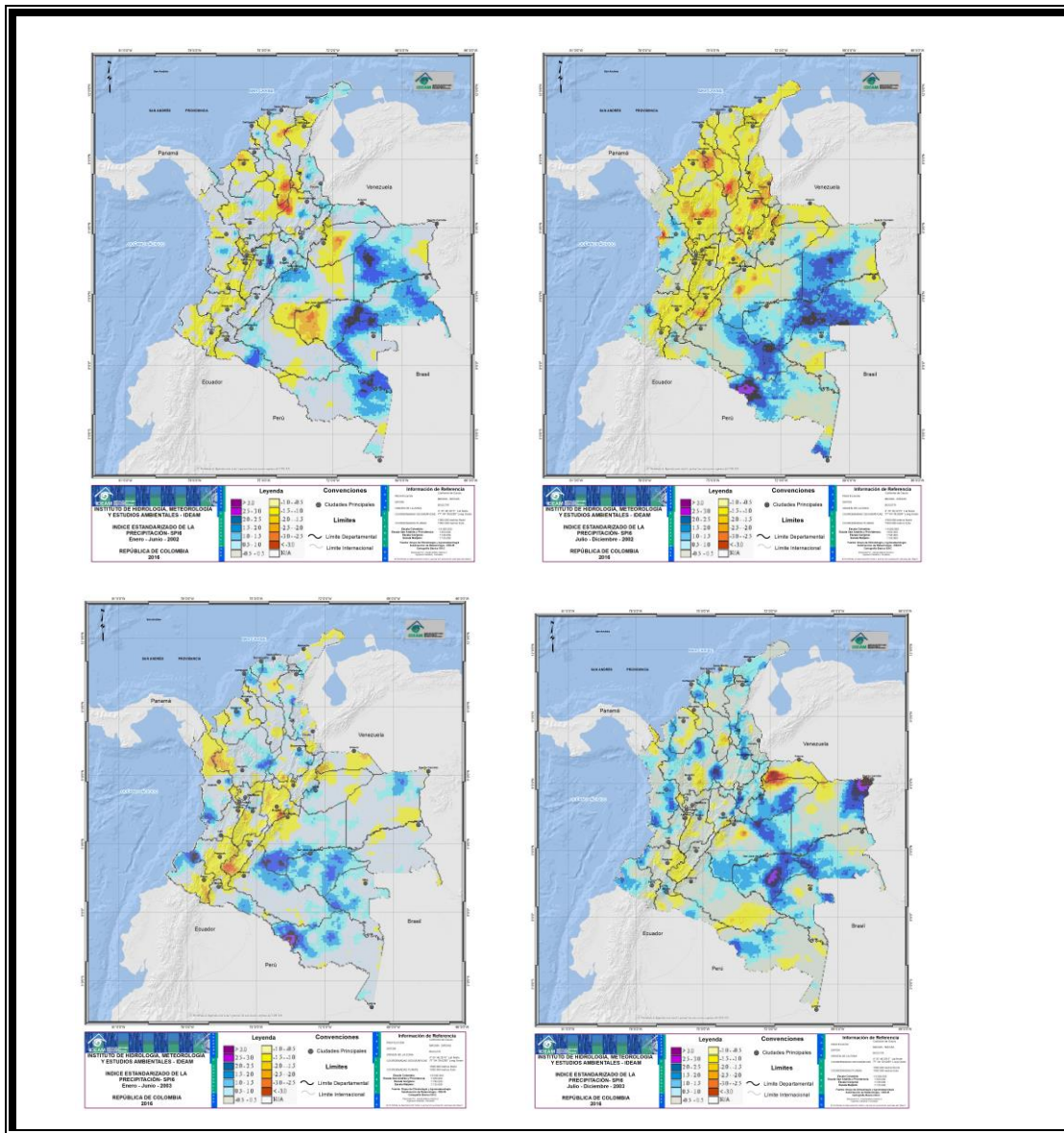


Ilustración 11: Índice Estandarizado de Precipitación 2002 y 2003

3.2.2. Periodos de Retorno de la Sequía Meteorológica

En la Ilustración 12, aparece el período de retorno de la sequía meteorológica, mostrando una gran variabilidad espacial en la mayor parte del país. En términos generales, cada 4 a 8 años, en buena parte de las zonas agrícolas puede presentarse al menos un semestre afectado por una sequía extrema.

❖ Región Caribe

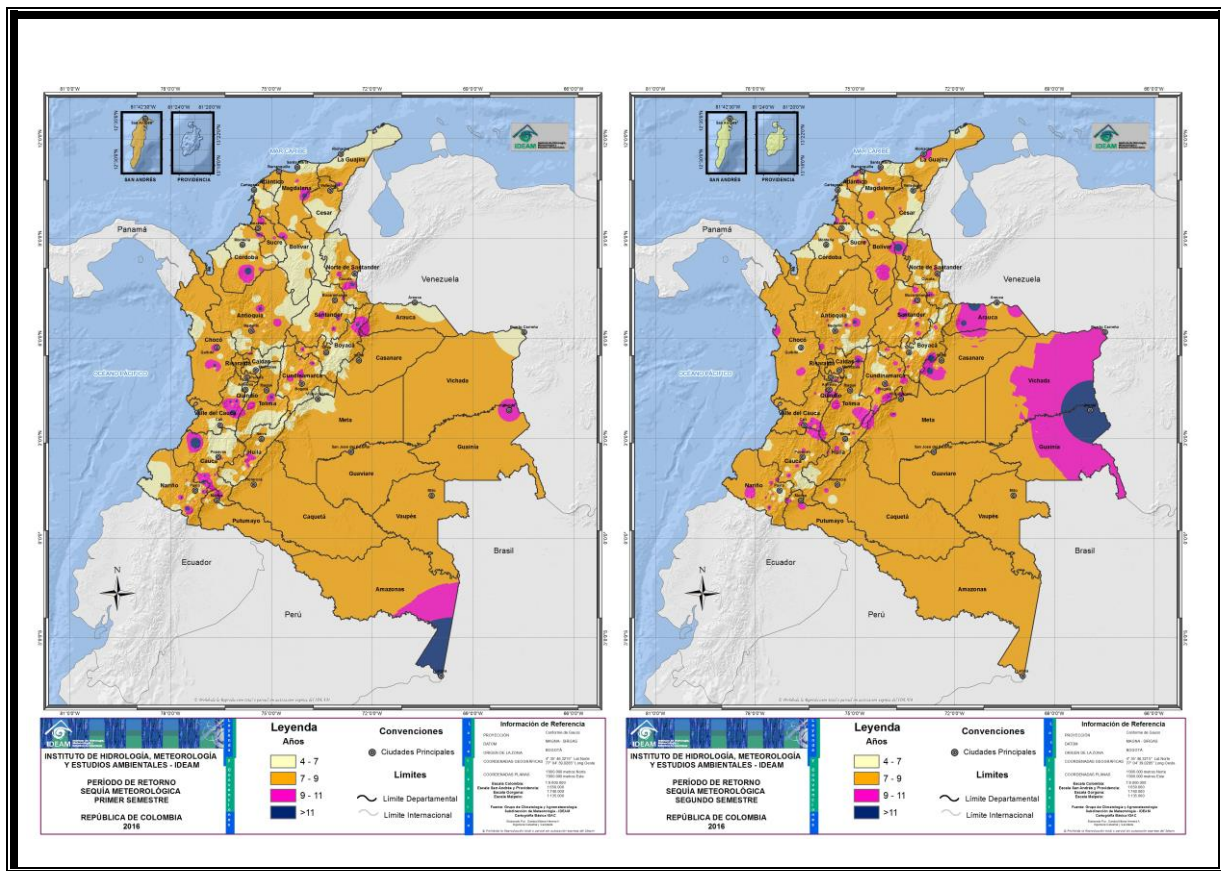
El Caribe se caracteriza por presentar precipitaciones bajas en el primer semestre, lo cual genera sequías estacionales todos los años, desde enero a abril.

Durante el primer semestre, las sequías meteorológicas son más frecuentes en sectores del centro y sur de la franja litoral, Guajira, y sur de Cesar y Bolívar.

En el segundo semestre las zonas mayormente afectadas por sequías son el extremo sur del litoral Caribe en Urabá y Córdoba, y el sur de Cesar. Durante este semestre, la zona central de la región se caracteriza por presentar sequías menos frecuentes.

❖ Región Andina

La región Andina está caracterizada por su posición intertropical y las variaciones de altura principalmente, factores que influyen en la distribución de las lluvias a lo largo y ancho de su territorio y es en ella, donde se desarrolla gran parte de la actividad agrícola de Colombia. En la mayor parte de esta región existen dos períodos con sequía estacional: enero – febrero y junio – julio.



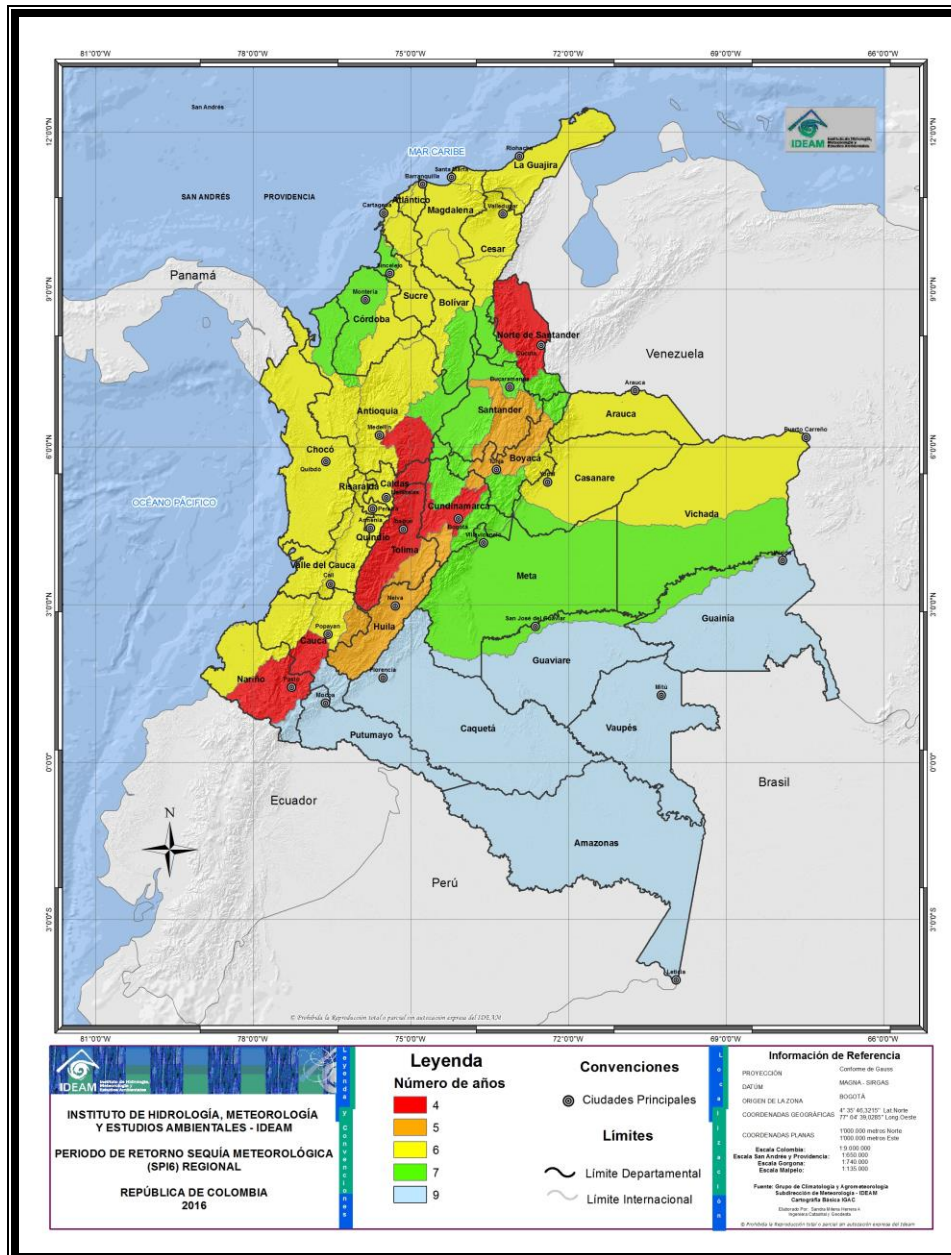


Ilustración 12: Período de retorno sequía meteorológica (Primer y segundo semestre) arriba y Regional (abajo). Se aclara que los mapas se elaboraron con 500 estaciones (Ver ilustración 1 y listado de estaciones-tabla 1) y que el cálculo es puntual, aunque se interpoló y se generalizó el valor para la totalidad del polígono, pero los cálculos aplican únicamente para las coordenadas donde se ubica la estación.

Durante el primer semestre, la mayor parte de la zona presenta sequía meteorológica en promedio cada 7 u 8 años. En sectores aislados de Caldas y norte del Cauca, los eventos son ligeramente más frecuentes.

Durante el segundo semestre las mayores recurrencias (cada 7-8 años), se presentan en Norte de Santander, sur de Antioquia, Huila y la montaña nariñense. La menor frecuencia de sequía (más de 8 años), sucede en núcleos aislados del Eje Cafetero, Santander, Cundinamarca, Tolima y Valle.

❖ **Región Pacífica**

Esta es una de las regiones con más altas precipitaciones en el mundo, razón por la cual la sequía debe ser entendida como una disminución de las lluvias con respecto a las normalmente observadas, pero no como una situación que pueda afectar en forma seria la disponibilidad hídrica para usos agrícolas o domésticos. Una de las razones para que se registren altas precipitaciones en esta región es la velocidad y la dirección del flujo de aire con respecto a las laderas de la cordillera occidental.

No se aprecia mayor diferencia entre el patrón de recurrencia del primer y segundo semestre. En ambos, el periodo de retorno de una reducción excesiva de las lluvias es de 7 a 8 años en promedio, con una frecuencia menor en el litoral del Cauca.

❖ **Amazonia**

La temporada de menos lluvias hacia la región del trapecio amazónico es opuesta a la presentada en el resto del país; ocurre hacia mitad de año, mientras que los demás meses son de lluvias relativamente altas.

Aunque la información es escasa en vastas zonas de la Amazonia, el patrón predominante es de una recurrencia de 7 a 8 años, siendo en el trapecio amazónico la frecuencia mayor de 8 años, durante el primer semestre.

4.0 SEQUÍA AGRÍCOLA

En la dinámica de la sequía agrícola, el suelo juega un papel principal como regulador del agua que ingresa por precipitación y sale por evapotranspiración, cuya diferencia proporciona las variaciones de almacenamiento en el suelo, especialmente en la capa agrícola que es la que está directamente en contacto con las raíces de la planta; esta diferencia es la que ocasiona desabastecimiento en el sistema hídrico, generando la sequía agrícola, que hace referencia a la falta de disponibilidad de agua en el suelo para mantener el desarrollo de los cultivos, pastizales y ganado.

4.1 METODOLOGÍA

La espacialización de los periodos de retorno de ocurrencia de la sequía agrícola se trabajó a escala trimestral, dado que las aplicaciones agrícolas exigen un mayor grado de

detalle. Para tal fin, se calcularon balances hídricos climáticos, para cada una de las estaciones para las cuales se tenía información de evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o), ya fuera directa o estimada. Los balances fueron calculados para periodos de diez días (escala decadal). Para obtener el índice de sequía agrícola, se optó por el valor de déficit de agua resultante del balance hídrico según la metodología de Palmer.

El balance considera dos capas en el suelo: la capa superficial, en la cual se almacenan o evaporan los primeros 20 mm de agua a una rata potencial; y la capa profunda en la cual se almacena o evapotranspira el agua restante a una rata proporcional, hasta la capacidad de almacenamiento del suelo. Siguiendo las pautas de la clasificación climática de Thorthwaite, se trabajó con una capacidad de almacenamiento de 100 mm, para todas las estaciones. El balance se calcula en forma secuencial para cada año de la serie histórica, utilizando como datos de entrada las lluvias decadales y una ETP decadal promedio.

Como resultado se obtiene una serie histórica de balances hídricos climáticos, cada uno con los siguientes datos:

- PREC: Precipitación (mm)
- ETP: Evapotranspiración Potencial (mm)
- ALMS: Almacenamiento Superficial
- ALMP: Almacenamiento Profundo
- ALMT: Almacenamiento Total
- ET: Evapotranspiración real
- ESC: Exceso
- DEF: Déficit
- R: Índice que relaciona la (ET/ETP)

De estos datos de salida, se extrajo el valor del déficit y de esta manera se obtuvo la serie histórica para cada estación. También se calcularon los balances hídricos climáticos (promedio) para 500 estaciones distribuidas a lo largo del país, los cuales pueden consultarse en la (Tabla 9. ANEXO II-Memorias de cálculo), a manera de ejemplo, en la siguiente tabla aparece el cálculo del balance de una estación meteorológica en Andágueda Chocó para la escala decadiaria en el periodo comprendido entre enero y abril.

Como indicador de la sequía agrícola se seleccionó el déficit de humedad decadal obtenido del balance calculado en el paso anterior. El rango del indicador consiste en el número de décadas con déficit de humedad mayor de 10 mm. Seguidamente se tomaron

periodos acumulados de 9 décadas (un trimestre), para realizar el conteo. Se eligieron periodos trimestrales móviles para el análisis.

Una vez realizado el conteo por trimestres, para toda la serie histórica, se procedió a identificar los años con sequía agrícola. Un año con sequía agrícola para un trimestre determinado es aquel en el cual se presentaron más de cuatro décadas con deficiencias hídricas mayores a 10 mm/década; de esta manera se generó una serie histórica de años con sequía agrícola.

Tabla 9: Balance Hídrico Climático Decadal, Estación La Vuelta (Andágueda-Chocó)-Periodo (1981-2015).

| CODIGO: 1101001 VUELTA LA ELEVACION: 100 LON: 63.2 LAT: 5.27 ALMACENAMIENTO TOTAL: 100 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|--|
| DISPONIBILIDAD DE AGUA EN LA CAPA AGRICOLA DEL SUELO | | | | | | | | | | | | | | |
| | | ENERO | | | | FEBRERO | | | MARZO | | | ABRIL | | |
| PREC | 215 | 171.1 | 205.9 | 176.9 | 197.8 | 164.8 | 187.5 | 176 | 231.4 | 223.6 | 231.9 | 266.4 | | |
| ETP | 37.5 | 38.5 | 42.4 | 38.7 | 38.8 | 30.2 | 36.6 | 35.6 | 37.9 | 33.2 | 32.1 | 31.7 | | |
| ALMS | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | | |
| ALMP | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | | |
| ALMT | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | | |
| ET | 37.5 | 38.5 | 42.4 | 38.7 | 38.8 | 30.2 | 36.6 | 35.6 | 37.9 | 33.2 | 32.1 | 31.7 | | |
| ESC | 177.5 | 132.6 | 163.5 | 138.2 | 159 | 134.6 | 150.9 | 140.4 | 193.5 | 190.4 | 199.8 | 234.7 | | |
| DEF | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| R | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | | |

Teniendo la serie histórica de sequías agrícolas, se calculó la probabilidad de ocurrencia de un año con sequía y a partir de la probabilidad se calculó el periodo de retorno, como el inverso de ésta. A continuación, se aprecia el cálculo del número de años de periodo de retorno de ocurrencia de sequía agrícola para algunas de las estaciones analizadas para los trimestres móviles de enero a marzo, abril a junio y julio a septiembre; el cálculo para las demás estaciones por trimestre, se puede consultar en la tabla 10-Anexo II-Memoria de cálculo.

Tabla 10: Probabilidad y Período de Retorno Sequía Agrícola - ANEXO II

| CODIGO | NOMBRE_ESTAIÓN | REGIÓN | LONGITUD | LATITUD | MUNICIPIO | DEPARTAMENTO | ene-mar | abr-jun | jul-sep |
|----------|-------------------|--------|-----------|----------|-----------------|--------------|---------|---------|---------|
| 25025080 | Apto Rafael Barvo | 1 | 75.283056 | 9.333889 | Corozal | Sucre | 1 | 2 | 3 |
| 25025150 | Ayapel | 1 | 75.164500 | 8.295194 | Ayapel | Cordoba | 1 | 91 | 100 |
| 25025160 | Cuba Hda | 1 | 75.399583 | 8.001111 | Montelibano | Cordoba | 1 | 83 | 100 |
| 25025170 | Colomboy | 1 | 75.498833 | 8.740861 | Sahagun | Cordoba | 1 | 10 | 100 |
| 25025180 | San Benito Abad | 1 | 75.036389 | 8.935278 | San Benito Abad | Sucre | 1 | 10 | 100 |
| 25025190 | Planeta Rica | 1 | 75.583722 | 8.399333 | Planeta Rica | Cordoba | 1 | 38 | 100 |
| 25025240 | Majagual | 1 | 74.640278 | 8.546389 | Majagual | Sucre | 1 | 28 | 63 |
| 25025270 | Univ de Sucre | 1 | 75.402222 | 9.211667 | Sampues | Sucre | 1 | 100 | 100 |

De acuerdo con estas tablas, se interpolaron los datos por el método del inverso de la distancia y se obtuvieron mapas trimestrales, inicialmente partiendo de las temporadas secas y de mayores lluvias, que coinciden con las fechas de siembra, en el primer y segundo semestre, condición que los agricultores tienen establecida para sus prácticas agrícolas en los cultivos anuales, que en síntesis se denominan semestres agrícolas. Sin embargo, dado que pueden presentarse siembras en periodos distintos a lo largo del año, para complementar el análisis, se elaboraron los mapas del resto de trimestres móviles centrados en el mes analizado (Ilustraciones 13 a la 17).

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante el trimestre seco diciembre-febrero, gran parte del país presenta condiciones de sequía agrícola prácticamente todos los años. Esta sequía es denominada estacional, y la producción agrícola sin riego, no es posible durante estos periodos, debido a que tiene lugar cada año. Estas condiciones generalmente son conocidas por el agricultor, quien sabe cómo enfrentarlas, básicamente evitando el desarrollo de cultivos durante este periodo o bien, utilizando riego artificial. Las regiones en las cuales esta sequía es más frecuente (de 0 a 3 años), son la mayor parte de la región Caribe y Casanare, con excepción de algunos sectores del sur de Córdoba y Urabá; norte de Santander y el Oriente del país, en Arauca, Meta y parte de Vichada. También en Santanderes, altiplano cundiboyacense y el Valle del alto Magdalena. (Ilustración 13).

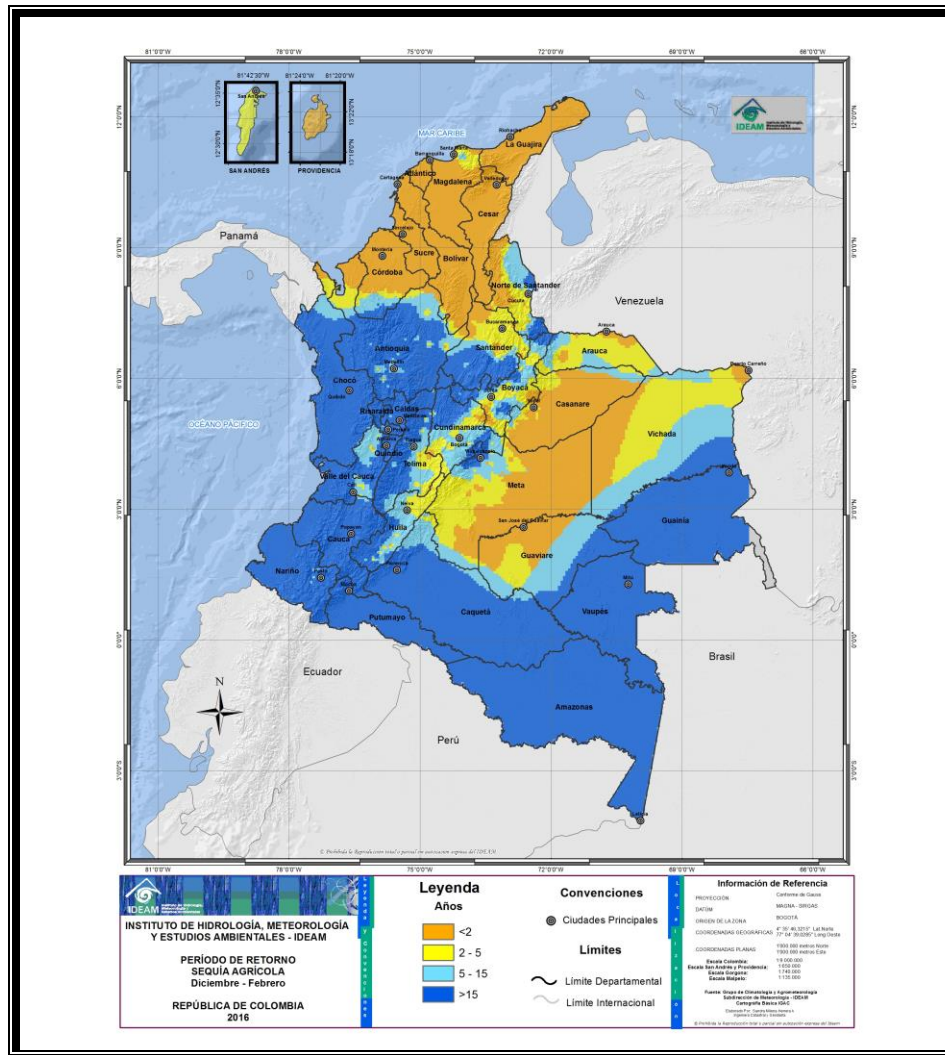


Ilustración 13: Período de Retorno de La Sequía Agrícola período (diciembre-febrero)

Durante el trimestre lluvioso (marzo-mayo) (Ilustración 14), en la mayor parte del país el riesgo es muy bajo, teniendo en cuenta que la situación de sequía se presenta con un periodo de retorno entre 10 y 50 años. Las únicas zonas con riesgo medio están ubicadas en la región Caribe (departamentos de Guajira, Cesar, Atlántico, Magdalena y norte y centro de Bolívar) y en la región del alto Magdalena (Huila y Tolima), así como el nororiente de la Orinoquia.

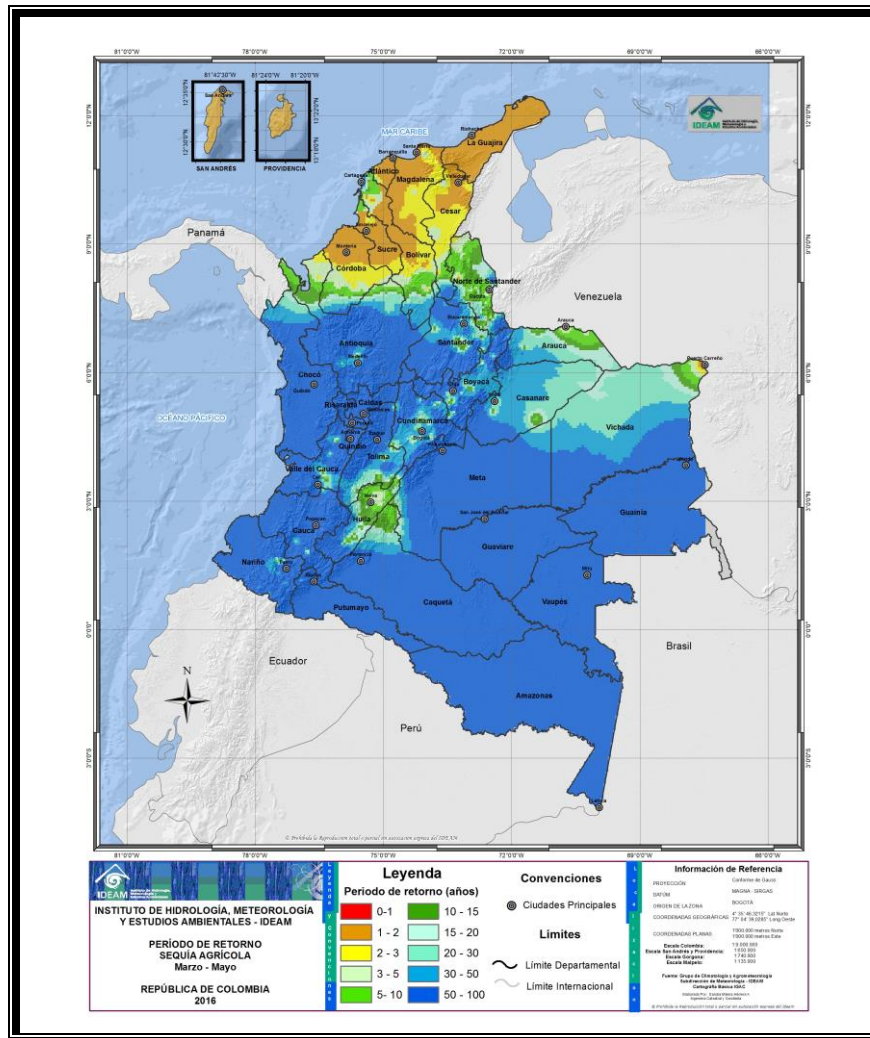


Ilustración 14: Período de Retorno de La Sequía Agrícola período (marzo-mayo)

En el segundo trimestre seco (junio-agosto) (Ilustración 15), las condiciones de riesgo alto se presentan en Guajira, Cesar, y sectores de Atlántico y litoral del Magdalena. En la región Andina, la mayor frecuencia de sequía se registra en Valle, altiplano cundiboyacense, Tolima, norte de Huila y montañas de Cauca y Nariño. En estas regiones la recurrencia de sequía intensa se encuentra entre 3 y 5 años en promedio.

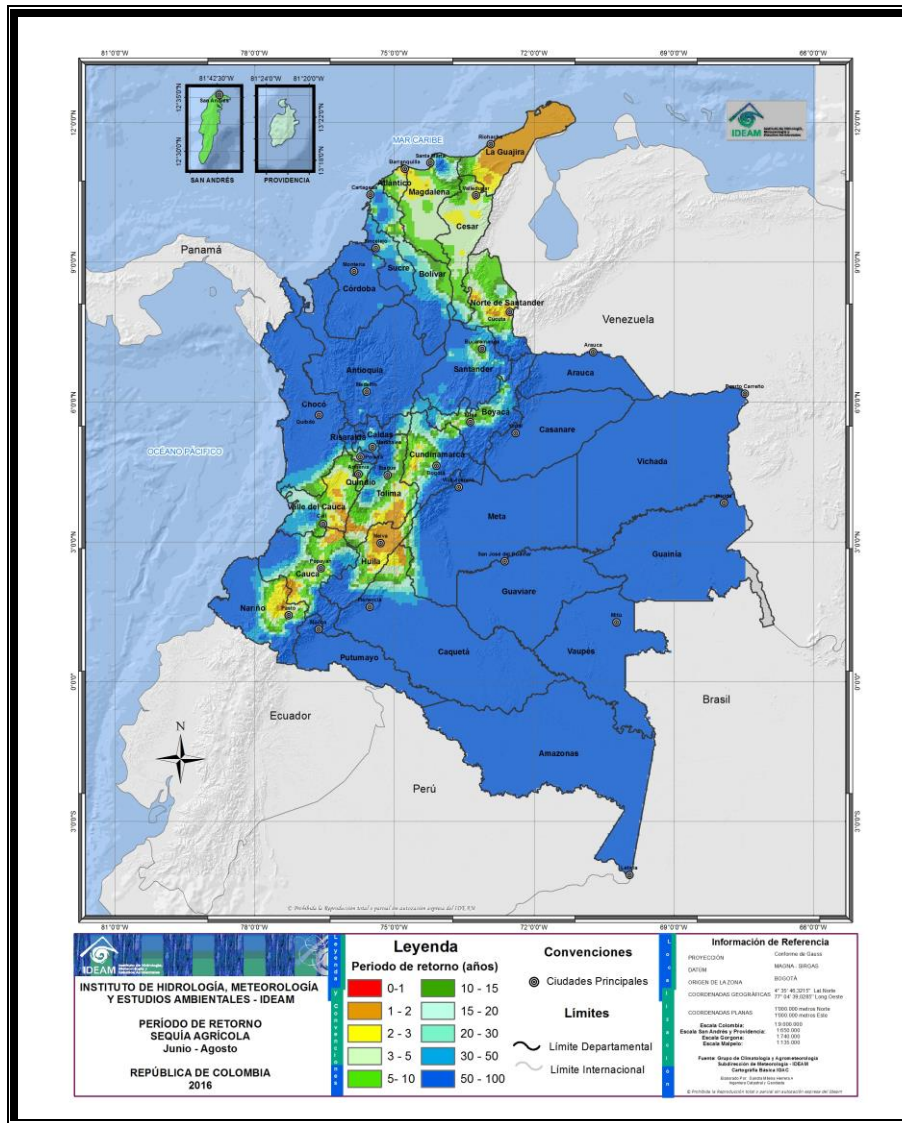
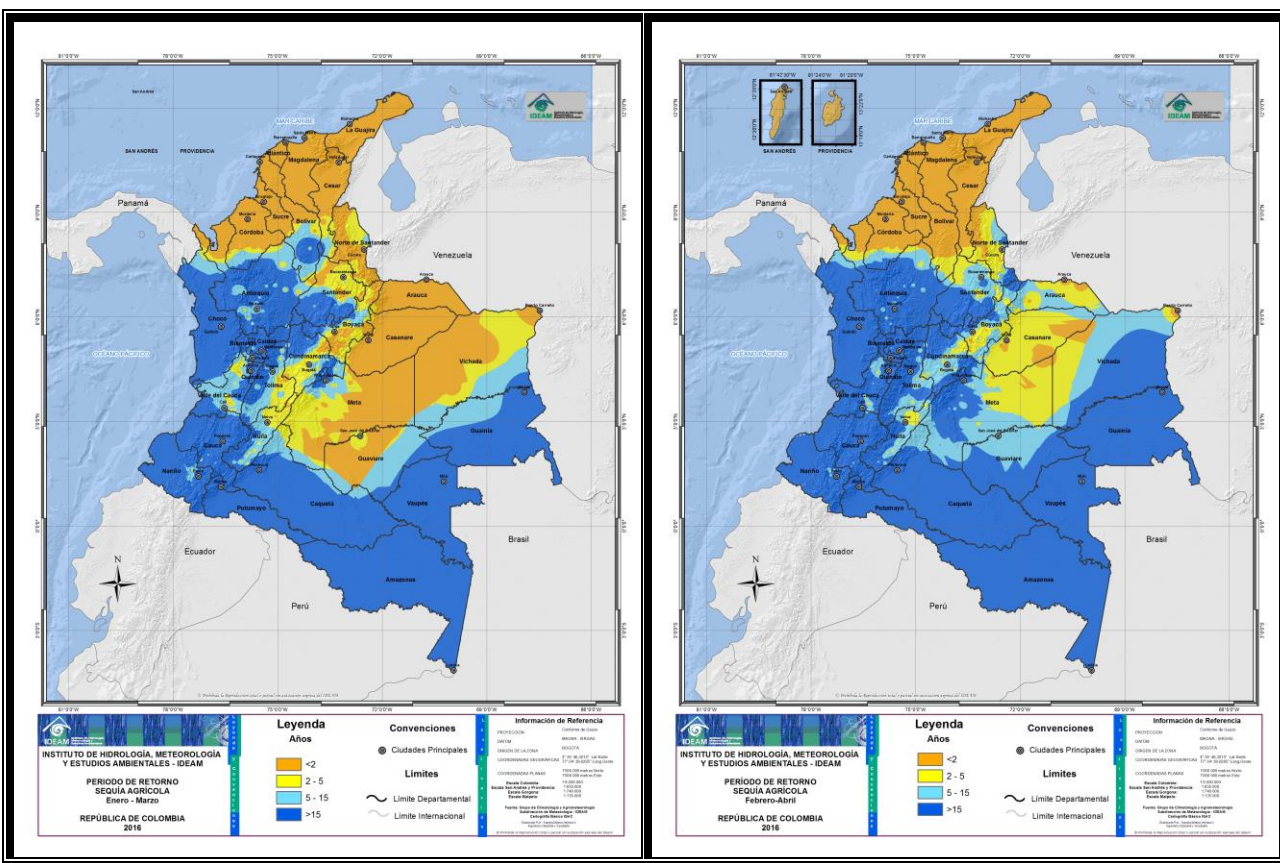


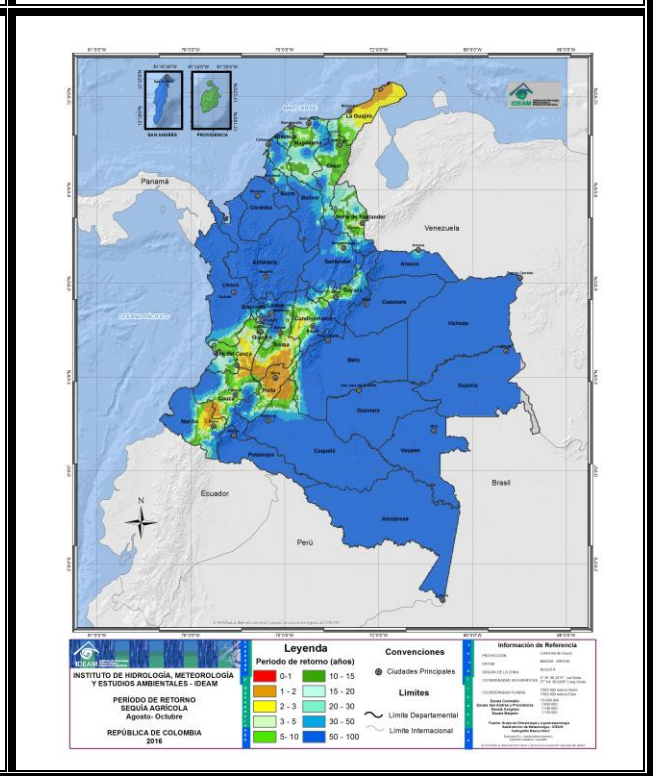
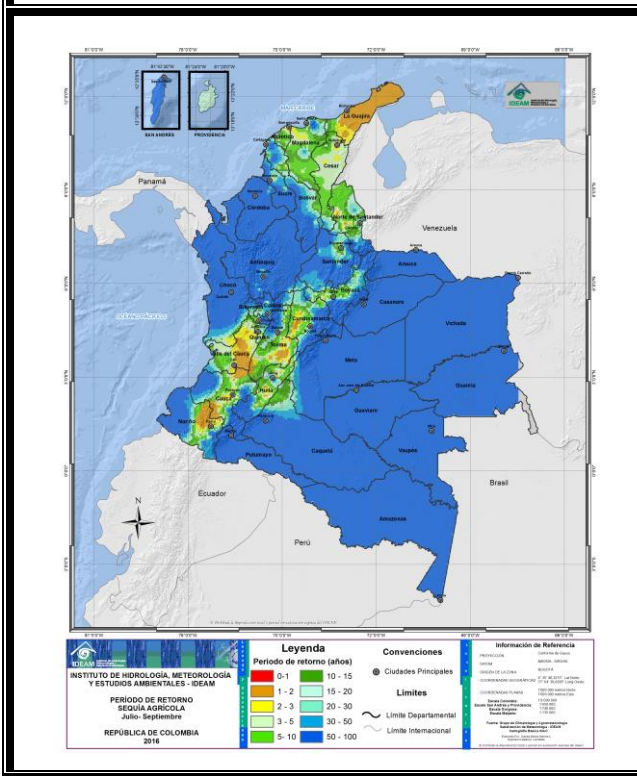
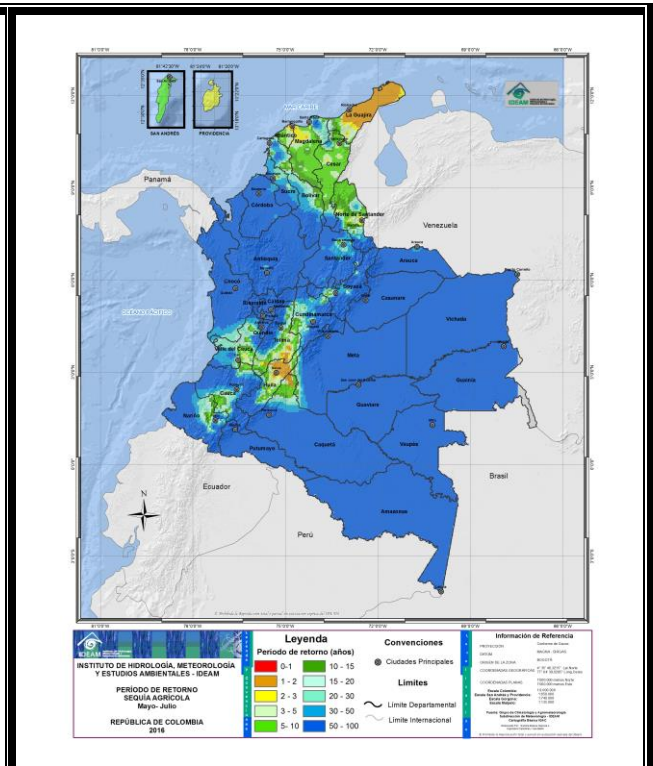
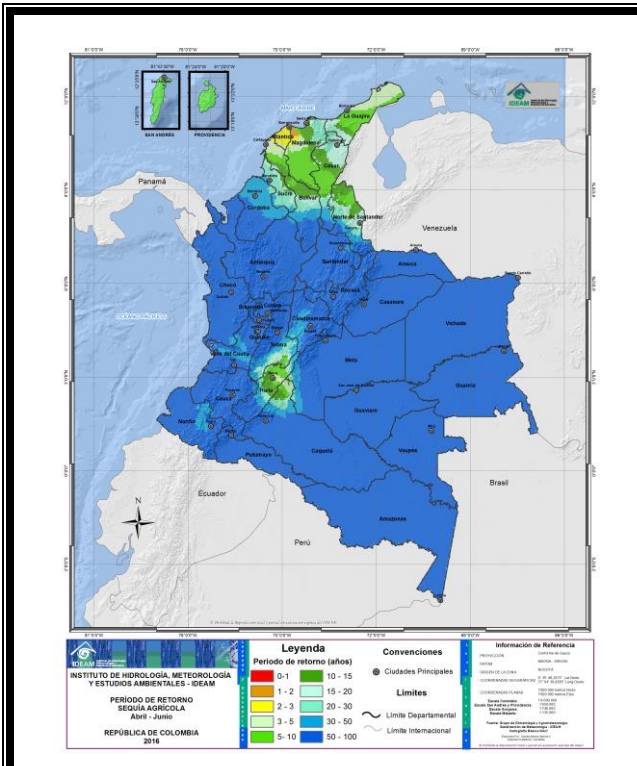
Ilustración 15: Período de Retorno de La Sequía Agrícola período (junio-agosto)

En el segundo trimestre lluvioso (septiembre-noviembre), la mayor parte del país, registra condiciones favorables por disponibilidad hídrica y una sequía agrícola tiene un periodo de retorno de más de 20 años. Las sequías agrícolas más frecuentes durante este periodo se presentan al extremo norte de la Región Caribe, especialmente en Guajira y Atlántico y sobre los departamentos de Huila y Tolima (Ilustración 16).

Para la planificación de los cultivos, conocer la distribución espacial de la cantidad de lluvia que precipita durante los ciclos fenológicos, es fundamental ya que es la base para identificar áreas con irrigaciones pluviométricas diferenciales, que permite establecer zonas con aptitudes alta, media y no apta para determinados cultivos, de acuerdo con los requerimientos hídricos o uso consuntivo.

Como en Colombia existen zonas cultivadas durante la mayor parte del año y debido a que los productores han establecido sus propios calendarios agrícolas, se hicieron los mapas de periodo de retorno de la sequía agrícola para cada trimestre móvil, (Ilustración 17).





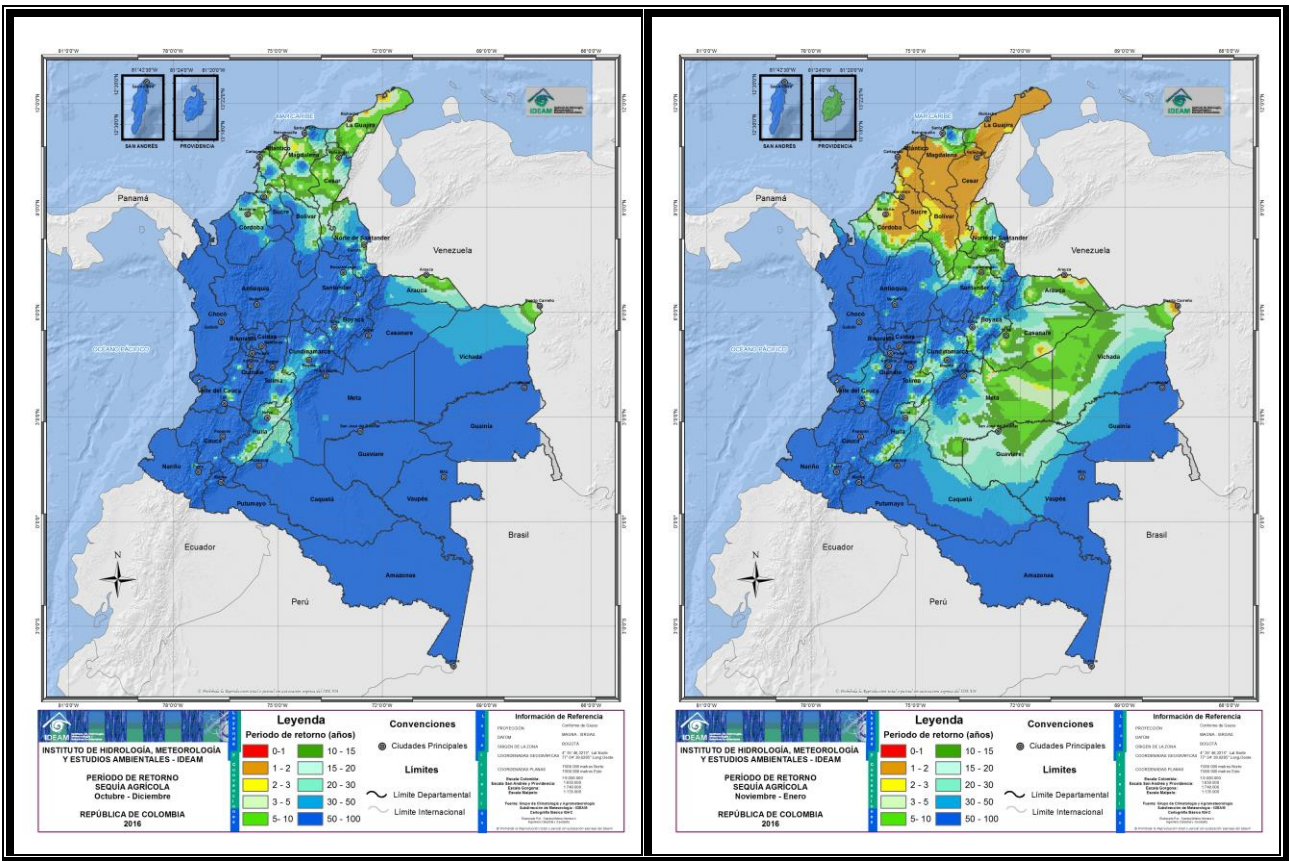


Ilustración 17: Período de Retorno de La Sequía Agrícola (trimestres móviles)

5. TENDENCIAS ESTACIONALES DE LAS LLUVIAS Y LAS SEQUÍAS METEOROLÓGICAS

5.1 METODOLOGÍA

Con el fin de detectar posibles tendencias en la disminución de las lluvias durante el periodo histórico (1981-2015), se analizaron las series históricas de las lluvias para las 500 estaciones suministradas por el Ideam.

Para efecto del análisis, se tomaron dos meses característicos en cada una de las temporadas en que típicamente se presentan las lluvias o las temporadas de menos lluvias en las principales regiones geográficas del país. Los meses fueron: enero-febrero y junio-julio, como meses de menos lluvias y abril-mayo y octubre-noviembre como meses de lluvia. Estos meses son típicos y representativos en la mayor parte de las regiones Caribe y Andina. El objetivo fue identificar el comportamiento intra-estacional de las

tendencias, en vez de realizar el tratamiento acostumbrado con los totales anuales (Tabla 11- Anexo II), allí aparece el cálculo de la pendiente de la recta para cada una de las 500 estaciones analizadas. A manera de ejemplo en la tabla 11 se presentan los resultados del cálculo de la pendiente para los meses lluviosos del primer y segundo semestre para algunas de las estaciones.

Tabla 11: Valor de la pendiente de regresión para abril-mayo y para octubre-noviembre

| abr- may | CODIGO | NOMBRE | LONGITUD (W) | LATITUD | Valor de la Pendiente | oct- nov | CODIGO | NOMBRE | LONGITUD (W) | LATITUD | Valor de la Pendiente |
|-------------|----------|-------------|-----------------|---------|--------------------------|-------------|----------|-------------|-----------------|---------|--------------------------|
| | 13075010 | Chima | -75.62 | 9.150 | -0.4919327 | | 13075010 | Chima | -75.622 | 9.150 | -0.1735 |
| | 13075020 | Salado El | -75.58 | 8.913 | -0.3945098 | | 13075020 | Salado El | -75.582 | 8.913 | -0.8240 |
| | 13090040 | Chalan | -75.3 | 9.538 | -5.5467507 | | 13090040 | Chalan | -75.322 | 9.538 | -8.3558 |
| | 13090070 | Tolu | -75.58 | 9.519 | -0.5467226 | | 13090070 | Tolu | -75.585 | 9.519 | -0.3610 |
| | 14010010 | Piojo | -75.107 | 10.746 | -1.9329691 | | 14010010 | Piojo | -75.107 | 10.746 | -2.3753 |
| | 14010050 | Canaveral | -75.337 | 10.405 | -2.5710339 | | 14010050 | Canaveral | -75.337 | 10.405 | 2.0077 |
| | 14010090 | Porvenir El | 75.162 | 10.710 | -1.6012605 | | 14010090 | Porvenir El | -75.162 | 10.710 | -0.2502 |

Como indicador para calificar la tendencia negativa o hacia la disminución de la lluvia, se utilizó el valor de la pendiente de la recta de regresión de toda la serie de datos. Para tal efecto, se clasificó el valor de la pendiente en 5 rangos, así:

| VALOR DE LA PENDIENTE DE LA RECTA | CLASIFICACIÓN TENDENCIA |
|-----------------------------------|-------------------------|
| Mayor que -0.07 | Normal (Sin tendencia) |
| -0.07 y -1.5 | Ligera |
| -1.5 y 3.0 | Moderada |
| -3.0 y 4.5 | Fuerte |
| < -4.5 | Extrema |

Finalmente, se calcularon las frecuencias porcentuales para cada uno de los rangos de clasificación y estos valores se tabularon, obteniendo de esta forma una visión general del comportamiento territorial de las series, considerando la totalidad de las estaciones utilizadas.

5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos y consolidados en las tablas resumen por región, a continuación, se presentan los hallazgos.

En la primera temporada de menores lluvias (Tabla 12, Ilustraciones 18.a. y b.) representada por los meses de enero y febrero, el porcentaje de estaciones con valores de la pendiente de regresión clasificados en el rango de los negativos, no resultan significativos, sino en la Orinoquia, donde el 60% de las estaciones muestran tendencia a la disminución, a lo largo de la serie de registros entre 1981 y 2015, particularmente hacia el piedemonte y en Arauca y el 25% de los eventos encontrados en la Región Andina, corresponden a la zona del Cauca.

Tabla 12: Resumen del valor de la pendiente de regresión, agrupado por región, en las temporadas secas enero-febrero (arriba) y junio-julio (abajo).

| PRIMERA TEMPORADA SECA (ENE-FEB) | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|---------|--------|--------------|--------------|--------------|---------|
| VALORES PORCENTUALES DEL VALOR DE LA PENDIENTE DE LA RECTA DE TENDENCIA EN LAS ESTACIONES DE REGISTRO | | | | | | | | | |
| REGIÓN | MUY NEGATIVO | MOD NEGATIVO | LIG NEGATIVO | TOTALES | NEUTRO | LIG POSITIVO | MOD POSITIVO | MUY POSITIVO | TOTALES |
| CARIBE | 0 | 0 | 16 | 16 | 84 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| NSANTANDER | 0 | 0 | 14 | 14 | 57 | 21 | 7 | 0 | 29 |
| ANDINA | 0 | 1 | 24 | 25 | 42 | 32 | 1 | 0 | 33 |
| ORNOQUIA | 0 | 4 | 56 | 60 | 33 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| AMAZONIA | 0 | 0 | 26 | 26 | 21 | 37 | 5 | 5 | 47 |
| NARIÑO | 0 | 0 | 9 | 9 | 41 | 41 | 7 | 2 | 50 |
| CHOCO-URABA | 5 | 0 | 29 | 33 | 19 | 24 | 19 | 0 | 43 |

| SEGUNDA TEMPORADA SECA (JUN-AGO) | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|---------|--------|--------------|--------------|--------------|---------|
| VALORES PORCENTUALES DEL VALOR DE LA PENDIENTE DE LA RECTA DE TENDENCIA EN LAS ESTACIONES DE REGISTRO | | | | | | | | | |
| REGIÓN | MUY NEGATIVO | MOD NEGATIVO | LIG NEGATIVO | TOTALES | NEUTRO | LIG POSITIVO | MOD POSITIVO | MUY POSITIVO | TOTALES |
| CARIBE | 0 | 2 | 22 | 24 | 42 | 33 | 0 | 2 | 35 |
| NSANTANDER | 0 | 0 | 14 | 14 | 57 | 29 | 0 | 0 | 29 |
| ANDINA | 0 | 2 | 20 | 22 | 46 | 30 | 2 | 0 | 32 |
| ORINOQUIA | 4 | 10 | 32 | 46 | 13 | 33 | 3 | 4 | 40 |
| AMAZONIA | 0 | 5 | 11 | 16 | 11 | 53 | 11 | 0 | 63 |
| NARIÑO | 0 | 0 | 4 | 4 | 40 | 53 | 0 | 2 | 55 |
| CHOCO-URABA | 1 | 1 | 10 | 13 | 15 | 19 | 21 | 21 | 60 |

En la segunda temporada de menores lluvias, tomando los meses de junio y julio, no se observaron porcentajes significativos o mayores al 50% de las estaciones analizadas, que tuvieran valor de la pendiente de regresión negativo, es decir que, para este bimestre, no hay una tendencia a la disminución de la lluvia definida en ninguna zona del país, aunque

en la Orinoquia se observó el 46% de los casos con pendiente negativa, igual que en el Cauca.

En la primera temporada lluviosa, tomada para los meses de abril y mayo (Tabla 13 e ilustración 19 c y d) en la Región Caribe y en Norte de Santander, un gran porcentaje, más del 50% de las estaciones, mostraron un valor del pendiente negativo, es decir hacia la disminución de la lluvia a lo largo de la serie de registro.

En la segunda temporada de lluvias, un alto porcentaje de las estaciones de registro, en varias regiones del país, mostraron un valor de la pendiente de regresión de la recta, que se clasificó dentro de los rangos negativos, en Norte de Santander, la región Andina, Orinoquia, Nariño y Chocó-Urabá.

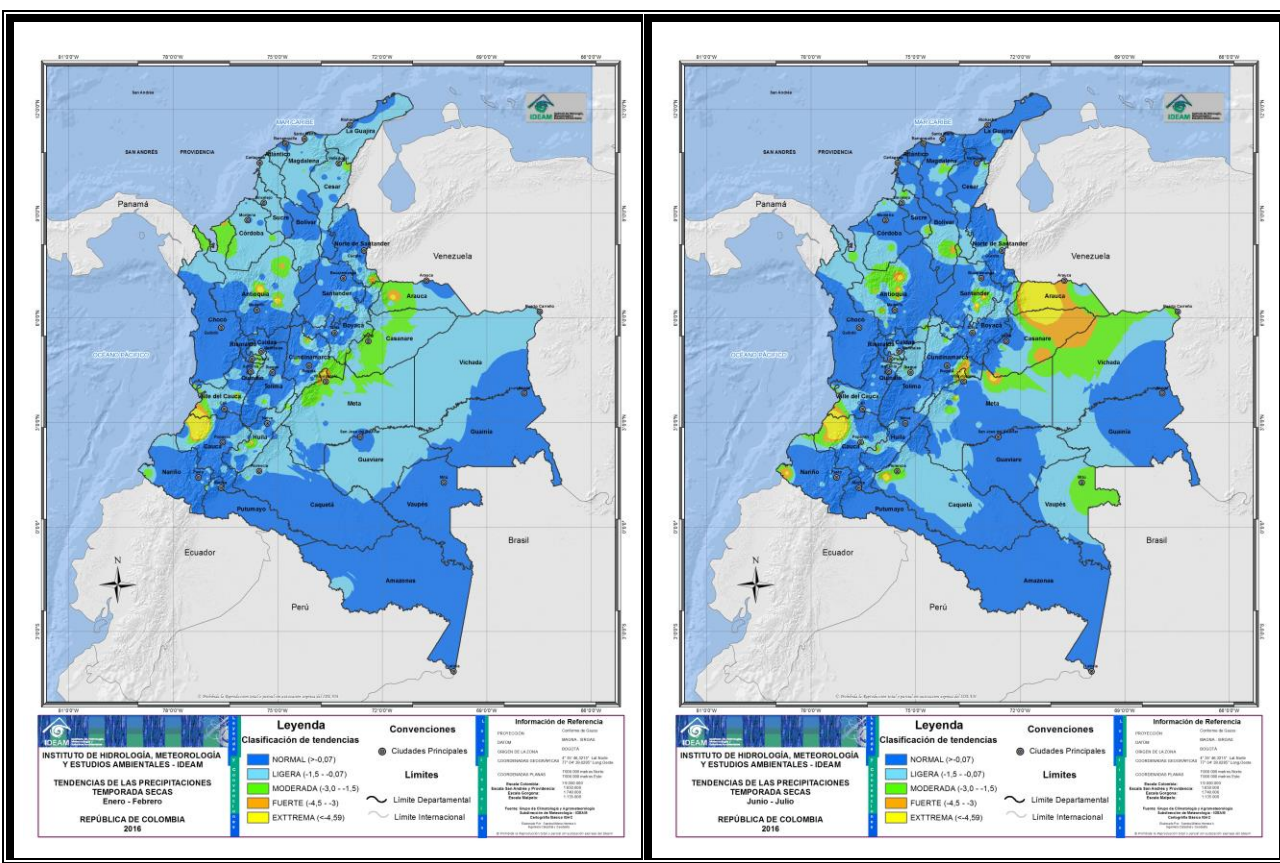


Ilustración 18: Tendencia de las Temporadas Secas

Tabla 13: Resumen de tendencia de las temporadas lluviosas abril-mayo (arriba) y octubre-noviembre (abajo).

| PRIMERA TEMPORADA LLUVIOSA (ABR-MAY) | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|---------|--------|--------------|--------------|--------------|---------|
| VALORES PORCENTUALES DEL VALOR DE LA PENDIENTE DE LA RECTA DE TENDENCIA | | | | | | | | | |
| REGIÓN | MUY NEGATIVO | MOD NEGATIVO | LIG NEGATIVO | TOTALES | NEUTRO | LIG POSITIVO | MOD POSITIVO | MUY POSITIVO | TOTALES |
| CARIBE | 0 | 5 | 47 | 53 | 29 | 18 | 0 | 0 | 18 |
| NSANTANDER | 0 | 7 | 50 | 57 | 29 | 14 | 0 | 0 | 14 |
| ANDINA | 1 | 2 | 31 | 34 | 27 | 34 | 3 | 1 | 38 |
| ORINOQUIA | 3 | 0 | 21 | 24 | 17 | 47 | 8 | 4 | 60 |
| AMAZONIA | 0 | 0 | 42 | 42 | 5 | 26 | 5 | 16 | 47 |
| NARIÑO | 0 | 0 | 32 | 32 | 36 | 26 | 2 | 2 | 30 |
| CHOCO-URABA | 5 | 0 | 10 | 15 | 15 | 55 | 10 | 10 | 75 |

| SEGUNDA TEMPORADA LLUVIOSA (OCT-NOV) | | | | | | | | | |
|---|--------------|--------------|--------------|---------|--------|--------------|--------------|--------------|---------|
| VALORES PORCENTUALES DEL VALOR DE LA PENDIENTE DE LA RECTA DE TENDENCIA | | | | | | | | | |
| REGIÓN | MUY NEGATIVO | MOD NEGATIVO | LIG NEGATIVO | TOTALES | NEUTRO | LIG POSITIVO | MOD POSITIVO | MUY POSITIVO | TOTALES |
| CARIBE | 4 | 2 | 38 | 44 | 27 | 27 | 0 | 0 | 27 |
| NSANTANDER | 0 | 0 | 79 | 79 | 14 | 7 | 0 | 0 | 7 |
| ANDINA | 1 | 5 | 60 | 66 | 21 | 10 | 0 | 1 | 11 |
| ORINOQUIA | 4 | 11 | 43 | 58 | 29 | 11 | 1 | 0 | 13 |
| AMAZONIA | 5 | 11 | 32 | 47 | 32 | 16 | 5 | 0 | 21 |
| NARIÑO | 0 | 0 | 64 | 64 | 28 | 6 | 0 | 0 | 6 |
| CHOCO-URABA | 0 | 10 | 45 | 55 | 20 | 10 | 5 | 0 | 15 |

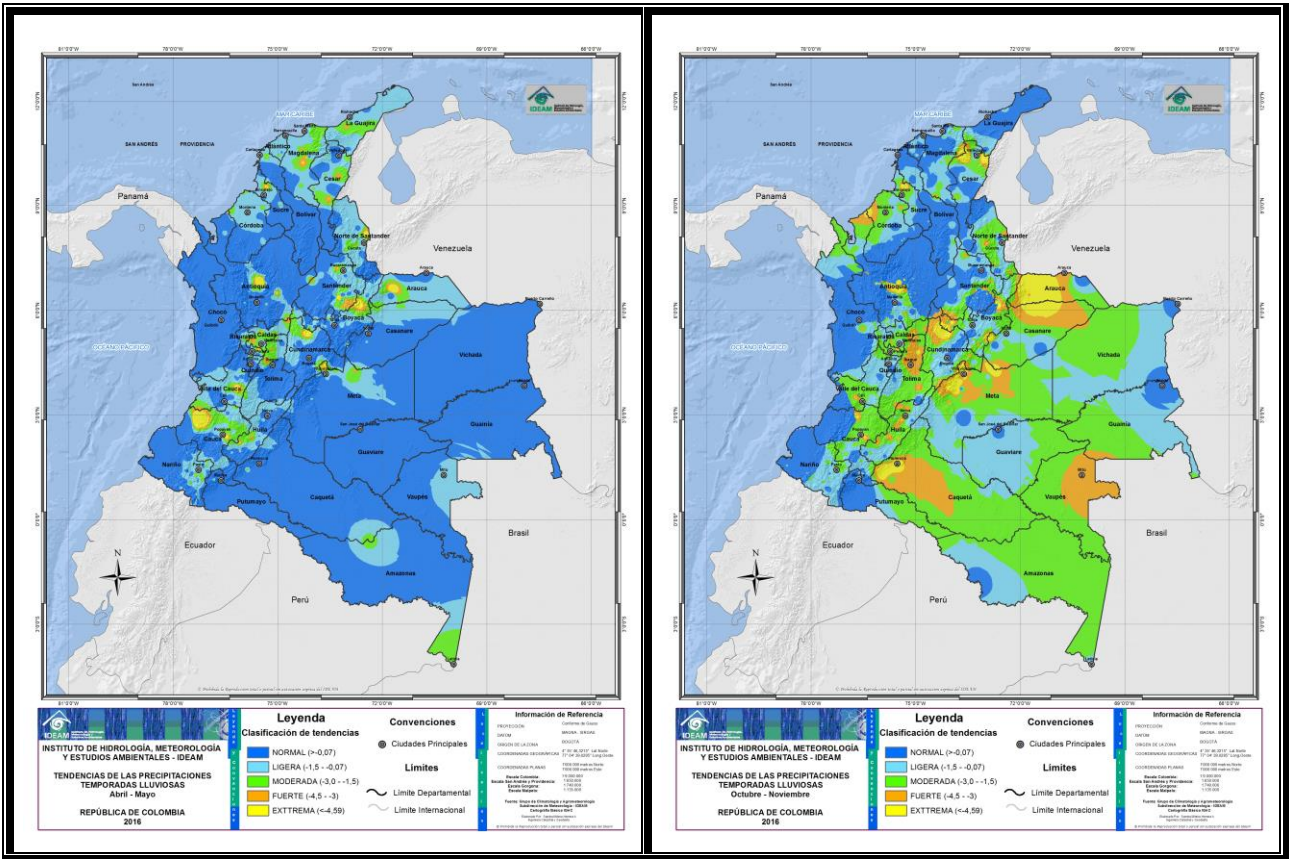


Ilustración 19: Tendencia de las temporadas lluviosas

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Sequia meteorológica

- ❖ Las sequías que mayor efecto territorial han registrado durante el periodo analizado 1981 – 2010, han sido las que cubrieron amplios territorios de las zonas Caribe y Andina, las de mayor población y producción agrícola. Estas sequías se presentaron en los años 1985, 1988, 1991-1992, 1997-1998, 2001, 2009 y 2015-2016.
- ❖ Se identificaron otros eventos de menor extensión e intensidad o duración, en los años 1982-1983, 1986 – 1987 y 2002 -2003.
- ❖ Se determinó que la recurrencia predominante para los eventos de sequía meteorológica semestral, es decir analizando el SPI(6) meses, es de 7 a 9 años en la mayor parte del país; las zonas con mayor incidencia de estas sequías de larga duración, se encuentran en La Guajira, norte del Cesar, sur de Bolívar y occidente de Santander, en el Medio y Bajo Magdalena, así como en el Eje Cafetero, el Altiplano de Cundinamarca y Boyacá y sectores del Cauca, con un periodo de retorno entre 4 y 7 años, para el primer semestre.
- ❖ Para el segundo semestre el comportamiento es similar y en gran parte del país el periodo de recurrencia es entre 7 y 9 años.

Sequia agrícola

- ❖ Se estableció que, en el primer trimestre, gran parte del país presenta sequia agrícola, prácticamente todos los años; esta sequia es denominada estacional. Las regiones en las cuales esta sequía es más frecuente (de 0 a 3 años), son la mayor parte de la región Caribe y Casanare, con excepción de algunos sectores del sur de Córdoba y Urabá; norte de Santander y el Oriente del país, en Arauca, Meta y parte de Vichada. También en Santanderes, altiplano cundiboyacense y el Valle del alto Magdalena.
- ❖ Durante el segundo trimestre del año, en la mayor parte del país el riesgo es muy bajo, teniendo en cuenta que la situación de sequía se presenta con un periodo de retorno entre 10 y 50 años. Las únicas zonas con riesgo medio están ubicadas en la región Caribe (departamentos de Guajira, Cesar, Atlántico, Magdalena y norte y centro de Bolívar) y en la región del alto Magdalena (Huila y Tolima).
- ❖ En el tercer trimestre del año, las condiciones de riesgo alto se presentan en Guajira, Cesar, y sectores de Atlántico y litoral del Magdalena. En la región Andina, la mayor frecuencia de sequía se registra en Valle, altiplano cundiboyacense, Tolima, norte de Huila y montañas de Cauca y Nariño. En estas regiones la recurrencia de sequía intensa se encuentra entre 3 y 5 años en promedio.
- ❖ En el cuarto trimestre del año, la mayor parte del país, registra condiciones favorables por disponibilidad hídrica y una sequía agrícola tiene un periodo de retorno de más de

20 años. Las sequías agrícolas más frecuentes durante este periodo se presentan al extremo norte de la Región Caribe, especialmente en Guajira y Atlántico.

Primera Aproximación de las Tendencias de la lluvia

- ❖ En la primera temporada de menos lluvias en general, no se observan tendencias predominantes a la disminución en las regiones Andina, Amazonia y Pacífica. Las regiones con tendencia a la disminución de lluvia son: Caribe y Orinoquia (ligera) y la región de Urabá, Norte de Antioquia, piedemonte de la Orinoquia y el litoral del Cauca. (Moderada y fuerte)
- ❖ En la segunda temporada de menos lluvias no hay una tendencia definida a la disminución en gran parte del país. La sequía estacional continuaría en los niveles actuales en las regiones Caribe, Andina, Pacífica y Amazonia. Una reducción de lluvias en esta temporada se aprecia en sectores de Arauca y Casanare, piedemonte llanero, Cundinamarca, norte de Antioquia y vertiente pacífica en Cauca y Nariño.
- ❖ En la primera temporada lluviosa, la mayor parte del país no evidencia una tendencia a la disminución de las lluvias, con excepción de la región Caribe, Catatumbo, Arauca centro y sur de la región Andina, piedemonte llanero y trapecio amazónico.
- ❖ En la segunda temporada de lluvias, la tendencia general es a la disminución de las precipitaciones en casi todo el país, en menor proporción en las regiones Caribe y Pacífica.

RECOMENDACIONES

- ❖ Hacer una metodología de álgebra de mapas de los eventos identificados, con el fin de detectar zonas con incidencia de sequía, para obtener un mapa de amenaza.
- ❖ Complementar los análisis de los eventos seleccionados de sequía moderadas, severas y extremas, con el SPI(3), para el inicio y terminación de las sequías, dado que esta etapa puede tener una duración inferior a seis meses, que fue el SPI analizado y para mayor acercamiento y profundización de la sequía agrícola.
- ❖ Cruzar los resultados obtenidos con coberturas de las cadenas productivas, como herramienta de planificación y ordenamiento del sector agropecuario.
- ❖ Realizar estudios complementarios a nivel temporal y espacial, que permitan profundizar el tema de las tendencias de las sequías en Colombia, ya que los resultados obtenidos son apenas un acercamiento. Se recomienda utilizar metodologías estadísticas robustas para corroborar las tendencias de la lluvia.

BIBLIOGRAFIA

- Hurtado G., Mayorga, R. H. (2006). *La Sequía en Colombia*. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Hurtado, G. (2012). *Sequía Meteorológica y sequía Agrícola en Colombia - Incidencia acutal y Tendencias*. Bogotá: IDEAM.
- Hurtado, G., & M. Cadena. 2002: *Aplicación de índices de sequía en Colombia*. Meteorol. Colomb. 5:131-137. ISSN 0124- 6984. Bogotá, D.C. – Colombia.
- OMM. (2006). *Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges*.
- Marcos, O. (2001). *Sequías: Definiciones, tipologías y métodos de cuantificación*. *Investigaciones Geográficas N° 26*. Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional, Barcelona - España.
- Palmer, Wayne. (febrero1965). «*Meteorological Drought*». *Research paper no.45, U.S.* U.S.: Department of Commerce Weather Bureau. Recuperado el abril de 2016
- Wilhite, D.A. (2000). *Drought as a natural hazard: concepts and definitions*. In: D.A. Wilhite (Editor), *Drought: a global assessment*. Routledge, New York, pp. 1-18.
- Hao, Z. and Singh, V.P., (2015). *Drought characterization from a multivariate perspective: A review*. *Journal of Hydrology*, 527: 668-678.
- UNGRD, (2017). *Proyecto Piloto “Alertas Tempranas por Sequía en Colombia”, Socialización de resultados*. Informe Técnico.
- OMM. (2018). *“Towards a Drought Information System for South America”*. CRC-SAS y NOAA. Buenos Aires, Argentina. Technical Report .
- OMM. (2012). *Índice Normalizado de Precipitación. Guía del Usuario(1090)*. Ginebra Suiza.
- OMM. (2016). *Manual de Indicadores e Índice de Sequía*. Ginebra, Suiza.
- Campos, D. F. (2014). *Comparación de tres métodos estadísticos para detección y monitoreo de sequías meteorológicas*. Mexico.

ANEXOS

ANEXO I – MARCO TEÓRICO DEL ÍNDICE SPI

Su procedimiento de cálculo es el siguiente:

Se calculan los parámetros de la distribución gamma a partir de la serie de precipitación.

Los parámetros se usan para calcular la distribución acumulada de probabilidades

Debido a que la distribución gamma no está definida para $x=0$, la distribución acumulada se modifica para incluir estos eventos.

La distribución de probabilidad se transforma a una distribución normal, con promedio = 0 y desviación = 1. SPI es entonces el número de desviaciones estándar a la izquierda (sequía), o derecha (excesos) de 0.

Tabla 14: Rangos y Calificativos del Índice

| | |
|--------------|-----------------------|
| Mayor que 2 | Extremadamente húmedo |
| 1,5 a 1,99 | Muy húmedo |
| 1 a 1,49 | Moderadamente húmedo |
| -0,99 a 0,99 | Normal |
| -1 a -1,49 | Moderadamente seco |
| -1,5 a -1,99 | Severamente seco |
| Menor de -2 | Extremadamente seco |

Como el índice SPI se estima generalmente para las siete duraciones mensuales siguientes: 1, 3, 6, y 12; entonces se comienza por obtener los valores factibles en cada lapso indicado. Para la duración de un mes se ajusta el modelo Gamma a todo el registro mensual, cuyo número de datos es $n_d=12 \cdot NA$, siendo NA el número años del registro disponible. Para lapsos siguientes se obtienen las sumas móviles. Por ejemplo, para tres meses, el primer dato es la suma de los tres primeros meses del registro y el segundo dato será la suma del mes dos al cuarto y así sucesivamente. Por tanto, el nuevo n_d será:

$$n_d = 12 \cdot NA - dm + 1 \quad (1)$$

en donde, dm es la duración en meses de la nueva secuencia de datos que se calculan como sumas móviles. Debido a la posibilidad de tener sumas móviles iguales a cero en las duraciones cortas, se utiliza la distribución Gamma Mixta para su ajuste (Campos, 2014).

La distribución de probabilidades Gamma de dos parámetros de ajuste tiene como función de densidad de probabilidad la expresión siguiente:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \cdot \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/\beta} \text{ para } x > 0 \quad (2)$$

en la cual, $\alpha > 0$ es el parámetro de forma, $\beta > 0$ el de escala, $x > 0$ la precipitación en un cierto lapso y $\Gamma(\alpha)$ la función matemática factorial o función Gamma que da nombre a tal distribución, originalmente conocida como Pearson tipo III. Varios métodos se han propuesto para estimar los parámetros de ajuste, uno de ellos, el de máxima verosimilitud es bastante exacto y sus expresiones son:

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

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (4)$$

Siendo A una variable auxiliar definida como:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum_{i=1}^{n'} \ln(x_i)}{n'} \quad (5)$$

En la cual, n' es el número de datos no nulos (x_i), cuya media aritmética es \bar{x} . La estimación del parámetro de forma con la ecuación 3, requiere una corrección originada por el método de máxima verosimilitud, que consiste en restarle el término $\Delta\alpha$ cuando resultó menor de 5.60, ésta es:

$$\Delta\alpha = a_0 + a_1 \cdot \alpha + a_2 \cdot \alpha^2 + a_3 \cdot \alpha^3 + a_4 \cdot \alpha^4 + a_5 \cdot \alpha^5 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} a_0 &= 0.04701236 & a_1 &= -0.0742802 & a_2 &= 0.05139812 \\ a_3 &= -0.0177746 & a_4 &= 0.002974521 & a_5 &= -0.0001899932 \end{aligned}$$

La distribución Gamma Mixta toma en cuenta la probabilidad de tener valores nulos q y de no tenerlos $p=1-q$, cuando se evalúa la probabilidad de no excedencia de un valor x , su expresión es:

$$H(x) = q + p \cdot G(x) \quad (7)$$

Entonces, cuando $x=0$, $H(0)=q$. Si m es el número de ceros de la serie que se procesa, el valor de q será estimado por m/n_d y por lo tanto, $n' = n_d - m$. Cuando la serie no tiene valores nulos, q será cero y $H(x)=G(x)$.

Para estimar la probabilidad de no excedencia $G(x)$ relativa, un valor x , se empleará la conversión del modelo Pearson tipo III a la distribución ji cuadrada (χ^2) con ν grados de libertad, cuya equivalencia de variables es:

$$\chi^2 = 2 \cdot x / \beta \quad (8)$$

$$\nu = 2 \cdot \alpha \quad (9)$$

Ahora se aplica la aproximación por expansión en serie para estimar la probabilidad de no excedencia en la distribución χ^2 para un valor de ν ; ésta es:

$$G(x) = P(\chi^2 | \nu) = \left(\frac{\chi^2}{2}\right)^{\nu/2} \frac{e^{-\chi^2/2}}{\Gamma\left(\frac{\nu+2}{2}\right)} \left[1 + \sum_{r=1}^{\infty} \frac{\chi^{2r}}{(\nu+2) \cdot (\nu+4) \cdots (\nu+2r)}\right] \quad (10)$$

La función factorial Gamma fue estimada con la fórmula de Stirling, que para valores grandes del argumento ε es bastante aproximada con un error cercano a cero; ésta es:

$$\Gamma(\varepsilon) \cong e^{-\varepsilon} \cdot \varepsilon^{\varepsilon-1/2} \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \left(1 + \frac{1}{12 \cdot \varepsilon} + \frac{1}{288 \cdot \varepsilon^2} - \frac{139}{51840 \cdot \varepsilon^3} - \frac{571}{2488320 \cdot \varepsilon^4} + \dots\right) \quad (11)$$

Por último, se emplea una aproximación numérica racional, para convertir la probabilidad acumulada $H(x)$ en la variable normal estandarizada Z de media cero y varianza unitaria, la cual define el índice SPI; sus ecuaciones son:

$$Z = \text{SPI} = - \left(t - \frac{b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}{1 + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2 + c_3 \cdot t^3} \right) \quad (12)$$

para $0 < H(x) < 0.50$

$$Z = \text{SPI} = + \left(t - \frac{b_0 + b_1 \cdot t + b_2 \cdot t^2}{1 + c_1 \cdot t + c_2 \cdot t^2 + c_3 \cdot t^3} \right)$$

para $0.50 < H(x) < 1$ (13)

Donde:

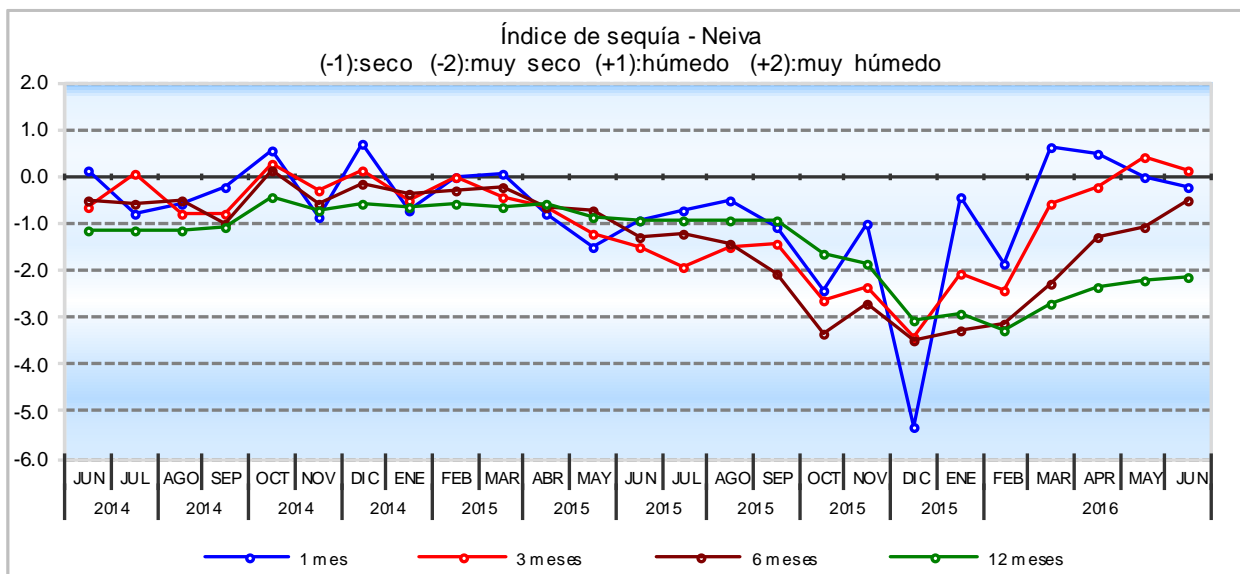
$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0 < H(x) < 0.50 \quad (14)$$

$$t = \sqrt{\ln \left[\frac{1}{(1 - H(x))^2} \right]} \quad \text{para } 0.50 < H(x) < 1 \quad (15)$$

$$\begin{array}{lll} b_0 = 2.515517 & b_1 = 0.802853 & b_2 = 0.010328 \\ c_1 = 1.432788 & c_2 = 0.189269 & c_3 = 0.001308 \end{array}$$

Los niveles de humedad o de sequía se definen en el (Tabla 15).

Para mayor ilustración, se muestran los índices obtenidos para diferentes escalas de tiempo en las ciudades de Neiva y Medellín <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/comportamiento-del-indice-de-sequia-en-los-seis-ultimos-meses>.



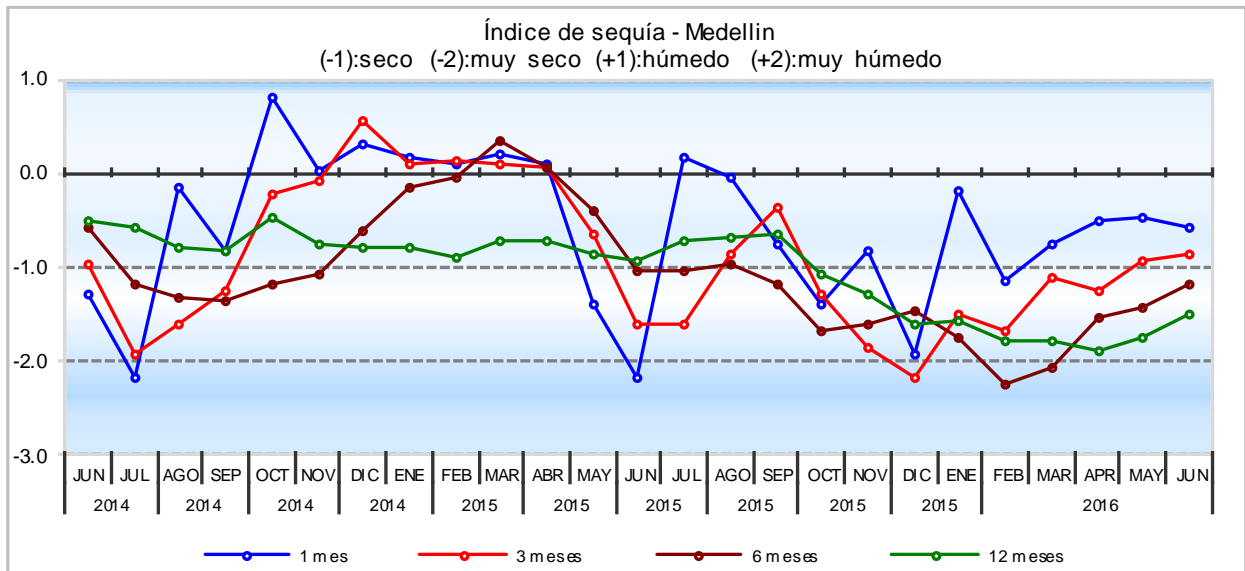


Ilustración 20: Gráficos del SPI (1, 3, 6 y 12 meses Neiva y Medellín).

ANEXO I I – TABLAS-MEMORIA DE CÁLCULO

Para ampliar información sobre las memorias de cálculo del documento, remitirse al enlace institucional, e la parte baja de la página: <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/meteorologia-agricola>

Subdirección IDEAM

Repositorio Subdirección IDEAM.

Modificado por última vez 2/01/18 9:32 | 2 Subcarpetas | 0 Documentos

Subcarpetas

| Nombre | Número de carpetas | Número de documentos |
|---|--------------------|----------------------|
| Balances Hídricos Repositorio Tablas de Excel - Subdirección IDEAM. | 0 | 6 |
| Memorias Cálculo Sequía 2017 Repositorio de Tablas de Excel - Subdirección IDEAM. | 0 | 7 |