

**ANALISIS DE LA PRECIPITACION DE LA ZONA SEMIÁRIDA EN LA PROVINCIA
GUANENTINA**

AUTORA:

ANDREA JOHANNA AMAYA SUAREZ

2062459



**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
BUCARAMANGA**

2011

**ANALISIS DE LA PRECIPITACION DE LA ZONA SEMIÁRIDA EN LA PROVINCIA
GUANENTINA**

ANDREA JOHANNA AMAYA SUAREZ

**Tesis de grado modalidad de Investigación para optar por el título de
Ingeniero Civil**



DIRECTOR:

Ing. Ph.D. LUIS FERNANDO SALAZAR VELASQUEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-MECÁNICAS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

BUCARAMANGA

2011

A mi madre

*Que con todo su esfuerzo logro sacar adelante todo lo
que propuso en mi,*

*Y ahora empieza a ver recompensado tantos años de
esfuerzo,*

*Sin ella no hubiera sido posible mi realización
personal y ahora profesional*

*Gracias te doy porque has sido inspiración de lucha
constante para mí y para mis hermanos.*

Andrea Johanna Amaya Suarez

Contenido

INTRODUCCIÓN.....	11
1. GENERALIDADES.....	12
1.1 ¿Qué es la sequía?	12
1.2 Clases de sequía.....	13
1.3 Predecir la sequía.....	14
1.3.1 Los patrones climáticos globales.....	15
1.3.1.1 Fenómeno del niño y la niña en Colombia (Ideam)	15
Análisis de datos de precipitación	17
1.3.2 Patrones locales	18
1.3.3 Monitoreo y seguimiento de la sequía	18
1.4 Impactos de la sequía	19
1.4.1 Impactos económicos	20
1.4.2 Impactos ambientales	23
1.4.3 Impactos sociales.....	24
2. DATOS DE ESTACIONES ELEGIDAS EN LA ZONA GUANENTINA	26
3. ANALISIS DE DATOS Y METODOLOGIA	30
3.1.1 Máximo número de días consecutivos sin lluvia.....	31
3.1.1.1 Estación chochos.....	32
3.1.1.2 Estación Cuchicute	32
3.1.1.3 Estación Curití N2	33
3.1.1.4 Estación La mesa.....	34
3.1.1.5 Estación Las Flores.....	35
3.1.1.6 Estación Sta. Isabel.....	36
3.1.1.7 Estación Sta. Rita.....	36
3.1.2. Índice de precipitación estandarizado (SPI):	37
Conclusiones	46
Referencias	48

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Porcentaje Datos faltantes de estaciones zona Guanentina	26
Tabla 2. Porcentaje Datos faltantes de estaciones elegidas	26
Tabla 3. SPI and cumulative Probabilities	37
Tabla 4. Clasificación del SPI (IPE)	38

Lista de figuras

Figura 1. Alteraciones de la precipitación en Colombia ocasionadas por el fenómeno del niño 1996-1997 (Fuente: Ideam)	16
Figura 2. Alteraciones de la precipitación en Colombia ocasionadas por el fenómeno de la Niña 1999-2000 (fuente: Ideam)	16
Figura 3. Promedio todas las estaciones de días secos anualmente	16
Figura 4. Mapa de provincias de Santander (fuente: Ideam)	25
Figura 5. Promedios mensuales de precipitación Estación Chochos	27
Figura 6. Promedios mensuales de precipitación Estación Curití N2	27
Figura 7. Promedios mensuales de precipitación Estación La Mesa	27
Figura 8. Promedios mensuales de precipitación Estación Las Flores	27
Figura 9. Promedios mensuales de precipitación Estación Sta. Isabel	28
Figura 10. Máximo número de días consecutivos sin lluvia anualmente	30
Figura 11. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Chochos	31
Figura 12. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Cuchicute	31
Figura 13. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Curiti N2	32
Figura 14. Número de días consecutivos sin lluvia Estación La Mesa	33
Figura 15. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Las Flores	34
Figura 16. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Sta. Isabel	35
Figura 17. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Sta. Rita	35
Figura 18. Distribución gamma ajustada a una distribución normal	36
Figura 19. SPI 1994-2004 Estación Chochos	39
Figura 20. SPI 1994-2004 Estación Curití N2	40
Figura 21. SPI 1994-2004 Estación La Mesa	40
Figura 22. SPI 1994-2004 Estación Las Flores	41
Figura 23. SPI 1994-2004 Estación Sta. Isabel	41

RESUMEN

TITULO: ANALISIS DE LA PRECIPITACION DE LA ZONA SEMIÁRIDA EN LA PROVINCIA GUANENTINA.

AUTORA:
ANDREA JOHANNA AMAYA SUAREZ

PALABRAS CLAVES:

Sequia, índice de precipitación estandarizado (SPI), Fenómeno del niño, fenómeno de la niña

DESCRIPCIÓN:

Ante la necesidad de asociarle aspectos cuantitativos a la sequia se han propuesto varios índices, haciendo posible que las características de la misma se expresen en función de un índice, intensidad, duración y frecuencia. De los varios índices que existen para medir la sequia, ninguno puede considerarse superior al resto, ya que su empleo o selección depende de lo conveniente que resulte para determinados usos, para este proyecto es apropiada la selección del índice de precipitación estandarizado a través del cual es posible determinar las anomalías de la única variable analizada, la precipitación, para un periodo de tiempo dado.

Con la llegada del fenómeno del niño y de la niña podemos observar, deducir y analizar el porqué el comportamiento climático tan variado de las diferentes estaciones en ciertos años.

La manifestación de este fenómeno se hace presente en la mayoría de las regiones naturales del país, haciendo que se deban implementar medidas necesarias para la mitigación de los daños provocados por dicha anomalía a través de sistemas de alerta temprana u otro tipo de procedimientos gubernamentales.

En general podemos describir el comportamiento climático más que todo de sequias en la región y su impacto social.

La migración de población es un problema significativo en muchos países, a menudo estimulada por un suministro mayor de alimentos y de agua. La migración también suele ocurrir hacia las zonas urbanas dentro del área afectada, privando a las zonas rurales de recursos humanos necesarios para el desarrollo económico. En lo relativo a la salud, las sequías tienen mucha importancia como causa de la malnutrición y la hambruna, un problema muy significativo a nivel mundial.

1

Proyecto de Grado

Facultad: Fisicomecánicas **Escuela:** Ingeniería Civil

Director: Ing. Ph.D Luis Fernando Salazar Velásquez

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF THE SEMI-ARID ZONE PRECIPITATION IN THE PROVINCE GUANENTINA.

AUTHORS:

ANDREA JOHANNA AMAYA SUAREZ

KEYWORDS:

Drought, standardized precipitation index (SPI), El Niño, La Niña and the Southern Oscillation.

DESCRIPTION:

Given the need to associate quantitative aspects of drought have proposed several indices, enabling characteristics of the it is expressed in terms of an index, intensity, duration and frequency. Of the several indexes exist to measure drought, none can be considered superior to others, since their employment or selection depends on how convenient it for certain uses, appropriate for this project is the selection of the precipitation rate standard by which you can determine anomalies the only variable analyzed, the precipitation for a period of time given. With the arrival of El Niño and girls can be seen, derive and analyze why such varied climatic behavior of different seasons in some years.

The manifestation of this phenomenon is present in most country's natural regions, causing them to need to implement measures necessary to mitigate the damage caused by the anomaly through early warning systems or other procedures government. In general we can describe the behavior of climate more than anything droughts in the region and its social impact. The migration of population is a significant problem in many countries often stimulated by a greater supply of food and water. The migration also often happens to urban areas within the area affected, depriving rural areas of human resources for economic development. With regard to health, drought are very important as a cause of malnutrition and famine, significant problem worldwide.

2

Graduation Project

Faculty: Physical-mechanical **School :** Civil Engineering

Director: Mr. Luis Fernando Salazar Velásquez Ph.D

INTRODUCCIÓN

La sequía, como fenómeno climático, trae consigo innumerables problemas asociados al desarrollo productivo de cualquier territorio o región. Ello se manifiesta a través de deficiencias de precipitación que en algunos casos se vuelve extrema, traduciéndose en un problema económico a gran escala. Para el monitoreo de la sequía, los centros especializados dedicados a la medición e investigación de estos tipos de fenómenos, desarrollaron metodologías basadas en procesos estadísticos, algunos más complejos que otros, que establecieron índices que cuantificaran la severidad del fenómeno.

El propósito de este tema es comparar la cantidad de precipitación en algunas estaciones de la zona Guanentina estimando los periodos de sequía, cuyos efectos a nivel mundial, se han venido intensificando a consecuencia del cambio climático, afectando de manera crítica la productividad agrícola, así como la oferta hídrica debido a la disminución sustancial de las precipitaciones en algunas zonas.

En Colombia, cuarto país en riqueza de recursos hídricos a nivel mundial, no es extraño hablar que la sequía se manifieste en la totalidad de las zonas naturales del país, oscilando en una escala de severidad que abarca desde sequía ligera hasta sequía extrema en las regiones Caribe, Pacífica, Orinoquía y Andina; estos efectos presentan características tales como la disminución sustancial de lluvias afectando directamente los caudales de ríos, niveles de represas, humedad de los suelos en zonas productivas y efectos fisiológicos en las plantas.

La forma de abordar el análisis de este fenómeno implica que sus metodologías de monitoreo sean complicadas de seguir ya que existen muchos factores que influyen en su origen y comportamiento (Hurtado, 1986). El desarrollo del tema en el país, no ha sido muy abordado por los expertos, ya que la información agroclimática básica es escasa y hay zonas donde es imposible desarrollar cualquier estudio, ello debido a la inexistencia de estaciones de medición. Lo anterior unido a la falta de investigación, hace que cualquier acercamiento al tema, sea un avance significativo (Cadena, 2006).

La manifestación de este fenómeno se hace presente en la mayoría de las regiones naturales del país, haciendo que se deban implementar medidas necesarias para la mitigación de los daños provocados por dicha anomalía a través de sistemas de alerta temprana u otro tipo de procedimientos gubernamentales.

1. GENERALIDADES

1.1 ¿Qué es la sequía?

Encontrar una única definición para el concepto de sequía es particularmente difícil, ya que existen diversas fuentes cuya interpretación es dada según las necesidades de las diferentes instituciones a nivel mundial dedicadas al estudio de este fenómeno.

Una definición dada por Cadena (2006), afirma que la sequía corresponde a una deficiencia de precipitación por un periodo extenso de tiempo, que genera déficit hídrico en áreas determinadas, y altera el desarrollo normal de los procesos biofísicos y socioeconómicos en la región afectada. Esta validación conceptual, establece una relación directa entre el componente espacial y temporal de la sequía, identificando rápidamente las dimensiones donde debe establecerse un monitoreo continuo de este fenómeno.

La WMO (Organización Mundial Meteorológica) citado por Cadena 2006, define la sequía como una deficiencia constante extendida de precipitaciones, mientras que el IDEAM la resume como una ausencia prolongada de precipitaciones o escasez acusada de precipitación en una región para un periodo de tiempo determinado. Esta última definición, integra de manera más clara las dimensiones espacio – tiempo que la definición genérica de la WMO.

Otras definiciones dadas por diversos autores describen a la sequía como:

- Anormal periodo seco suficientemente prolongado para que la falta de agua cause un serio desbalance hidrológico (daños a los cultivos, desabastecimiento de agua, etc.) y altera el desarrollo normal de los procesos biofísicos y socioeconómicos en la zona afectada (Hurtado 1986, citado por Cadena 2006).
- Fenómeno que se produce naturalmente cuando las lluvias han sido considerablemente inferiores a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción de recursos tierras (Convención de las Naciones Unidas contra la desertificación en países afectados por sequía grave y desertificación 2004 citado por Mayorga et al. 2006).

Tanto la convención de las Naciones Unidas (2004), como Hurtado (1986), definen la sequía desde el punto de vista agro productivo, determinando que dicho fenómeno afecta gravemente las actividades agropecuarias que concluyen en daños económicos para una región determinada.

Como se ha comentado anteriormente, el concepto de sequía ha sido definido por diversos autores según como sus investigaciones han observado y abordado el fenómeno, de esta manera Heras (1983) citado por Cadena (2006), la define como una ocurrencia de más de tres meses consecutivos del periodo de lluvias con menos del 80% del valor medio mensual o un valor anual menor del 70% del valor medio anual. Esta definición claramente cuantifica el periodo desde donde se puede establecer que existe una sequía, además relaciona los valores medios mensuales y anuales de lluvia (elementos meteorológicos directos), con la ocurrencia del fenómeno, para así generar alertas que permitan la mitigación de los efectos derivados del fenómeno.

Como consecuencia de los graves problemas ambientales, productivos, económicos, sociales, etc., la sequía ha sido catalogada como un fenómeno natural potencialmente peligroso (Cadena 2006), debido a que sus efectos son crecientes en el tiempo, con lo que se hace difícil determinar el comienzo, y los impactos generados a una región hasta que no empiezan a sentirse sus consecuencias.

1.2 Clases de sequía BBBB

Como se comentó anteriormente las definiciones de sequía varían según el lugar, y el resultado de su diagnostico, así que el NDMC (National Drought Mitigation Center) clasifica este fenómeno en:

Sequía Meteorológica: Es definida usualmente comparando la precipitación del periodo (días, meses e incluso años) de una zona específica con el registro histórico de la precipitación media para esa zona o región. Esta sequía está basada en un solo parámetro, la cantidad de precipitación que se registra debido a unas condiciones atmosféricas dadas; si hay reducción notoria de la precipitación existió sequía meteorológica (Mayorga et al 2006)

Sequía Agrícola: ocurre cuando las raíces de las plantas no obtienen la suficiente humedad del suelo para compensar las pérdidas por evapotranspiración, ó cuando la cantidad de precipitación, su distribución, las reservas de agua en el suelo y las

pérdidas producidas por la evaporación e combinan para causar una disminución considerable de los rendimientos agropecuarios (WMO 1975 en Cadena 2006)

Sequía Hidrológica: se refiere a las deficiencias hídricas en la superficie y subsuelo. Es medida según el nivel de los lagos embalses y caudales de ríos (Harpal et al. 2004)

Adicionalmente a las anteriores clasificaciones, Cadena (2006) propone lo siguiente:

Sequía Estacional: son estaciones lluviosas o secas bien definidas, típicas de las regiones tropicales. Cada año se espera este tipo de sequía en la estación seca dada, debido al comportamiento climático en los patrones de circulación atmosférica.

Sequía Contingente: provocada por una distribución muy irregular y variable de la lluvia, sucede durante periodos más o menos prolongados en los cuales las lluvias son considerablemente menores a lo normal.

Independiente del número de clases en que puede dividirse el concepto general de sequía, cada una de dichas variedades se refiere a un punto de vista en el cual los diferentes autores enmarcan los conceptos; dicho esto a pesar que la sequía estacional y la sequía contingente son definidas como clases aparte, estas se pueden considerar desde una perspectiva mucho más general como sub clases de la sequía meteorológica ya que son directamente atadas a la disminución o abundancia de precipitaciones en un periodo determinado.

1.3 Predecir la sequia

Los estudios empíricos realizados durante el siglo pasado han demostrado que la sequía meteorológica no es el resultado de una sola causa. Es el resultado de muchas causas, a menudo sinérgica en la naturaleza.

Los científicos no saben cómo predecir la sequía de un mes o más de antelación para la mayoría de lugares. La predicción de la sequía depende de la capacidad de pronosticar dos parámetros fundamentales meteorológicos de superficie, la precipitación y la temperatura. De los registros históricos sabemos que el clima es

inherentemente variable. También sabemos que las anomalías de la precipitación y la temperatura pueden durar desde varios meses a varias décadas. ¿Cuánto tiempo duran, depende de las interacciones aire-mar, la humedad del suelo y los procesos de la superficie del suelo, la topografía, la dinámica interna, y la influencia acumulada de los sistemas meteorológicos sinópticos dinámicamente inestable en la escala global. La posibilidad de predecir la sequía en el futuro cercano depende según la región, la estación y régimen climático.

1.3.1 Los patrones climáticos globales

Una gran parte de la investigación se ha realizado en los últimos años sobre el papel de los sistemas de interacción, o teleconexiones, para explicar los patrones regional e incluso global de la variabilidad climática. Estos patrones tienden a repetirse periódicamente con una frecuencia suficiente y con características similares durante un período suficiente de tiempo que ofrecen oportunidades para mejorar nuestra capacidad de predicción del clima a largo plazo, particularmente en los trópicos. Una teleconexión tal es el fenómeno de El Niño / Oscilación del Sur (ENOS).

1.3.1.1 Fenómeno del niño y la niña en Colombia (Ideam)

❖ Generalidades

El ciclo conocido como "el Niño" y su fase opuesta "la Niña" son la causa de la mayor señal de variabilidad climática en la franja tropical del océano Pacífico, en la escala interanual. Son las componentes oceánicas del ENOS (Oscilación del Sur) que corresponde a la aparición, de tiempo en tiempo, de aguas superficiales relativamente más cálidas (El Niño) o más frías (La Niña) que lo normal en el Pacífico tropical central y oriental, frente a las costas del norte de Perú, Ecuador y sur de Colombia.

Estas alteraciones de la estructura térmica superficial y subsuperficial del océano están asociadas con el debilitamiento de los vientos alisios del Este y con el desplazamiento del núcleo de convección profunda del Oeste al Centro del Océano Pacífico tropical, en ocasiones El Niño ó con su permanencia e intensificación, en el caso de La Niña.

Por su localización geográfica, Colombia recibe la influencia directa de los procesos que se suscitan en el sistema acoplado océano-atmósfera del Pacífico tropical, asociados al ciclo ENOS y se ha podido establecer claramente, que la intensidad de los fenómenos El Niño y La Niña está en función directa con la magnitud de las anomalías registradas en la temperatura superficial y subsuperficial del océano y con el área cubierta por las mismas. El efecto climático depende de la época del año en que se presentan los fenómenos y el impacto socioeconómico está más relacionado con la vulnerabilidad de las diferentes regiones del país y de los sectores de la actividad nacional.

El análisis de la información histórica generada por el IDEAM, indica que las alteraciones producidas en el régimen de lluvias en Colombia son explicadas -en buena parte- por la variabilidad climática interanual, relacionada con los fenómenos El Niño y La Niña, los cuales han sido causa de sequías extremas y lluvias extraordinarias en diferentes regiones del país, generando un efecto negativo sobre el medio físico natural y un impacto social y económico de grandes proporciones. La Figura 7 y 8 presenta las anomalías de precipitación para un año El Niño y para un año La Niña, mostrando las regiones que se ven más afectadas por este fenómeno macroclimático. En la región de Santander, zona Guanentina observamos un déficit ligero en el clima cuando se presentan años niño o niña, notando que este fenómeno si interviene en el cambio climático de esta región.

En los últimos 25 años el país ha recibido el impacto socioeconómico del efecto climático del fenómeno de El niño en los años:

- 1972-1973
- 1982-1983
- 1991-1992
- **1994-1995**
- **1997-1998**
- **2002-2003**

Y de la niña en los años:

- **1975-1976**
- **1988-1989**
- **2000-2001**
- **2010-2011**

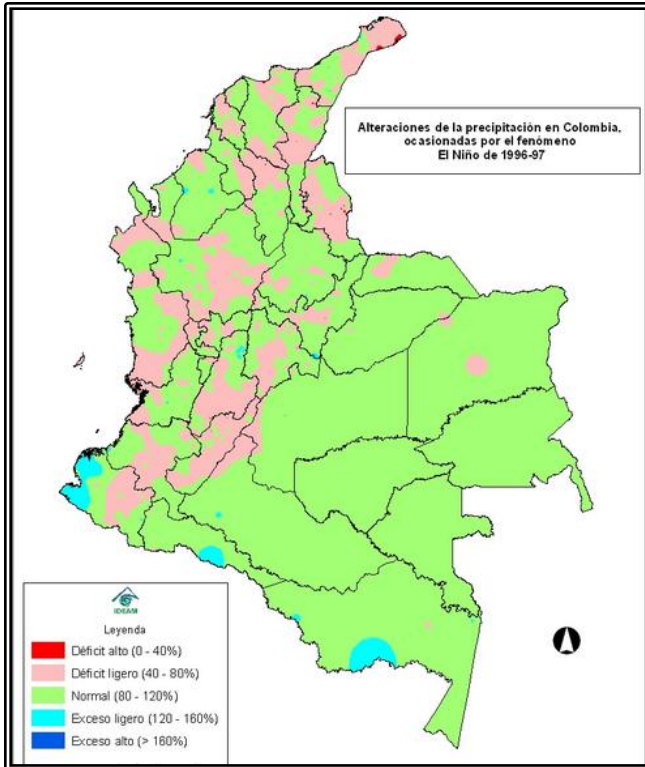


Figura 1. Alteraciones de la precipitación en Colombia ocasionadas por el fenómeno del niño 1996-1997 (fuente: Ideam)

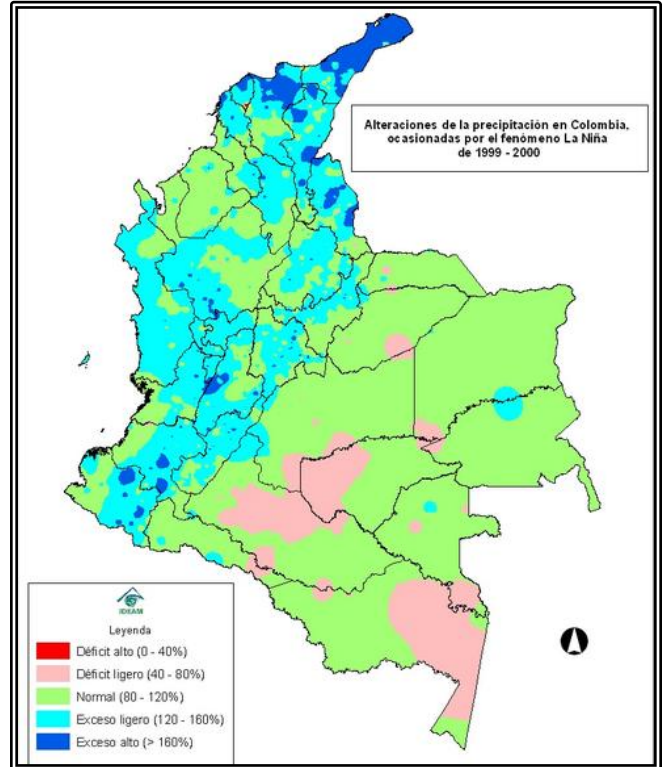


Figura 2. Alteraciones de la precipitación en Colombia ocasionadas por el fenómeno de la Niña de 1999-2000 (fuente: Ideam)

Análisis de datos de precipitación

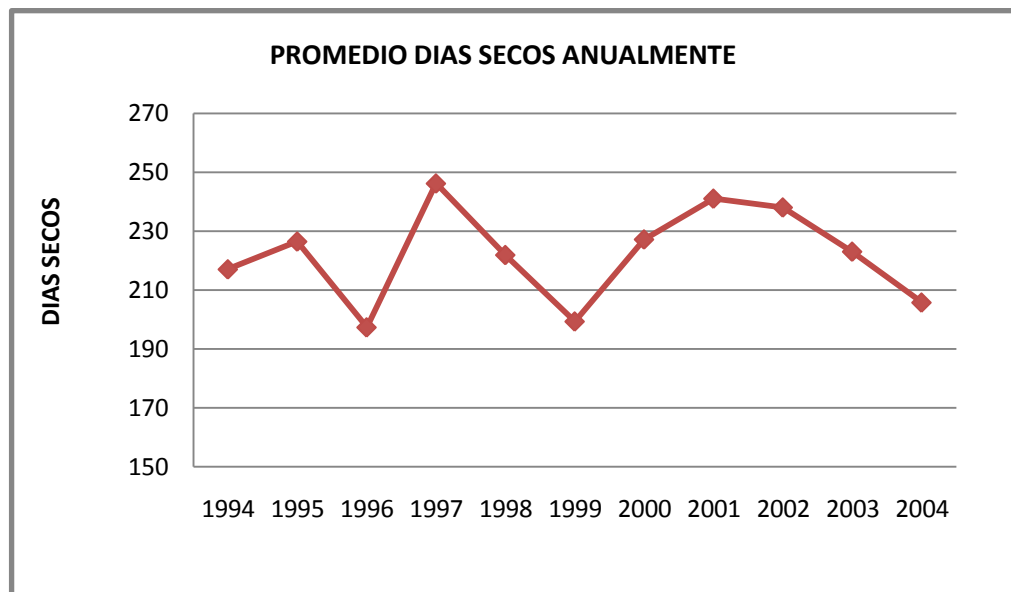


Figura 3. Promedio todas las estaciones de días secos anualmente

En general podemos observar que los años en donde el número de días sin lluvia es mayor, se debe a que se presenta el fenómeno del niño (periodo cálido) y lo contrario ocurre para los periodos con fenómeno de la Niña (Figura 1 y 2). Debido a que en el año 1996 hay un porcentaje de datos faltantes considerable no analizamos ese periodo

1.3.2 Patrones locales

La causa inmediata de la sequía es el movimiento descendente predominante de aire (subsistencia) que resulta en el calentamiento de compresión o de alta presión, que inhibe la formación de nubes y resulta en una menor humedad relativa y precipitaciones. Regiones bajo la influencia de presión alta semipermanente durante la totalidad o una parte importante del año suelen ser desiertos, como el Sahara y el desierto de Kalahari de África y el desierto de Gobi, en Asia. La mayoría de las regiones climáticas experimentan diversos grados de dominio de alta presión, a menudo dependiendo de la temporada. Sequías prolongadas se producen en gran escala de las anomalías en los patrones de circulación atmosférica persistir por meses o temporadas (o más). La sequía extrema que afectó a los Estados Unidos y Canadá durante el año 1988 se dió como resultado de la persistencia de una anomalía de la circulación atmosférica a gran escala.

1.3.3 Monitoreo y seguimiento de la sequía

Una sequía es un peligro latente que puede ocurrir en cualquier región del mundo. Este fenómeno causa sufrimiento físico, pérdidas económicas y degradación del medio ambiente, además de ser clasificado como un proceso anómalo de difícil detección y cuantificación de sus daños. El costo y la miseria generada por esta anomalía climática, es situada al mismo nivel que fenómenos como terremotos, tifones, tornados, etc.(Harpal et al. 2004), generando estos el mismo tipo de destrucción que la provocada por una sequía, cuyas consecuencias directas se manifiestan a partir de la alteración sustancial de la estructura de los paisajes (afectando las reservas de agua utilizadas en cultivos y la supervivencia de vida salvaje), que indirectamente se traducen en daños económicos y ambientales sobre una región.

Por lo expuesto anteriormente, el monitoreo de la sequía debe hacerse de manera adecuada, a través de métodos y procesos que permiten optimizar el tiempo de diagnóstico de estos fenómenos. Es por ello que una de las herramientas más completas y complejas de realizar un monitoreo, son las que deducidas a partir de índices o indicadores, que a partir de una serie variables climáticas, se realice un procesamiento de estos datos, dando como resultado una serie de valores que permiten estimar la severidad de la anomalía climática. Estas variables son: **precipitación, temperatura del aire, humedad del aire, velocidad del viento, brillo solar, capacidad de almacenamiento del suelo**, las cuales combinadas dentro de los métodos de cálculo permiten establecer en términos generales la intensidad, duración y superficie involucrada de la sequía (Cadena 2006). En nuestro caso la variable climatológica utilizada para los análisis de datos es **LA PRECIPITACION**.

1.4 Impactos de la sequía

Entre los mayores desastres naturales, las sequías son especiales en cuanto al periodo de tiempo que existe entre las primeras señales que indican que se está desarrollando una sequía y el momento en el cual la población empieza a sentir un impacto notable en el área afectada. La duración de dicho "periodo de aviso" varía enormemente entre las sociedades.

En muchas sociedades el periodo de aviso puede ser de varios meses, mientras que en otras, tal vez, sólo sea de unas pocas semanas. Cualquiera que sea el periodo de aviso, este tiempo permite preparar una respuesta potencial para mitigar los impactos de la sequía antes de que estos sean demasiado severos.

Las sequías, siempre o casi siempre, producen un impacto directo y notable en la producción de alimentos y en la economía en general. El impacto en una población particular está relacionado con la gravedad y la naturaleza de la sequía, pero igualmente, y a veces mucho más importante, con la naturaleza de la economía y sociedad del área afectada.

Los efectos de la sequía pueden ser sentidos a corto y a largo plazo, afectando no sólo las actividades productivas del campo, como la agricultura y la ganadería,

sino también a actividades industriales básicas y al bienestar y la salud de los habitantes de las comunidades rurales y urbanas.

Los efectos de la sequía están relacionadas principalmente con la falta de agua, los cuales se ven agravados por otros factores que cuando ocurren asociados con la escasez de humedad hacen más crítica la situación. Entre otros se encuentran los siguientes: altas o bajas temperaturas, vientos huracanados y la incidencia de ciertos patógenos. También es común que, después de períodos secos, se presenten lluvias torrenciales que, ante la degradación de la cubierta vegetal y el descuido y deterioro en los cauces naturales del agua, causen catástrofes que indirectamente pudieran ser atribuidas a la sequía. El hombre a través de algunas prácticas contribuye a hacer más agudos los impactos de los factores que producen la sequía. Destacan aquellas prácticas que disminuyen la capacidad de retención de humedad del suelo o que propician la erosión, tales como: destrucción de la materia orgánica por medio de quema de rastrojos y el abuso en el uso de la fertilización química, el monocultivo, la quema no controlada de pastizales, el barbecho en épocas de escasa precipitación, el despiedre en terrenos con pendiente, la agricultura en terrenos inapropiados para ello y, de forma notable, el abuso en el uso del agua en épocas en que se dispone de ella.

1.4.1 Impactos económicos

Muchos impactos económicos ocurren en la agricultura y sectores relacionados, a causa de la confianza de estos sectores en los suministros de agua superficiales y subterráneos. Además de pérdidas en rendimientos en la producción de cultivos y ganadería, la sequía está asociada con infestaciones de insectos, enfermedades de plantas y erosión del viento. La incidencia de incendios en campos y bosques se incrementa substancialmente durante períodos extensos de sequías, lo que coloca a las poblaciones humanas y silvestres en altos niveles de riesgo.

La pérdida de ingresos es otro indicador usado en la evaluación de los impactos de la sequía. Esto conduce al desempleo, incremento en el riesgo de créditos para instituciones financieras, carencia de capitales, y eventual pérdida de ingreso de impuestos para los gobiernos.

Los precios de los alimentos, la energía, y otros productos se incrementan, conforme los suministros se reducen. El suministro reducido de agua imposibilita la navegabilidad de ríos y conlleva al incremento de costos de transporte, ya que

los productos deben ser transportados por medios alternativos. La producción hidroeléctrica puede también verse significativamente afectada.

Las pérdidas debidas a la sequía en los Estados Unidos son de entre 6 y 8 billones cada año normalmente. Su punto álgido fue de 39 billones de dólares estadounidenses en la sequía de 1987 a 1989, que fue el desastre natural más costoso documentado en la historia de los Estados Unidos, después del causado por el paso del huracán Katrina en el verano de 2005. La continua incertidumbre en el pronóstico de la sequía contribuye a los pagos de seguros agrícolas de más de 175 millones de dólares estadounidenses por año sólo en el oeste de Canadá.

Podemos resumir los efectos económicos de la sequía en los siguientes:

1. Costes y pérdidas agrícolas

- Pérdidas de cosechas anuales y perennes
- Daño a la calidad de las cosechas
- Pérdida de ingresos para los agricultores debido a la reducción de las cosechas
- Productividad reducida de las tierras de cultivo (erosión del viento, pérdida de materia orgánica, etc.)
- Plagas de insectos
- Enfermedades de las plantas
- Daño de la fauna salvaje a las cosechas
- Incremento en los costes de irrigación
- Costes del desarrollo de los recursos hídricos nuevos o suplementarios

2. Costes y pérdidas de los ganaderos

- Productividad reducida de las dehesas
- Disminución de la producción de leche
- Reducción forzada del ganado
- Limitación o cierre de las tierras públicas para el pastoreo
- Coste elevado o no disponibilidad de agua para la ganadería
- Coste del desarrollo de los recursos hídricos nuevos o suplementarios
- Coste elevado o no disponibilidad de comida para el ganado
- Aumento de los costes del transporte de los alimentos
- Tasas elevadas de mortalidad del ganado
- Interrupción de los ciclos de reproducción
- Disminución del peso del ganado

- Aumento de la depredación

3. Pérdida de la producción de madera

- Incendios forestales
- Enfermedades de los árboles
- Plagas de insectos
- Disminución de la productividad forestal
- Pérdida directa de árboles, especialmente jóvenes

4. Pérdida de la producción pesquera

- Daño al hábitat de los peces
- Pérdida de peces y otros organismos acuáticos debido a la disminución de los flujos de agua

5. Efectos económicos generales

- Disminución del precio de las tierras
- Pérdida de las industrias directamente relacionadas con la producción agrícola
- Desempleo por disminución de la producción debido a la sequía
- Tensión sobre las instituciones financieras
- Pérdida de ingresos de los gobiernos
- Reducción del desarrollo económico
- Pérdida de la población rural

6. Pérdida de la industria del turismo y del ocio

7. Efectos relacionados con la energía

- Aumento de la demanda de energía y suministro disminuido debido a las restricciones de energía relacionadas con la sequía
- Mayores costes asociados a la sustitución por combustibles más caros

8. Suministradores de agua

- Coste del transporte de agua
- Coste del desarrollo de recursos hídricos suplementarios o nuevos

9. Industria del transporte

- Pérdida de la navegabilidad de ríos, arroyos y canales

10. Disminución de la producción de alimentos/suministro de alimentos interrumpido

- Aumento en los precios de los alimentos
- Importación incrementada de alimentos (costes mayores)

1.4.2 Impactos ambientales

Las pérdidas ambientales son el resultado de daños a las especies de plantas y animales, hábitat silvestre, y calidad del aire y agua, incendios de los bosques, degradación de la calidad del paisaje, pérdida de biodiversidad y erosión del suelo.

Una sequía extensa puede conducir a la desertificación, a incendios forestales, a corto plazo y a la degradación general de la calidad del suelo. Algunas veces los efectos son de corta duración, restableciéndose las condiciones normales de forma rápida cuando finaliza la sequía, pero otros impactos ambientales persisten durante más tiempo o pueden convertirse en permanentes.

Entre los impactos ambientales que podemos destacar se encuentran los siguientes:

1. Daño a las especies animales

- Reducción y degradación del hábitat de la fauna y de los peces
- Falta de alimentos y de agua de bebida
- Mayor mortalidad de los animales ya que estos buscan comida y los productores son menos tolerantes a la intrusión
- Enfermedades
- Vulnerabilidad incrementada a la predación (de especies concentradas cerca del agua)
- Migración y concentración de la fauna
- Pérdida de biodiversidad

2. Efectos hidrológicos

- Niveles bajos de agua en reservorios, lagos y charcas

- Flujo reducido de los manantiales
- Corrientes disminuidas
- Pérdida de las tierras húmedas
- Impacto en los estuarios (ej. cambios en los niveles de salinidad)
- Disminución de las aguas subterráneas
- Efecto en la calidad de las aguas

3. Daño a las comunidades de plantas

- Pérdida de biodiversidad
- Pérdida de árboles en zonas urbanas, ...

1.4.3 Impactos sociales

Los impactos sociales engloban seguridad pública, salud, conflictos entre los usuarios de recursos hídricos, calidad de vida reducida y desigualdades en la distribución de impactos y ayuda de desastres. Muchos de los impactos identificados como económicos y ambientales tienen también componentes sociales. La migración de población es un problema significativo en muchos países, a menudo estimulada por un suministro mayor de alimentos y de agua. La migración también suele ocurrir hacia las zonas urbanas dentro del área afectada, privando a las zonas rurales de recursos humanos necesarios para el desarrollo económico. En lo relativo a la salud, las sequías tienen mucha importancia como causa de la malnutrición y la hambruna, un problema muy significativo a nivel mundial.

Destacamos los siguientes impactos sociales:

1. Salud

- Estrés físico y mental
- Desnutrición
- Pérdida de vidas humanas
- Aumento de las enfermedades respiratorias

2. Aumento de los conflictos

- Conflictos entre los usuarios de los recursos hídricos
- Conflictos políticos
- Conflictos de gestión

- Otros conflictos sociales

3. Calidad de vida disminuida y cambios en el estilo de vida

- Incremento en general de la pobreza
- Migración de la población
- Pérdida de valores estéticos
- Disminución o modificación de las actividades recreativas

4. Reevaluación de los valores sociales

5. Insatisfacción pública con la respuesta a la sequía de los gobiernos

6. Pérdida de sitios culturales, etc

2. DATOS DE ESTACIONES ELEGIDAS EN LA ZONA GUANENTINA

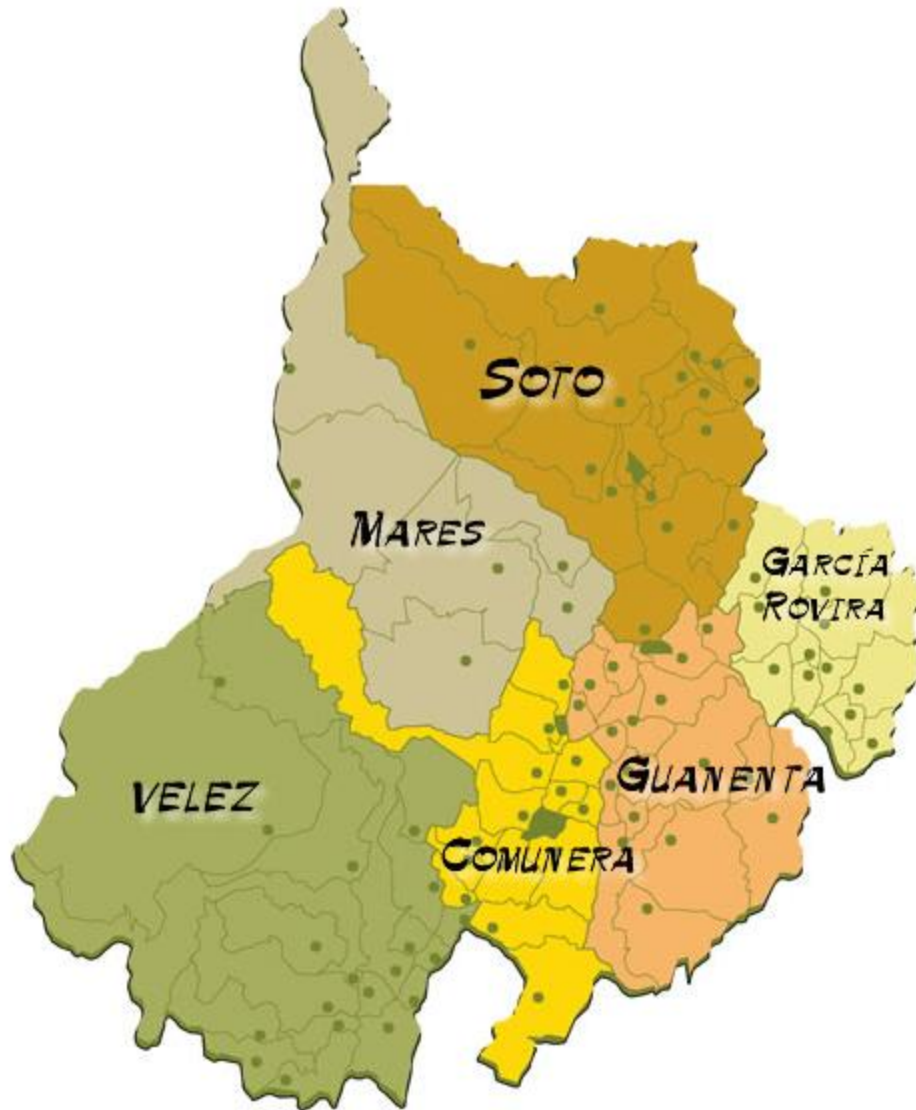


Figura 4. Mapa de provincias de Santander(Fuente: Ideam)

Elegimos las regiones en las cuales sus estaciones presentan un porcentaje de datos faltantes de precipitación menores del 5 % para que los análisis realizados sean más completos;

No	Estación	Entidad	Tipo	Variables	Nivel de Información	PERIODO		Municipio	DATOS FALTANTES (PRECIPITACION DIARIA)		DATOS FALTANTES (TEMPERATURA MENSUAL)	
						DIAS	4015		CANT.	% DATOS FALTANTES	CANT.	% DATOS FALTANTES
						MESES	132					
						F. Inicio	F. final					
1	Barichara	Coltabaco	CO	P,T,H	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Barichara	432	10,76	16	12,12
2	Chochos	Cenicafé	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Hato	92	2,29		
3	Cuchicute	Cenicafé	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Curití	153	3,81		
4	Curití N2	IDEAM	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Curití	123	3,06		
5	EL Cucharó	IDEAM	CP	P,T,H,V,B	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Pinchote	549	13,67	8	6,06
6	El Palmar	IDEAM	CO	P,T,H	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	El Palmar	426	10,61	0	
7	El Remolino	IDEAM	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Cabrera	373	9,29		
9	Hda El Mamonal	IDEAM	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	San Gil	205	5,11		
10	La Fuente	IDEAM	PM		Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Zapatoca	311	7,75		
11	La Mesa	IDEAM	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Los Santos	153	3,81		
12	Los Santos	Coltabaco	CO	P,T,H	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Los Santos	179	4,46	6	4,55
13	Las Flores	Cenicafé	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Pinchote	0	0,00		
14	San Gil	Coltabaco	CO	P,T,H	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	San Gil	365	9,09	12	9,09
15	Santa Isabel	IDEAM	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	San Gil	122	3,04		
16	Santa Rita	Cenicafé	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	San Gil	1	0,02		
17	Zapatoca	IDEAM	CO	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Zapatoca	264	6,58		

Tabla 1. Porcentaje Datos faltantes de estaciones zona Guanentina

Del total de estaciones de precipitación (Tabla 1) se analizaron las series de precipitación diaria de las estaciones de Chochos, Cuchicute, Curití N2, La mesa, Las flores, Sta. Isabel y Sta. Rita desde 1994 hasta el año 2004, por ser las que menor cantidad de datos faltantes presentaban. En estas estaciones se calcularon los periodos de sequia, periodo de días secos mensualmente, máximo periodo de días secos consecutivos mensuales y anuales. La información de las estaciones mencionadas hace parte de la serie de datos utilizados en el proyecto de balance hídrico a largo plazo en la mesa de barichara.

No	Estación	Entidad	Tipo	Variables	Nivel de Información	PERIODO		Municipio	DATOS FALTANTES (PRECIPITACION DIARIA)	
						DIAS	4015		CANT.	% DATOS FALTANTES
						MESES	132			
						F. Inicio	F. final			
2	Chochos	Cenicafé	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Hato	92	2,29
3	Cuchicute	Cenicafé	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Curití	153	3,81
4	Curití N2	IDEAM	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Curití	123	3,06
11	La Mesa	IDEAM	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Los Santos	153	3,81
13	Las Flores	Cenicafé	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	Pinchote	0	0,00
15	Santa Isabel	IDEAM	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	San Gil	122	3,04

16	Santa Rita	Cenicafé	PM	P	Diaria	01/01/1994	31/12/2004	San Gil	1	0,02
----	------------	----------	----	---	--------	------------	------------	---------	---	------

Tabla 2. Porcentaje Datos faltantes de estaciones elegidas

Con base en los cuadros de precipitación mensual se hizo una gráfica de los datos de cada estación para observar el comportamiento de las lluvias en todo el periodo analizado (figuras 5 a 9).

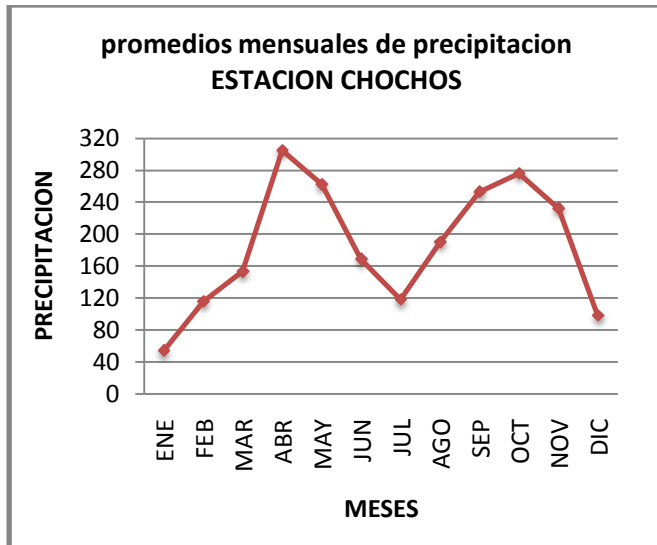


Figura 5. Promedios mensuales de precipitación Estación chochos

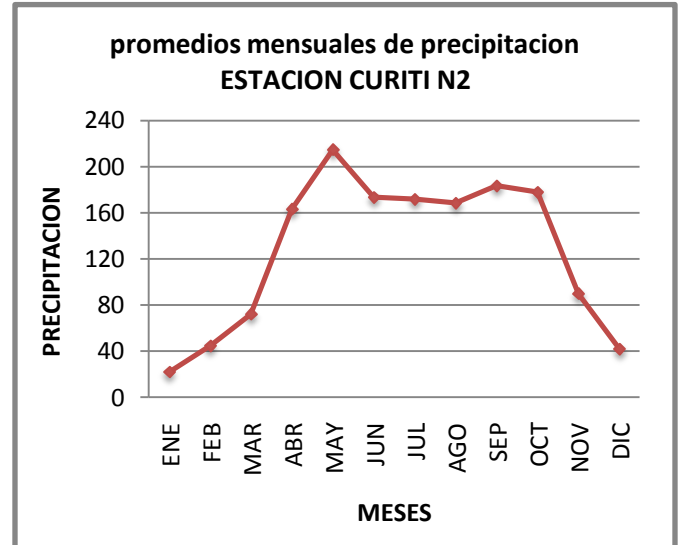


Figura 6. Promedios mensuales de precipitación Estación Curití N2

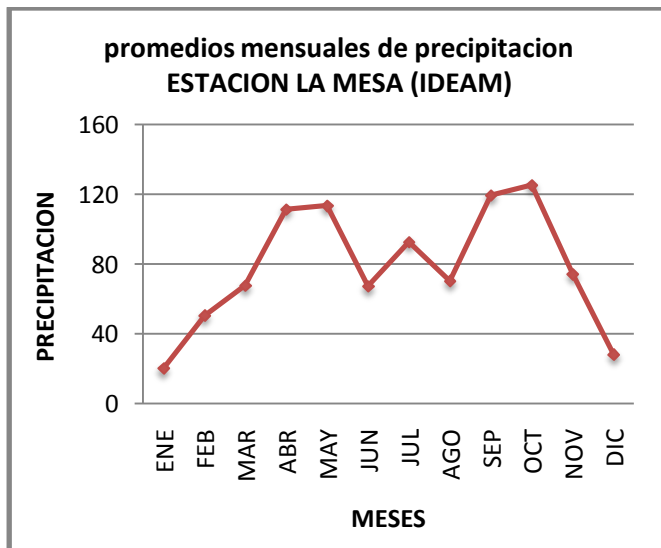


Figura 7. Promedios mensuales de precipitación Estación La Mesa (IDEAM)

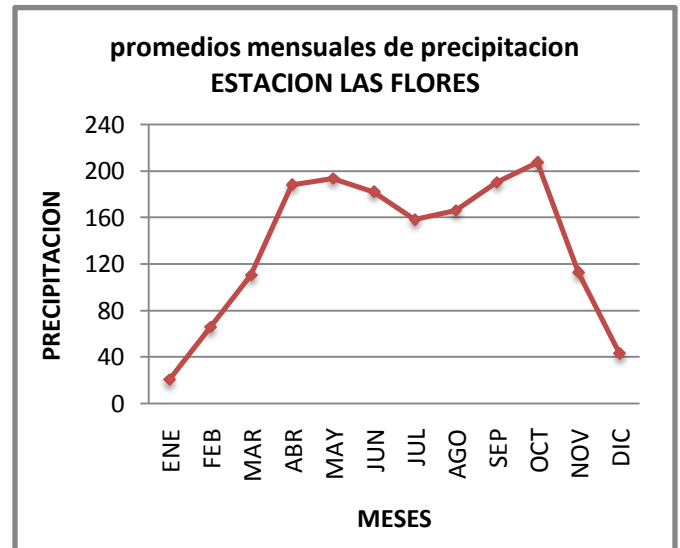


Figura 8. Promedios mensuales de precipitación Estación Las Flores

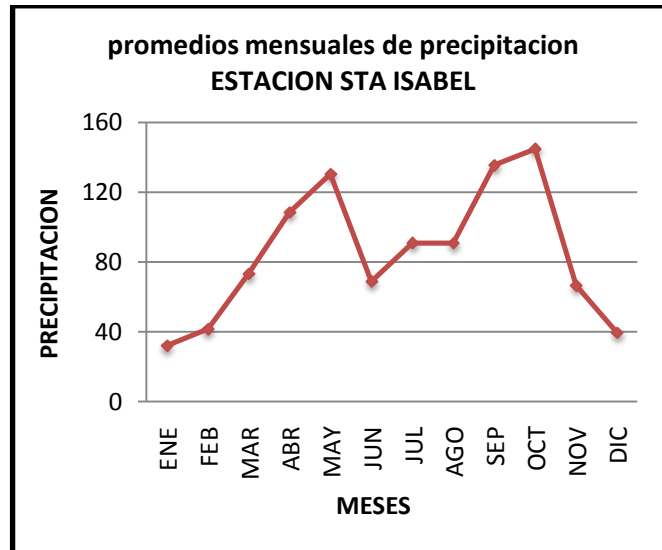


Figura 9. Promedios mensuales de precipitación Estación Sta Isabel

Podemos observar un comportamiento bi-modal en todas las estaciones analizadas obteniendo dos grandes picos de precipitación en dos periodos del año (Marzo-Abril-Mayo y Septiembre-Octubre-Noviembre), debido al desplazamiento de la zona de convergencia intertropical. De las estaciones analizadas las de menor precipitación anual son la La Mesa y Santa Isabel ubicadas en los municipios de Los Santos y San Gil, respectivamente.

3. ANALISIS DE DATOS Y METODOLOGIA

Así como existen múltiples conceptos para definir la sequía, se han deducido muchas formas de monitorear cuantitativamente los efectos de la misma, ello dependiendo en gran medida el área de estudio y la disciplina en la cual se realiza deducción del método (Mayorga et al. 2005). Un índice de sequía es definido por diversos autores como: Relación usada con el fin de parametrizar las características espaciales y temporales de la sequía (Hurtado 1986 citado por Cadena 2006).

Número que señala en forma indirecta el grado de afectación de un territorio por la deficiencia de humedad, como resultado de un inadecuado suministro de agua al suelo o por una demanda inusual por parte de la vegetación (Villa y Guerra 1985 citado por Cadena 2006).

Cadena (2006), concluye que un índice de sequía es aquel valor que permite clasificar mediante rangos, el grado de afectación de un territorio, debido a la ocurrencia de una sequía, y avanza un poco más ya que afirma que este número es de por sí más útil que los datos climáticos originales, a la hora de tomar decisiones.

Los índices se calculan con el fin de evaluar las posibles condiciones de sequía y/o estado de humedad del suelo en una región o territorio observado.

Los diferentes tipos de índices los podemos clasificar según el origen de los datos:

3.1 Índices basados en datos meteorológicos (métodos estadísticos)

Estos índices son aquellos que tienen como origen datos climáticos directos (precipitación, temperatura, brillo solar, etc.) y procesados o derivados de los datos directos (evapotranspiración, capacidad de almacenamiento de agua, etc.), se dividen en índices de lluvia e índices basados en el balance hídrico.

Dentro de los índices de lluvia, los cuales sólo tienen en cuenta la precipitación como insumo básico para el cálculo del índice se tiene:

3.1.1 Máximo número de días consecutivos sin lluvia

Para realizar un diagnóstico de las temporadas de sequía en las estaciones analizadas, se realizó el cálculo del máximo número de días consecutivos sin lluvia, anualmente. La figura 9 muestra que en el período analizado (1994 – 2004) los años con mayor número de días consecutivos sin lluvia se dió, en general para todas las estaciones, en los años 1995, 2001 y 2004.

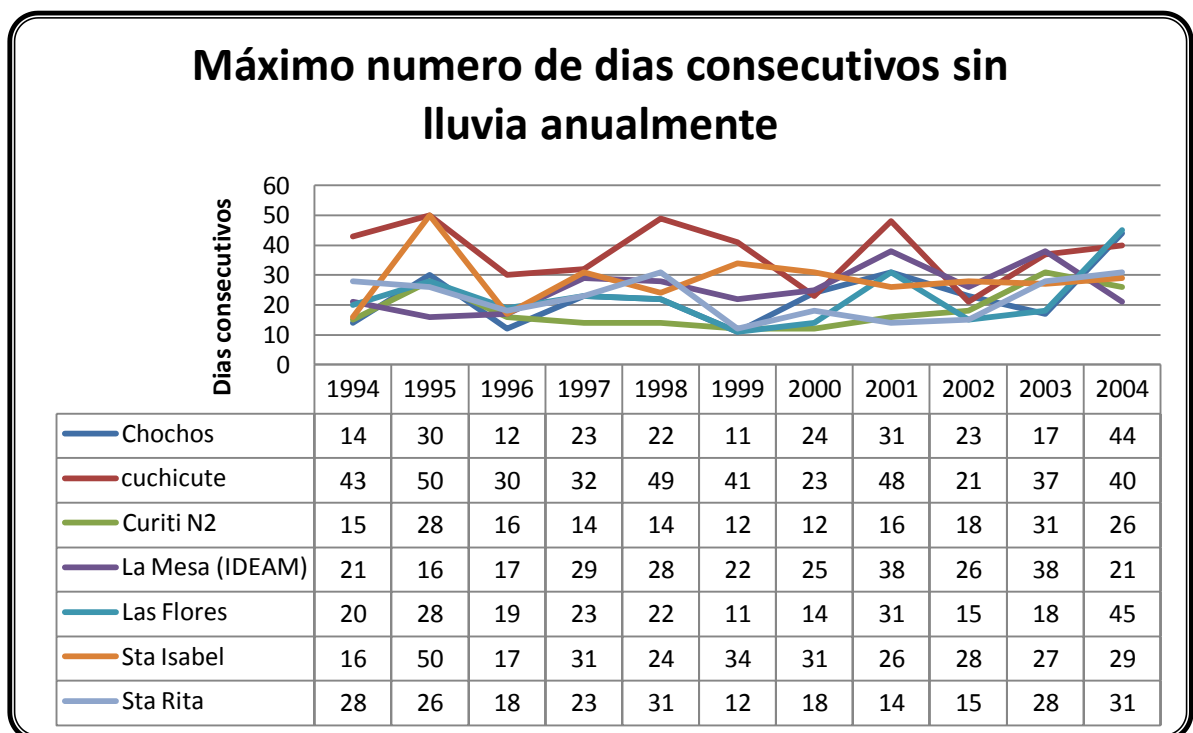


Figura 10. Máximo número de días consecutivos sin lluvia anualmente

Las Figuras 11 a 17 presentan el máximo número de días consecutivos sin lluvia mensual para todas las estaciones analizadas. En general el mes de Enero es el que presenta una mayor cantidad de días sin lluvia, llegando a tener valores de 25 a 30 días sin lluvia para algunas estaciones.

3.1.1.1 Estación chochos



Figura 11. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Chochos

En la estación de chochos podemos observar que la mayor cantidad de días consecutivos sin lluvia se presentan en el mes de enero, en los años 1998 y 2004 es cuando más alto se encuentra, estableciéndose una sequia casi en la totalidad del mes de enero

3.1.1.2 Estación Cuchicute



Figura 12. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Cuchicute

En la estación de Cuchicute podemos observar los más altos picos en los meses de enero, aunque vemos que es una región en donde llueve poco, la mayoría del tiempo es seco, se nota una tendencia de disminución de los días sin lluvia consecutivos

3.1.1.3 Estación Curití N2



Figura 13. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Curití N2

En la estación de Curití N2 observamos también los más altos picos de días consecutivos sin lluvia en el mes de enero, lo cual nos dice que este mes es el más seco del año y terminando con diciembre que es el mes que da inicio a este fenómeno de sequía.

3.1.1.4 Estación La mesa



Figura 14. Número de días consecutivos sin lluvia Estación La Mesa

En la estación de la mesa podemos observar que los picos mas altos de días consecutivos sin lluvia se encuentran en los años 1998, 2001, 2003 en el mes de enero, se presenta un clima muy variable, pasa de meses muy a secos a meses húmedos en poco tiempo, esta estación presenta un clima muy variable, podría decirse que llueve la mitad del tiempo y la otra son días secos.

3.1.1.5 Estación Las Flores

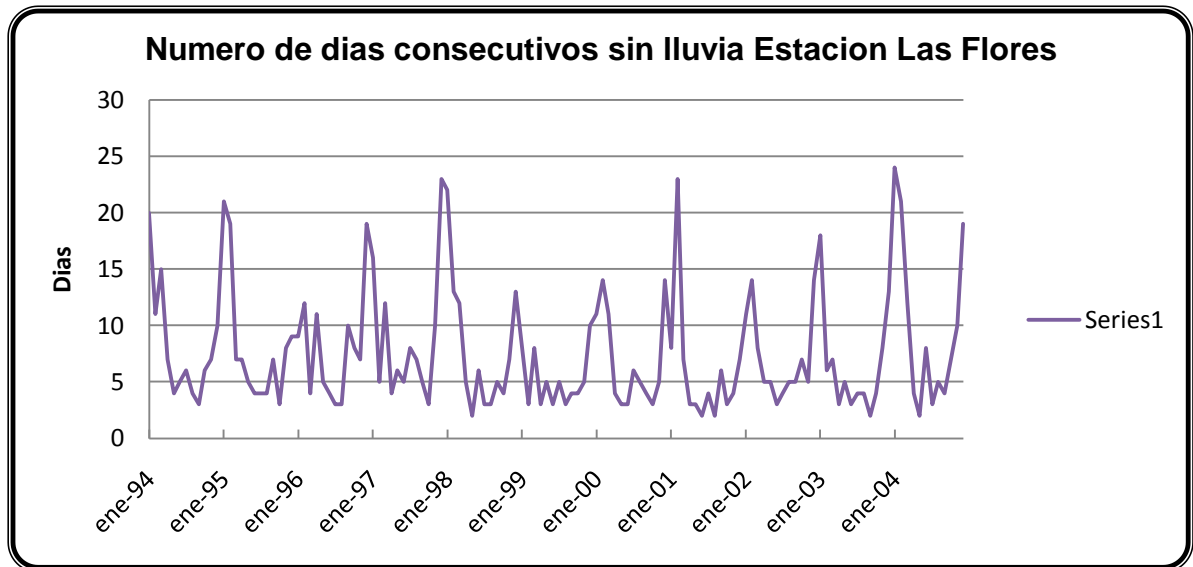


Figura 15. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Las Flores

En la estación de las flores podemos observar el mes de sequia prolongado como lo es enero, meses húmedos como abril y octubre, en donde vemos la gran diferencia con los otros meses del año en los cuales la cantidad de días sin lluvia consecutivos es poca, podemos decir que esta región presenta días bastantes lluviosos en comparación con los días secos. Esta región están aumentando los días consecutivos sin lluvia, pero los periodos en los que se presentan están disminuyendo.(son menos repetitivos).

3.1.1.6 Estación Sta. Isabel

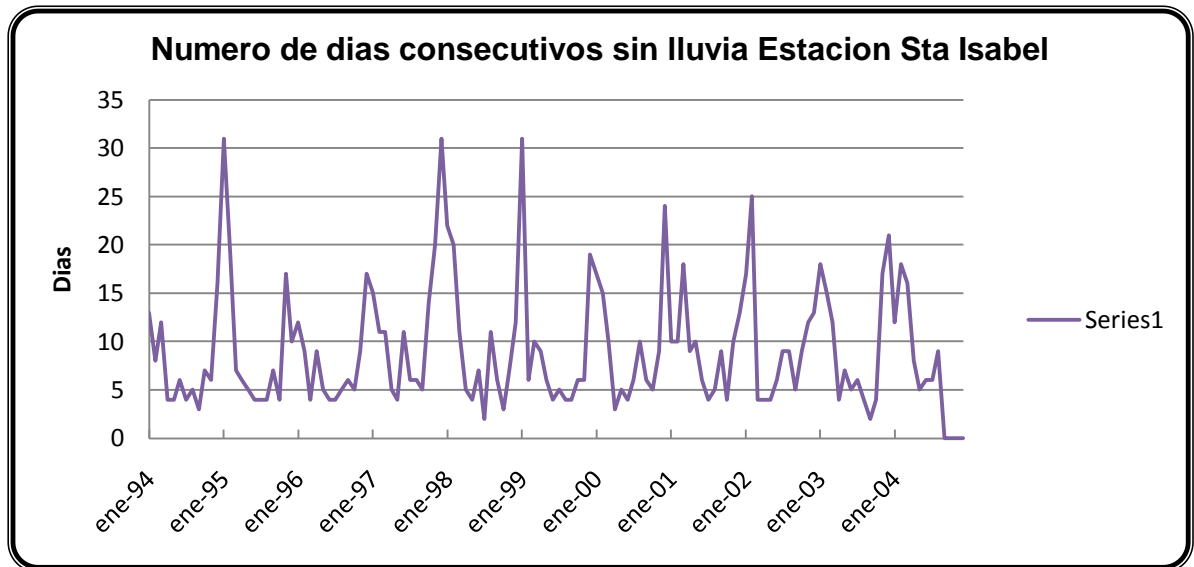


Figura 16. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Sta. Isabel

En la estación de Sta. Isabel observamos la misma tendencia de mes seco diciembre y enero mes húmedo abril y octubre, vemos también un aumento en los días consecutivos sin lluvia a medida del paso de los años, puesto que los picos se tornan mas seguidos en el grafico.

3.1.1.7 Estación Sta. Rita



Figura 17. Número de días consecutivos sin lluvia Estación Sta. Rita

Observamos que la estación de Sta. Rita esta ubicada en una Region poco arida; pues son mas los días de lluvia que los días secos, aunque los días consecutivos sin lluvia están aumentando con el paso de los años.

3.1.2. Índice de precipitación estandarizado (SPI): Se calcula para diversas escalas de tiempo (1 – 48 meses), así como para diversas zonas siendo sólo dependiente de la precipitación. Se basa en ajustar una serie de registros históricos de precipitación a la función de Distribución Gamma y de estandarizar los datos a una función de distribución normal lo que permite que el SPI represente el número de desviaciones estándar que cada registro de precipitación se desvía del promedio histórico.

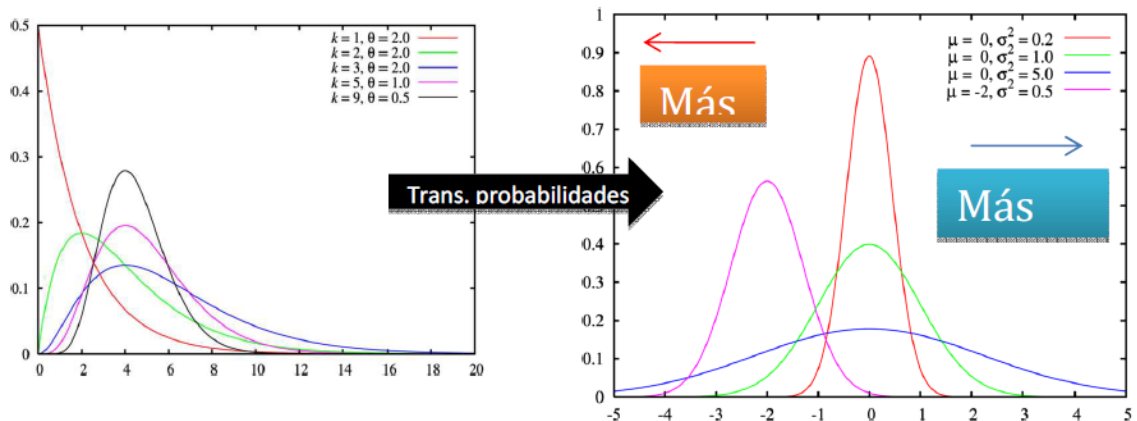


Figura 18. Describe cómo los valores ajustados a una distribución gamma son transformados a probabilidades, las cuales son a ajustadas a una curva de distribución normal que señala el valor del índice

Fuente. El Autor.

La ventaja de este índice, es que utiliza sólo la lluvia como variable de entrada, además es flexible para tiempos demasiado extensos. Considera condiciones antecedentes que permite detecta rápidamente la aparición de meses secos. Una desventaja de este índice es que puede cambiar sustancialmente al ser actualizadas las series históricas o los datos de seguimiento.

He mencionado antes que la distribución normal estándar tiene una media de cero y una desviación estándar de uno. El SPI es una representación del número de desviaciones estándar de la media en el momento que ocurra un suceso, a menudo se llama una "z-score". La unidad del SPI por lo tanto puede ser considerada como "desviaciones estándar".

La desviación estándar es a menudo descrita como el valor a lo largo de una distribución en la que la probabilidad acumulada de un evento es 0,1587. De manera similar, la probabilidad acumulada de cualquier valor del SPI se puede encontrar, y esto será igual a la probabilidad acumulada de los eventos de lluvia correspondiente. La Tabla presenta las probabilidades acumuladas para los distintos valores de SPI.

SPI	Probabilidad Acumulada
-3.0	0.0014
-2.5	0.0062
-2.0	0.0228
-1.5	0.0668
-1.0	0.1587
-0.5	0.3085
0.0	0.5000
0.5	0.6915
1.0	0.8413
1.5	0.9332
2.0	0.9772
2.5	0.9938
3.0	0.9986

Tabla 3. SPI y probabilidad acumulada

De acuerdo a su valor, el SPI puede clasificarse de la siguiente forma:

CLASIFICACIÓN DEL IPE		
IPE	PERIODO	FRECUENCIA TEÓRICA DE OCURRENCIA
-2.00 o menor	Extremadamente Seco (sequía extrema)	1 en 50 años
-1.50 a -1.99	Muy Seco (sequía severa)	1 en 20 años
-1.00 a -1.49	Moderadamente Seco (sequía moderada)	1 en 10 años
-0.5 a -0.99	Ligeramente Seco	1 en 3 años
0.49 a -0.49	Normal	
0.50 a 0.99	Ligeramente Húmedo	
1.00 a 1.49	Moderadamente Húmedo (exceso moderado)	1 en 10 años
1.50 a 1.99	Muy Húmedo (exceso severo)	1 en 20 años
2.00 o mayor	Extremadamente Húmedo (exceso extremo)	1 en 50 años

Tabla 4. Clasificación del SPI (IPE)

Ventajas y desventajas del método

Ventajas principales:

- Simplicidad de cálculo, dado que está basado solamente en la precipitación.
- Puede ser calculado para escalas de tiempo variables, lo cual lo hace aplicable en el ámbito de la meteorología, agricultura e hidrología superficial y subterránea. Esta versatilidad temporal es particularmente útil en el análisis de la dinámica de la sequía (al igual que la de los períodos con excesos hídricos), especialmente en la determinación del comienzo y el fin de estos episodios, lo que es difícil de reconocer por medio de otros índices.
- Su estandarización, lo que asegura que la frecuencia de los eventos extremos en cualquier localidad y en cualquier escala de tiempo sea consistente.
- Por ser un índice muy usado en el mundo, permite el seguimiento, vía Internet, de las condiciones hídricas imperantes en zonas agropecuarias de interés.

Potenciales desventajas:

- Depende de la calidad de los datos de precipitación utilizados. Datos erróneos conducen a SPI erróneos.
- Existe limitación del IPE debido a su naturaleza estandarizada del mismo, es decir que los eventos extremos (secos o húmedos) tienen la misma probabilidad de ocurrencia en cualquier lugar.
- No es capaz de identificar regiones que son más propensas que otras a la ocurrencia de estos tipos de episodios extremos.
- Pueden surgir problemas cuando el SPI es empleado en las escalas de tiempo más cortas (1, 2 ó 3 meses), en regiones de baja precipitación estacional. En estos casos, pueden ocurrir valores positivos (o negativos) altos que son susceptibles de ser erróneamente interpretados. En estas situaciones, un acabado conocimiento de la climatología de estas regiones mejora la interpretación del SPI.

Para el cálculo del índice de precipitación estandarizado utilizamos el programa **SPI SL 6**(http://drought.unl.edu/monitor/spi/program/spi_program.htm#samples).

Los resultados obtenidos de este análisis se observan en las figuras 19 a 23.

ESTACION CHOCHOS

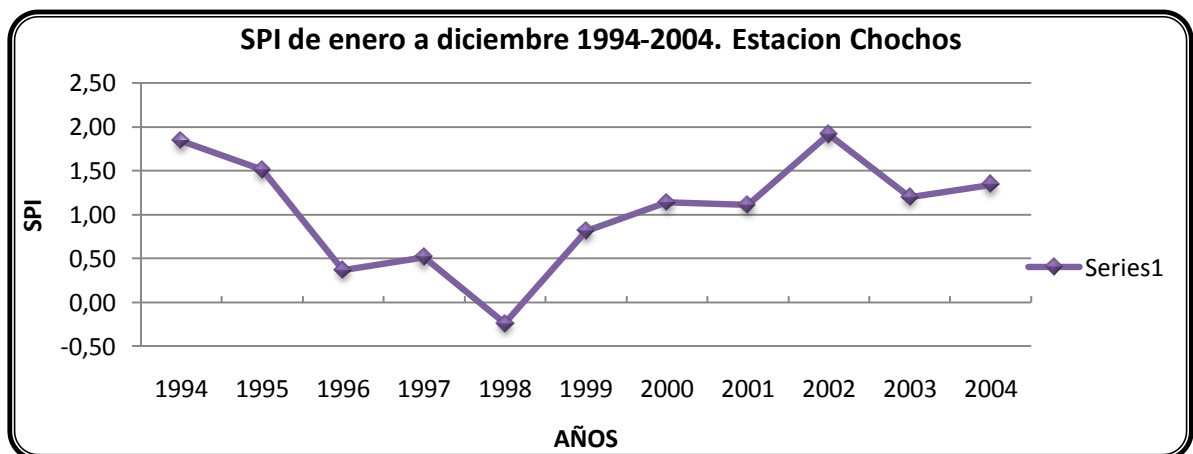


Figura 19. SPI 1994-2004 Estación Chochos

El índice de precipitación estandarizado (SPI) de la estación Chochos pasa del valor extremo de 2 extremadamente húmedo en el año 1994 a un valor negativo en el año 1998, mostrándonos una gran sequia en ese periodo de tiempo. a mediados de 1998 comienza a aumentar el índice lo cual nos dice que empieza a disminuir la sequia en la región.

ESTACION CURITI N2

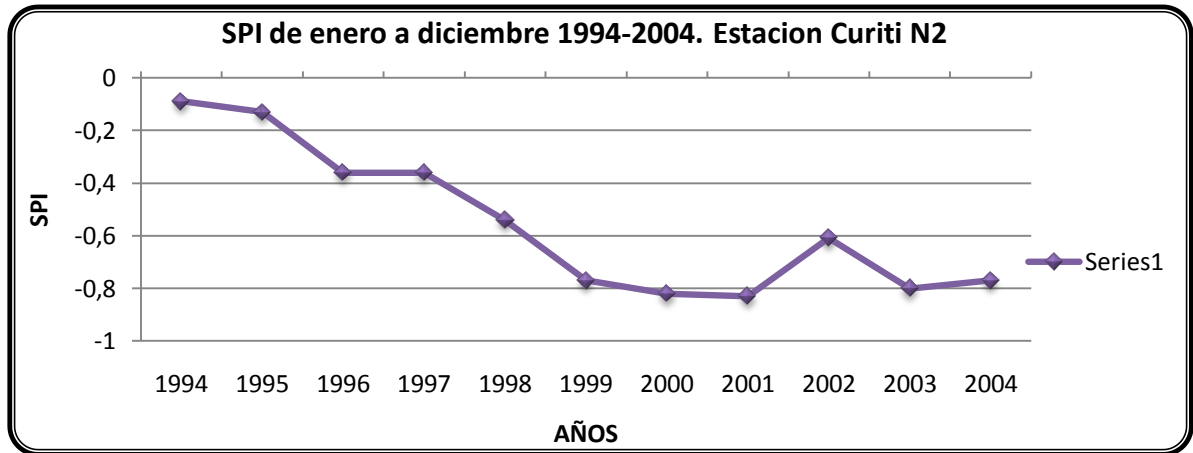


Figura 20. SPI 1994-2004 Estación Curití N2

El índice de precipitación estandarizado de la estación Curití N2, muestra valores negativos lo cual nos indica que es una región muy árida o seca .la grafica nos muestra una tendencia de aumento en el índice a medida del paso del tiempo (el índice tiende a seguir disminuyendo).

ESTACION LA MESA

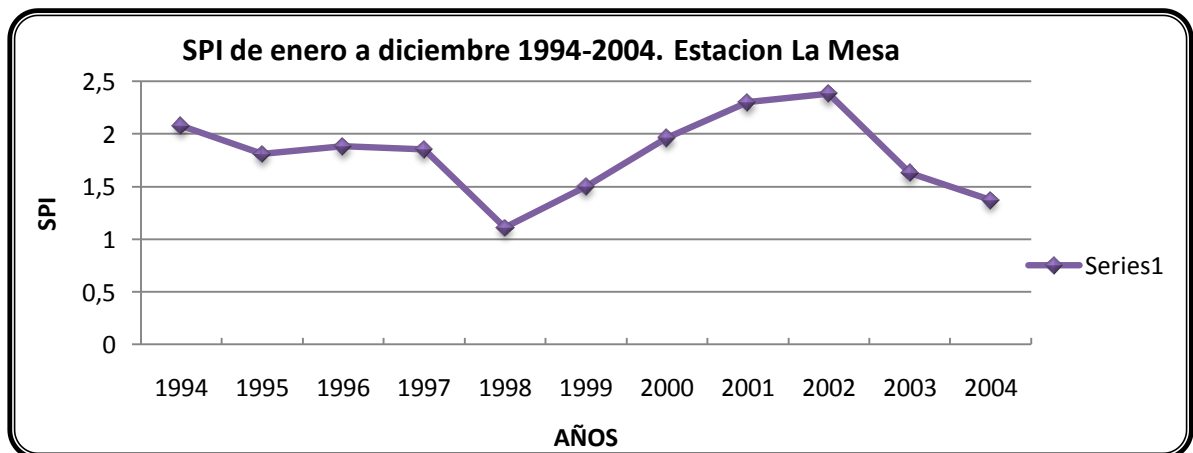


Figura 21. SPI 1994-2004 Estación La Mesa

El índice de precipitación estandarizado de la estación La Mesa nos muestra que el clima es bastante húmedo, con una leve disminución en el año 1998, pero algo poco notorio. La tendencia de este índice en esta región es el aumento del índice a medida del pasar del tiempo (zona húmeda).

ESTACION LAS FLORES

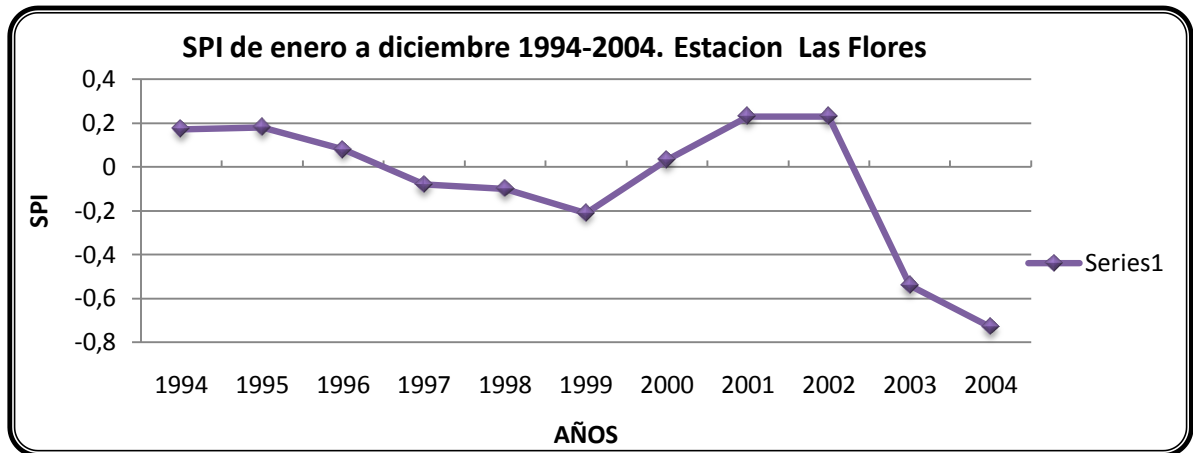


Figura 22. SPI 1994-2004 Estación Las Flores

El índice de precipitación estandarizado de la estación Las Flores nos muestra valores negativos en un periodo de tiempo que nos indica que el clima de moderado a ligeramente seco, la tendencia del clima según la grafica es a disminuir, tomando valores negativos altos en los últimos años

ESTACION STA ISABEL

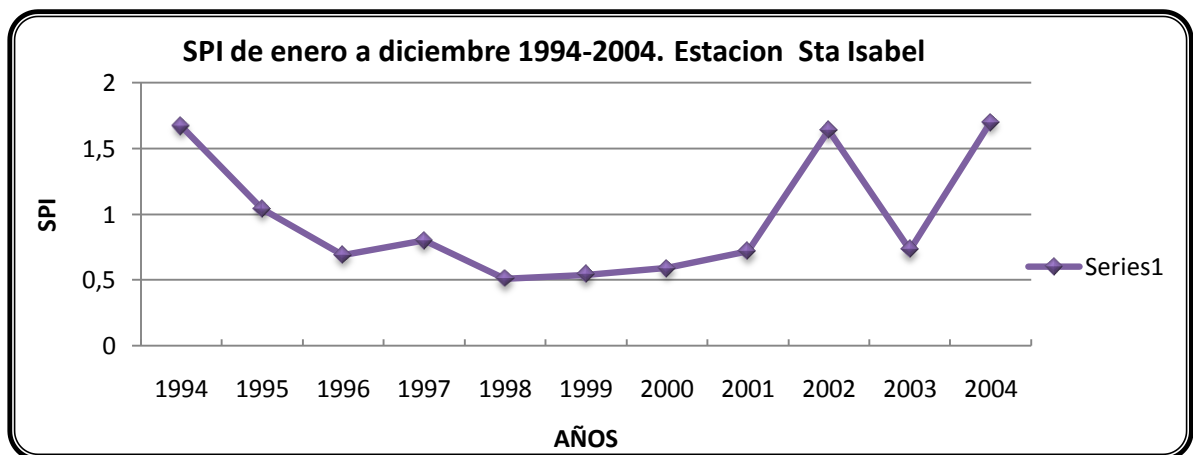


Figura 23. SPI 1994-2004 Estación Sta. Isabel

El índice de precipitación estandarizado para la estación Sta. Isabel nos muestra una región con valores estables entre -0.5 y 1 clasificada como una región normal en los últimos años muestra una tendencia de aumento en el índice lo cual nos indica un cambio a región húmeda.

Para cualquier escala temporal, un período seco comienza cuando el SPI se hace negativo por primera vez y finaliza cuando se torna positivo.

En el caso que el SPI sea continuamente negativo y alcance el valor -1 ó menor, se considera que la deficiencia de agua es suficientemente importante como para definir una "sequía meteorológica".

La misma puede alcanzar distinta severidad en las diferentes escalas temporales. Del mismo modo, para cualquier escala temporal, un período húmedo comienza cuando el SPI se hace positivo por primera vez y finaliza cuando se torna negativo. En el caso que el SPI sea continuamente positivo y alcance el valor 1 ó mayor, se considera que el exceso de agua es significativo. El mismo puede alcanzar distinta severidad en las diferentes escalas temporales

3.2 Índices basados en el balance hídrico se encuentran los siguientes:

- Índice de severidad de sequía de Palmer (PDSI)
- Índice de anomalía de humedad (z).
- Índice de disponibilidad hídrica (IDH)

3.3 Índices basados en sistemas de teledetección

Se calculan a partir de imágenes satelitales las cuales son de fácil acceso y relativamente de bajo costo con respecto a los datos de una estación meteorológica, que en muchos casos es información de difícil acceso y no muy confiable. Para monitorear el estado de la vegetación se ha generalizado el uso de los índices de vegetación, que son definidos como un parámetro calculado a partir de los valores de la reflectancia a distintas longitudes de onda, y es particularmente sensible a la cubierta vegetal (Gilabert et al, 1997 en González et al. 2008).

- ✓ NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Por otro lado los resultados mostrados por Cadena (2006), describen que cada índice basado en datos meteorológicos presenta algunas ventajas con respecto a los otros del mismo tipo, estableciendo una clara diferencia entre los deducidos a partir de la precipitación, y los derivados de las ecuaciones del balance hídrico; es así como a partir de los resultados mostrados, se recomienda utilizar el índice de precipitación estandarizado (SPI), ya que es mencionado como el más adecuado para el seguimiento operativo de la sequía, definiendo de manera clara las épocas(periodo), comienzos y finales de la misma. En este sentido García et al. (2007), menciona que a pesar que este índice permite identificar la causa de la sequía, es muy inoperante al momento de considerar su impacto, ello se comprueba a partir del hecho que estos índices sólo dependen de los valores de la precipitación obviando otras variables que permitirían con un tratamiento estadístico adecuado, diagnosticar el inicio de una sequía no sólo teniendo en cuenta la ausencia prolongada de precipitación si no por ejemplo el estado de humedad de una planta. Ello le permitió afirmar que un índice de vegetación resulta ser más efectivo que la mayoría de índices basados en datos meteorológicos ya que en un periodo continuo permite abordar la sequía no sólo desde la ausencia de precipitaciones si no con la falta de humedad en la superficie vegetal (estrés hídrico en cultivos) y altas temperaturas (pérdidas rápidas de humedad a partir de la transpiración de la planta) que pueden asociarse a un evento como la sequía.

Otras características que se deben de tener en cuenta al momento de escoger que tipo de método utilizar para realizar el seguimiento de la sequía, son los recursos económicos con que se cuenta para ejecutar las metodologías. Si bien es cierto que a simple vista una imagen satelital tiene un mayor costo que unos datos medidos por una estación meteorológica, la discusión debe abordarse sobre qué tipo de resultado es el que se quiere obtener.

Una queja constante en la mayoría de investigaciones que giran alrededor de este tema, es que los datos de las redes meteorológicas en muchos casos no poseen una calidad suficiente (series temporales incompletas) para su utilización, por lo cual se hace necesario el empleo de otras herramientas que brinden iguales o mejores resultados; en este sentido los sistemas de percepción remota solucionan de manera optima la falta de estos datos o inoperancia de estas redes, ya que

complementan y aportan resultados importantes sobre el desarrollo y monitoreo de estos fenómenos, no sólo en áreas de influencia de las redes, si no en una extensa zona que en muchos casos se ve limitada por la ausencia de estaciones climáticas.

Conclusiones

- ✓ Al identificar el comportamiento de las plantas ante los efectos por la ausencia de precipitaciones, los índices de vegetación se encargan de reflejar estas dinámicas que muestran una tendencia en las condiciones de los periodos de la sequía. Por otro lado los índices probabilísticos, son útiles en el seguimiento operativo de la sequía, ya que permite conocer sus orígenes a pesar de que no considere su impacto.
- ✓ La disponibilidad y calidad de los datos influencia en gran medida la escogencia de la metodología a utilizar en las investigaciones relacionadas al monitoreo de la sequía, ya que en muchas ocasiones los datos de estaciones son deficientes en cuanto a sus series, lo cual que impiden un desarrollo más apropiado al cálculo de estos índices.
- ✓ El fenómeno del niño y la niña influye en el comportamiento de la precipitación debido a que mientras que “El Niño” reduce las precipitaciones, “La Niña” favorece el incremento de las mismas en gran parte del país en particular sobre las regiones Caribe y Andina. Así podemos decir que en algunas estaciones de la provincia Guanentina, es muy notorio el impacto de estos fenómenos y se ve reflejado en la cantidad de precipitación en esos periodos.
- ✓ Podemos concluir que los picos mas altos de días consecutivos sin lluvia mensuales inician en el mes de diciembre , obtienen su punto más alto en el mes de enero y empieza a descender, así pues, es apropiado que para esta región se implementen métodos de prevención y abastecimiento de este recurso en los meses aledaños para así mitigar las falta de agua y que su impacto social, agrícola, y ambiental sea disminuido a través del tiempo
- ✓ Se presenta una sequia extrema en el año de 1998 mostrándonos pocos días de lluvia en este periodo
- ✓ El SPI es apropiado para cuantificar los déficit o excesos de precipitación en múltiples escalas temporales, razón por la cual es apto para el estudio de sequías cortas (pero importantes para la agricultura) o muy prolongadas (relevantes para evaluar la disponibilidad de agua subterránea, la escorrentía y los niveles de lagos o reservorios de agua). Así, la sequía agronómica ha podido ser bien representada por el SPI a escalas de 12 meses.
- ✓ El índice de precipitación estandarizado graficado para cada una de las regiones nos muestra que en general la provincia Guanentina muestra una

tendencia de valores negativos que nos indica que ha medida del paso de los años la región se convierte en un lugar más seco.

- ✓ Las estaciones de Sta. Isabel y de chochos son las únicas que muestran una tendencia húmeda al pasar del tiempo

- ✓ La intensa sequía del período 1997-2004 tuvo un fuerte impacto sobre el medio ambiente de la región y afectó considerablemente las condiciones de vida en este ecosistema urbano. La región como sistema demostró no poseer resiliencia, es decir: la capacidad para resistir, cambiar y adaptarse ante el desastre, puesto que el abastecimiento de agua no alcanzó para todo el periodo pudo lograrse un nivel de estructura y funcionamiento en condición de intensa sequía.

Referencias

Bower A. H., and Lieberman, G. J., Engineering Statistics. Prentice-Hall, New Jersey, 1972. Mesa, O. J., Poveda, G. y Carvajal, L.F., Introducción al Clima de Colombia, Imprenta Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 1997.

Caballero P. Diana H. y Perez P Juan D. Balance hídrico a largo plazo e indicadores de información hidroclimática en la mesa de barichara. Tesis de grado de pregrado de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga, 2007

Gómez L. Douglas A. ensayo comparación de índices de sequía aplicados a estudios climáticos. Estudiante maestría en ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá; 2010

Perea N. Carlos A. y Lamus B. Jorge M. Estudio de la precipitación en el área de Bucaramanga. Tesis de grado de pregrado de ingeniería civil, Universidad Industrial de Santander (UIS), Bucaramanga, 2005.

Philander, S. George. El Niño, La Niña and the Southern Oscillation. San Diego: Academic Press. ISBN 0125532350. 1990.

http://drought.unl.edu/monitor/spi/program/spi_program.htm#samples

<http://drought.unl.edu/whatis/predict.htm>

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4098/Capitulo3.pdf>

<http://www.monografias.com/trabajos14/problemadelagua/problemadelagua.shtml>