

**BALANCE HÍDRICO A LARGO PLAZO E INDICADORES DE INFORMACIÓN HIDRO
CLIMÁTICA EN LA MESA DE BARICHARA**

**DIANA HERMENCIA CABALLERO PATIÑO
JUAN CARLOS PÉREZ PARDO**

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

2007

**BALANCE HÍDRICO A LARGO PLAZO E INDICADORES DE INFORMACIÓN HIDRO
CLIMÁTICA EN LA MESA DE BARICHARA**

**DIANA HERMENCIA CABALLERO PATIÑO
JUAN CARLOS PÉREZ PARDO**

**Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero Civil**

**Director:
SULLY GÓMEZ ISIDRO
Ingeniera Civil M.Sc , Ph D.**

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

2007

A mis Padres, Juan y Teresa por el regalo de la vida

A mis hermanos, Betty, Eddy y Cesar por su ejemplo y cariño

A mis amigos, por la ayuda y compañía

A Luís, por brindarme su apoyo y amor en todo momento.

Diana.

Las palabras no son suficientes para agradecerles a tantas personas que me acompañaron y ofrecerles mis esfuerzos.

A Dios, a mis padres Maria Nubia y Jaime, a mi señora Maria Victoria, mis hermanos y sobrina Maria Fernanda por estar cuando los necesite y permanecer ahí. A toda mi familia y amigos.

Juan Carlos

Agradecimientos

Especialmente a nuestra directora de proyecto, I.C. PhD Sully Gómez Isidro, por todo su apoyo, confianza y aportes para la culminación exitosa de nuestro proyecto.

Al Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático (GPH), por su ayuda técnica y valiosa su amistad

A la escuela de Ingeniería Civil por acogernos, como la gran familia que es y transmitirnos sus conocimientos académicos y experiencias de vida.

A todas las personas que de una u otro forma estuvieron atentas al desarrollo de este trabajo y nos brindaron su colaboración oportuna.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
MARCO GENERAL DE LA ZONA GUANENTINA	15
1.1 LOCALIZACIÓN	15
1.2 HIDROGRAFÍA	16
1.2 COBERTURA VEGETAL Y CLIMA	19
1.2.1 ZONAS DE VIDA	19
1.3 GEOLOGÍA	21
1.3.1 GEOMORFOLOGÍA	22
1.3.2 ESTRATIGRAFÍA	23
BALANCE HÍDRICO	24
2.1 METODOLOGÍA	27
2.1.1 MÉTODO DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO EN LAS SERIES HIDRO-CLIMÁTICAS	27
2.1.2 ESPACIALIZACIÓN DE VARIABLES HIDROLÓGICAS	27
2.2 PRECIPITACIÓN	28
2.2.1 RED PLUVIOMÉTRICA	28
2.2.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA PRECIPITACIÓN	31
2.2.3 FENÓMENOS GLOBALES QUE INFLUYEN EN LA PRECIPITACIÓN EN LA ZONA GUANENTINA	32
2.2.4 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN.	33
2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN	34
2.3.1 GENERALIDADES	34
2.3.2 VARIABLES CLIMÁTICAS	35
2.3.3 FORMULAS SEMIEMPÍRICAS	39
2.3.4 EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)	41
2.3.5 CRITERIO PARA ELECCIÓN Y SELECCIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL	42
2.3.6 EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR)	45
2.4 ESCORRENTÍA	47
2.4.1 MÉTODO DE LA CURVA NÚMERO	47
2.4.2 CÁLCULO Y ESPACIALIZACIÓN DE LA ESCORRENTÍA	53
2.5 EFECTO ANTRÓPICO.	55
2.5.1 CONSUMO HUMANO	55
2.5.2 USO AGRÍCOLA	56
2.5.3 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL EFECTO ANTRÓPICO	57
2.6 INFILTRACIÓN POTENCIAL	57
INDICADORES DE INFORMACIÓN HIDRO-CLIMÁTICA	59
3.1 INDICADOR 1: ÍNDICE DE ARIDEZ	60
3.1.1 CÁLCULO Y ESPACIALIZACIÓN DEL INDICADOR.	61

3.1.2 LIMITACIONES DEL INDICADOR	62
3.1.3 OTROS INDICADORES DE ARIDEZ	62
3.1.4 ESTIMACIONES DE ARIDEZ EN OTRA REGIÓN	63
3.2 INDICADOR 2: ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA	65
3.2.2 ESCALA DE VALORES DE ÍNDICE DE ESCASEZ	66
3.2.3 OFERTA HÍDRICA	67
3.2.4 DEMANDA HÍDRICA	69
3.2.2 CALCULO DEL INDICADOR	73
3.2.4 LIMITACIONES DEL INDICADOR	73
CAPITULO 4	75
ANÁLISIS DE RESULTADOS	75
4.1 COBERTURA DE LA INFORMACIÓN	75
4.1 BALANCE HÍDRICO	76
4.2 RESULTADO DE INDICADORES	78
CONCLUSIONES	80
RECOMENDACIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS	87

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Localización general de la Zona Guanentina	15
Figura 1.2 Ubicación geográfica de la Zona Guanentina	16
Figura 1.3 Red hídrica de la Zona Guanentina.....	17
Figura 1.4 Mapa Geológico Zona Guanentina	21
Figura 2.1 Esquema conceptual del balance hídrico.....	25
Figura 2.2 Esquema conceptual del balance hídrico superficial	26
Figura 2.3 Localización estaciones Zona Guanentina.....	30
Figura 2.4 Test de Pettitt estación Curití.....	31
Figura 2.5 Test para la estabilidad de la media estación Curití	32
Figura 2.6 Ciclo de la precipitación media anual de la Zona Guanentina.....	33
Figura 2.7 Distribución de la precipitación mm/año.....	34
Figura 2.6 Velocidad del Viento Datos Puros – Estación El Cucharó.....	38
Figura 2.8 Superposición de curvas de ETP en la Estación El Cucharó	44
Figura 2.9 ETP distribuido en la Región, método García y López	45
Figura 2.10 Distribución de la Evapotranspiración Real mm/año	46
Figura 2.11 Solución a la ecuación de escorrentía	48
Figura 2.12 Mapa de clasificación de suelos hidrológicos	51
Figura 2.13 Uso de suelo Zona Guanentina	53
Figura 2.14 Distribución espacial de la escorrentía mm/año.....	54
Figura 2.15 Distribución espacial del factor antrópico mm/año.....	57
Figura 2.16 Distribución espacial del potencial de infiltración superficial mm/año	58
Figura 3.1 Índice de Aridez.....	62
Figura 3.2 Zonas de Demanda de Agua por Uso Agrícola.....	71
Figura 4.1 polígonos de Thiessen.....	76

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Estaciones hidroclimáticas en la Zona Guanentina.	29
Tabla 2.2 Cuadro de datos faltantes de precipitación	31
Tabla 2.3 Tabla de datos climáticos faltantes para la Zona Guanentina	36
Tabla 2.4 Formulas para el calculo de la evapotranspiración	40
Tabla 2.5 Resultados de ETP en la Zona Guanentina (mm).....	41
Tabla 2.6 Registro de evaporímeto (mm).....	42
Tabla 2.7 Evaluación ETP en la estación El Cucharó	43
Tabla 2.8 Evapotranspiración Real mm/mes multianual	46
Tabla 2.9 Clasificación hidrológica de los suelos	50
Tabla 2.10 Usos de suelos	52
Tabla 2.11 Numero de curvas de escorrentía –Zona Guanentina	53
Tabla 2.12 Población de la Zona Guanentina.....	55
Tabla 2.13 Requerimiento hídrico de cultivo.....	56
Tabla 2.14 Valores promedios de variables hidrológicas.....	58
Tabla 3.1 Escala de valores de índice de Aridez en la Zona Guanentina	61
Tabla 3.2 Índices de Aridez.....	63
Tabla 3.3 Valores promedio de las componentes hidrológicas.....	64
Tabla 3.4 Cuadro comparativo de Indicadores de Aridez.	64
Tabla 3.5 Escala de valores de índice de Escasez.....	67
Tabla 3.6 Servicio acueducto en el casco urbano de la zona guanentina.	69
Tabla 3.7 Coeficiente de cultivos Zona Guanentina.	71
Tabla 3.8 Producción de Bovinos Zona Guanentina	72
Tabla 3.9 Producción Pecuaria Zona Guanentina.....	72
Tabla 3.10 Valores Índices de Escasez.....	73
Tabla 4.1 Valores promedios de variables hidrológicas.....	77
Tabla 4.2 Escala de Infiltración Potencial	78
Tabla 4.3 Índices de Escasez.....	79

RESUMEN

TITULO:

BALANCE HÍDRICO A LARGO PLAZO E INDICADORES DE INFORMACIÓN HIDRO CLIMÁTICA EN LA MESA DE BARICHARA *

AUTORES:

Diana Hermencia Caballero Patiño
Juan Carlos Pérez Pardo **

PALABRAS CLAVES:

Zona Guanentina, indicadores ambientales, precipitación, evapotranspiración, escorrentía, factor antrópico, infiltración Potencial. Santander, Colombia

DESCRIPCIÓN:

En el presente trabajo se aplica un balance hídrico superficial en la Mesa de Barichara, ubicada en la provincia Guanentina del departamento de Santander con un área aproximada de 476.2 km². El balance hídrico se lleva a cabo usando series de información climática y de precipitación desde 1994 hasta 2003. La infiltración potencial se obtiene como el residuo de los flujos involucrados en el balance, los cuales son: la precipitación, la escorrentía superficial, la evapotranspiración y el factor antrópico. Para definir el estado del recurso hídrico en la Mesa de Barichara se aplican los indicadores de aridez y escasez, desarrollados por el IDEAM.

El informe presenta los aspectos más importantes de la Mesa de Barichara, como su localización, características del terreno, red pluviométrica y meteorológica; se muestra el procesamiento y análisis de la información, como el cálculo y la distribución espacial de las distintas variables hidrológicas y el cálculo de los indicadores hidro climáticos.

Al evaluar el balance hídrico, se encontró que la precipitación tiene un valor promedio de 1169 mm/año, con una desviación estándar de 204 mm/año; el valor potencial de infiltración promedio es de 98mm/año y aproximadamente 60% del área, presenta infiltración potencial baja o nula. El índice de aridez calculado, clasifica a la Mesa de Barrichara como una región deficitaria de agua superficial y se obtuvieron indicadores de escasez alta, que expresan una elevada presión sobre el recurso hídrico superficial y la necesidad de buscar nuevas fuentes de abastecimiento.

* Proyecto de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de ingeniería Civil, Director:
GOMEZ ISIDRO, Sully

ABSTRACT

TITLE:

LONG-TERM WATER SURFACE BALANCE AND CALCULATION OF HYDRO-CLIMATIC INDICATORS IN THE MESA DE BARICHARA *

AUTHORS:

Diana Hermencia Caballero Patiño
Juan Carlos Pérez Pardo **

KEY WORDS:

Zone Guanetina, indices of environment, rainfall, evapotranspiration, overland flow, factor antrópico, potential infiltration. Santander, Colombia.

DESCRIPTION:

The present research evaluates long-term water surface balance in the Mesa de Barichara, located in the province of Guanentina in the department of Santander, with an approximated area of 476.2 km². The water balance was made using record climatic time series and rainfall since 1994 until 2003. The potential infiltration is obtained as the residual of the flows involved in the balance, which are: the precipitation, the overland flow, the evapotranspiration and the effect antrópico. The condition of the water resource is defined applying the indicators of aridity and shortage; the indicators were developed by the IDEAM.

The report presents the most important aspects of the Mesa de Barichara, like it's location, characteristics of the surface, rain gauge network and meteorological; there appears the processing and analysis of the information, like the calculation and the spatial distribution of the different hydrological variables and the calculation of hydro-climatic indicators.

The water balance calculated 1169 mm/year of average rainfall with a standard diversion of 204mm/year, the value of the potential infiltration was 98 mm / year, and approximately 60 % of the area presents potential low - void infiltration. With the index of aridity the Mesa de Barichara was defined as deficit region of superficial water and it was obtained high of shortage indicators that means a high pressure exercised in the water resource and the need to look for new water supply sources

* Project de grade

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering, Director:
GÓMEZ ISIDRO, Sully

INTRODUCCIÓN

En Colombia muchas regiones carecen de estudios sobre el comportamiento del recurso hídrico, que fundamenten el diseño, la operación y control del uso del agua ; entre esas regiones se encuentra la Zona Guanentina objeto de interés en este trabajo por su alto valor socio- cultural, potencial turístico y la existencia de una situación real de estrés hídrico. Los municipios de Barichara y Villanueva presentan racionamientos de agua y en periodos de verano, la escasez se extiende por toda la mesa debido al deficiente sistema de abastecimiento. La precipitación está caracterizada por la ocurrencia de lluvias cortas con alta intensidad, el clima es templado a cálido, con alta variabilidad de la humedad relativa y la disponibilidad de agua se ha convertido en un factor limitador del desarrollo económico.

El presente trabajo se fundamenta en la aplicación de un balance hídrico superficial sobre un área representada en formato digital (imágenes Ráster) con información sobre las características del terreno y las variables climáticas. El potencial de agua para infiltrarse y convertirse en recarga, se obtiene como el residual de otros flujos involucrados en el balance, los cuales son: la precipitación, la escorrentía superficial, la evapotranspiración y el factor antrópico presente en la región.

El primer capítulo hace una descripción de los aspectos mas relevantes de la Zona Guanentina, el segundo capítulo se sustenta en el balance hídrico y desarrolla metodologías para calcular y distribuir espacialmente los valores promedios multianuales de las variables hidrológicas. En el tercer capítulo se hace una selección y estimación de indicadores hidroclimáticos, orientados a ubicar la zona según limitaciones hídricas y factores climáticos que puedan afectar las actividades humanas. En el capítulo cuatro se hace un análisis de todos los resultados, sus limitaciones y bondades, lo que permite establecer valores de potencial de infiltración distribuidos espacialmente y definir el estado del recurso en la Zona Guanentina.

Capítulo 1

MARCO GENERAL DE LA ZONA GUANENTINA

La región Guanentina sufre limitaciones de agua con mayor severidad en las épocas de veranos, estas sequías reduce significativamente la disponibilidad de agua en el suelo que satisface las necesidades de crecimiento de cultivos en los meses de diciembre, enero y febrero. Cuando se produce un periodo de sequía, la agricultura en Villanueva es el sector que se ve en primer lugar afectado, debido a la gran dependencia de este al almacenamiento de agua en el suelo; El fenómeno se extiende por toda la Zona Guanentina y la población se ve afectadas por los racionamientos de agua potable, la disminución de la producción agrícola y la inestabilidad económica. El municipio de Barichara y su vereda Guane poseen un patrimonio histórico, cultural y paisajístico que bien puede explotar la industria del turismo nacional e internacional, se ve limitado por los intensos racionamientos de agua.

1.1 LOCALIZACIÓN



Figura 1.1 Localización general de la Zona Guanentina

Localizada en la provincia Guanentina, departamento de Santander y delimitada por los Ríos Chicamocha al Norte, Suárez al Occidente y Fonce al sur así como la Quebrada Aratocha al Nor-Este. La zona está localizada entre coordenadas geográficas de los 6 46' y 6 30' de Latitud Norte y los 73 16' y 73 1' de Longitud al Oeste del meridiano Greenwich y coordenadas Gausianas (1211800 y 1240338) Norte y (1089340 y 1116964) Este, con origen en la ciudad de Bogotá. La Zona Guanentina cuenta con una área de 476.2 km².

posee una población de aproximadamente 50.000 habitantes, asentados en los municipios de Villanueva, Barichara, y parte de los municipios de San Gil, Cabrera, Jordan, Curití y Aratoca (figura 1.2); por estar Ubicada en la Zona Andina cuenta con elevaciones entre los 435 a los 1960, siendo 1200 m.s.n.m. el valor promedio.



Figura 1.2 Ubicación geográfica de la Zona Guanentina

Fuente: IGAC Planchas digitalizadas escala 1:25000 y Modificadas por los autores

1.2 HIDROGRAFÍA

La región está ubicada sobre las cuencas bajas de los Ríos Fonce, Suárez, Chicamocha y parte de la del Río Sogamoso; todas consideradas de gran caudal (Gómez S, Et al 2007). No obstante, por estar localizada en un altiplano conformado por mesas y mesetas, es muy costoso el transporte del líquido a las zonas productivas y asentamientos humanos, catalogándose como zona deficitaria.

La zona (Figura 1.3) comprende parte de las subcuencas de los Ríos Fonce y Suárez, las cuales se hallan divididas por el alto de Barichara, al Este del Municipio de Barichara. Es de anotar que la subcuenca del Fonce es tributaria a la del Suárez, y que la desembocadura del Fonce se halla unos kilómetros al sur de la cabecera municipal de Cabrera.

Al Este de la divisoria del Alto de Barichara se tienen las cabeceras de las quebradas Guayabal, Guásimo y Guamalera, las cuales pasan a predios del Municipio de San Gil, vertiendo sus caudales a la Quebrada La Laja, tributaria del Río Fonce. Las principales fuentes abastecedoras del municipio de San Gil son las quebradas de Curití, Cuchicute halladas hacia la parte Sur y Este de la región; en épocas de verano se captan aguas del Río Fonce, debido a que la quebrada Cuchicute reduce su caudal en un 50%.

Al Oeste del Alto de Barichara, se tiene la microcuenca de la Quebrada Barichara que cuenta como tributaria principal con la Quebrada La Paramera, la cual drena hacia el Río Suárez. La microcuenca de la Quebrada Barichara comprende parte de los Municipios de Villanueva y Barichara; de esta red de drenaje hace parte también la quebrada Hoja Ancha, la cual es fuente abastecedora de la represa el común; esta represa surte la población urbana de los municipios de Villanueva, Barichara y Cabrera

Hacia el Norte de la zona y cerca al corregimiento de Guane se encuentra la microcuenca de la Quebrada Guanentá, la cual va en dirección SE a NW, hacia el Río Suárez. A su vez en Municipio de Villanueva, se encuentra la microcuenca de la Quebrada las Burras, la Macaregua y la quebrada de Aratoca, estas dos últimas son tributarias del Río Chicamocha. Al Este, se encuentran las quebradas la Honda, Cantabara y la Laja, límites naturales entre el municipio de Curití y Aratoca.

Según observaciones de campo se ha podido determinar que algunas de las microcuencas antes mencionadas, son de carácter continuo, aunque con un caudal muy bajo, mientras que otras son muy temporales y su caudal se observa solo en época de lluvias o durante las precipitaciones duraderas y muy intensas.

1.2 COBERTURA VEGETAL Y CLIMA

La zona Guanentina tiene características de paisajes semidesérticos y erosionados, clima seco y cálido que se caracteriza por baja nubosidad, consecuencia de la barrera natural de la serranía de Los Cobardes, la cual impide el flujo normal de los vientos del Río Magdalena, dejando expuesta la región a los rayos del sol durante gran parte del día. Por esta razón se define la región como el principal núcleo solar del departamento y el segundo en la Cordillera Oriental, En su totalidad debe ser objeto de protección ambiental para el uso lúdico y el desarrollo de turismo contemplativo, el ecoturismo y el turismo de aventura.

Esta Zona pertenece a una subregión con tendencia a la aridez y que abarca los municipios de los Santos, Curití, San Gil, Villanueva, Jordán, Galán, Aratoca y parte de Zapatota (IGAC, 2005). Dentro de esta clasificación existen áreas con presencia de erosión en surcos, cárcavas y caída de rocas en los escarpes de la subregión, producto de la deforestación, con influencia en las jurisdicciones de los municipios de Villanueva, Barichara, Curití, Jordán, Aratoca y Cabrera principalmente.

1.2.1 Zonas de vida

En la Zona Guanentina se presentan las siguientes Zonas de vida, según la clasificación de Holdridge (Gómez S, Et al 2007):

- Monte Espinoso - Tropical (me -T): Se localiza especialmente sobre la margen derecha del Río Chicamocha, con alturas entre los 400 - 850msnm, la bio - temperatura es superior a 24°C y los promedios anuales de precipitación inferior a 500 mm; Por tener poca pluviosidad, se puede presentar deficiencia de agua para los cultivos y para riego. La vegetación presente más común es espinosa, tipo catácea tunas.
- Bosque muy seco - Tropical (bms -T): Esta zona es característica del Cañón del Río Chicamocha, ubicada entre los 500 - 1000msnm, con una bio - temperatura superior a los 24°C y pluviosidad promedio anual entre 500 y 1000mm. La cobertura vegetal

de esta zona está compuesta por áreas de bosque natural secundario, rastrojos y cultivos de maíz, yuca, millo y frutales silvestres

- Bosque seco - Tropical (bs -T): El bosque seco tropical se encuentra ubicado entre los 1000 - 1200 m.s.n.m, con bio - temperatura promedio diaria superior a los 24°C y un promedio anual de lluvias entre 1.000 y 1.500 mm/año, aunque la cantidad de lluvias es bastante alta. La cobertura vegetal de esta zona está compuesta por cultivos de tabaco, yuca, maíz, frijol y frutales silvestres en su gran mayoría.
- Bosque Seco - Premontano (bs -PM): Zona de vida ubicada entre los 1200 - 1860msnm, tiene una bio- temperatura promedio diaria entre 21 y 24°C y una pluviosidad promedio anual de 500 y 1000 mm. En esta zona puede presentarse deficiencia de agua para los cultivos. La vegetación natural ha sido modificada por la intervención humana para implantar allí actividades agropecuarias.
- Bosque húmedo - Premontano (bh -PM): Zona de vida ubicada entre los 1000 - 2000msnm, el clima es templado – húmedo, valores de bio- temperatura promedio diaria entre 18 - 24°C y una pluviosidad promedio anual de 1000 mm. En esta zona puede presentarse deficiencia de agua para los cultivos. La vegetación natural ha sido modificada por la intervención humana para implantar allí actividades agropecuarias. Sobre esta unidad se ubican algunos cascos urbanos.
- Bosques húmedo – Montano Bajo (bh - MB): Corresponde a la Zona de vida ubicada entre los 1860 – 2000msnm, tiene una bio - temperatura promedio diaria no mayor a 18°C y pluviosidad promedio anual mayor a 1000 mm. Esta zona es importante por presentar la mayor cantidad de nacimientos de agua. La vegetación natural ha sido modificada por la intervención humana para implantar allí actividades agropecuarias, aunque aún quedan algunas zonas con vegetación protectora sobre todo sobre las cabeceras de los nacimientos de las corrientes de agua. (Gómez S, Et al -2007)

1.3 GEOLOGÍA

La mesa de Barichara esta constituida por rocas sedimentarias del Jurásico y Cretácico correspondientes a las Formaciones Jordán, Girón, Los Santos, Rosablanca, Paja, Tablazo y Simiti, rocas predevónicas representadas por la Formación Silgara y Depósitos Cuaternarios de tipo aluvial, coluvial y de derrubios (Figura 1.4). La zona se encuentra afectada por un intenso fallamiento inverso, normal y principalmente de rumbo, debido a la acción de dos megaestructuras como son la falla del Suárez y la Falla de Bucaramanga, aunque la zona da una apariencia de mesa homogénea, la secuencia estratigráfica no se encuentra normalmente completa, afectada por la tectónica ocasionando la repetición o pérdida de secuencia. (Ibíd. pp. 8 y ss.)

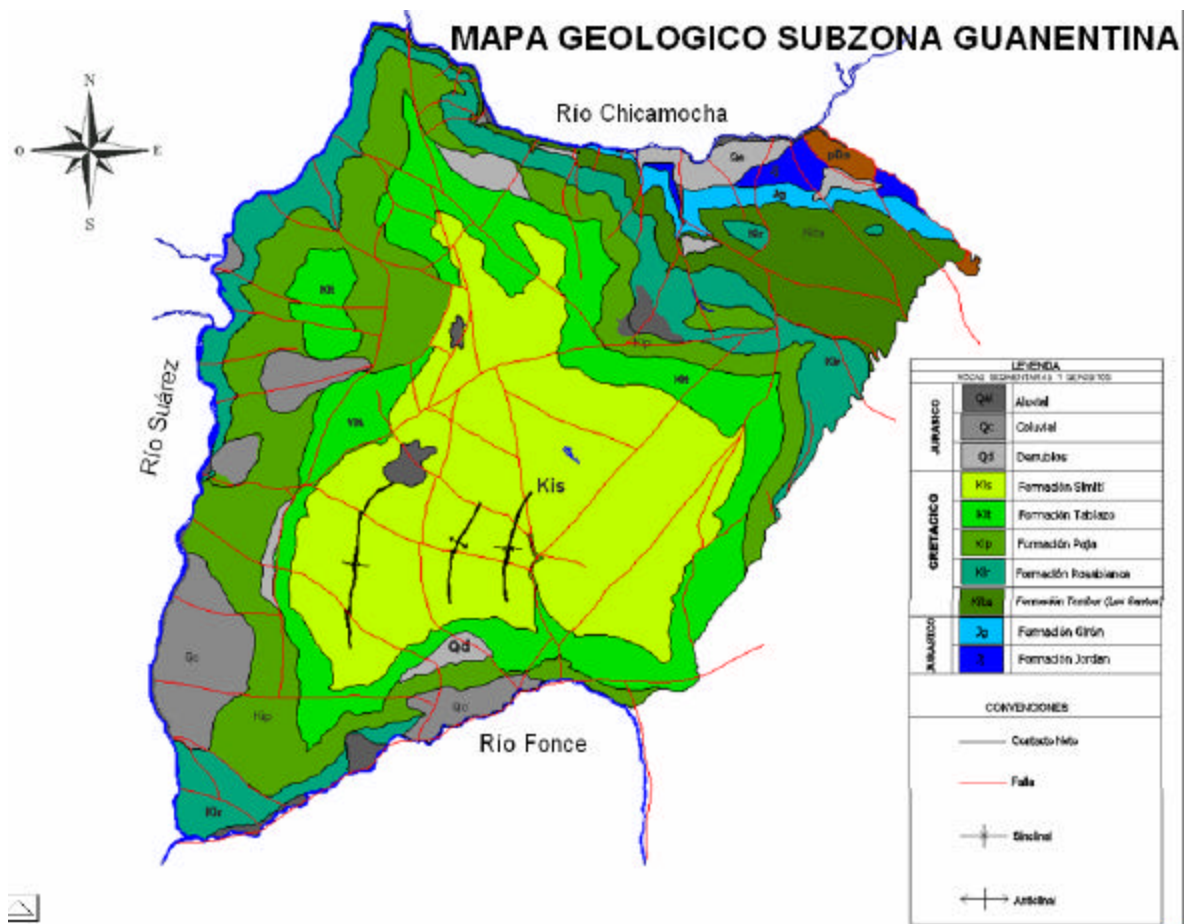


Figura 1.4 Mapa Geológico Zona Guanentina

Fuente: Gómez S, Et al -2007

1.3.1 Geomorfología

La Geomorfología es el estudio de las formas de la tierra, materiales y sus procesos relacionados como son: Tipo de litología, suelo, drenaje y tectónica, entre otros. Los rasgos geomorfológicos son importantes en muchos aspectos de manejo ambiental y pueden contribuir a la evaluación de recursos y políticas de desarrollo regional y urbano de los municipios, como también al estudio de susceptibilidad de amenazas naturales, ya que juega un papel importante en la identificación de procesos que han dado forma al paisaje, algunos de los cuales son peligrosos u ofrecen algún grado de amenaza para la población (IGAC, 2005).

El origen de las diferentes unidades geomorfológicas del terreno están relacionadas a procesos internos de la tierra o Externos dominantes, responsable de su existencia.

La característica morfológica predominante en la zona Guanentina es la de altillanura degradada, constituida por capas de rocas sedimentarias, predominantemente con un bajo ángulo de buzamiento, rodeada por profundos cañones, fuertemente escarpados producto de la intensa red de drenaje, formando una mesa amplia y rodeada por cuevas de muy alta pendiente. El área de la altillanura está surcada por cursos de agua que escurren libremente sobre la escasa pendiente de la superficie, configurando un modelo de drenaje dendrítico cuya densidad depende de la consistencia y permeabilidad de los estratos superiores y de los suelos desarrollados sobre estos, y un drenaje subparalelo a paralelo hacia los bordes de la mesa (Gómez S, Et al -2007)

Los procesos degradacionales son corroborados por la presencia de cárcavas de erosión y surcos, característicos de climas áridos, así como por la escasa vegetación, que hace ver la foto más clara debido a la exposición directa de los sedimentos en la superficie. Claramente se observa también los escarpes, producto de la alternancia de materiales duros de areniscas y calizas con estratos de margas y lodositas; éstos últimos más fáciles de erosionar, provocando que hacia la base se formen las laderas más suaves. En la parte Este de la zona se observan algunos rellenos. También se observa que este patrón tiende a ser repetitivo hacia el fondo del cañón del Río Suárez (Ibíd. pp.8 y ss.)

1.3.2 Estratigrafía

Se entiende por Unidades Litoestratigráficas a cada uno de los conjuntos de materiales geológicos (rocas y acumulaciones sedimentarias) formados en condiciones homogéneas, o relativamente homogéneas, cartografiables a la escala de trabajo (1:25.000) y ordenados cronológicamente.

La Zona Guanentina geológicamente se ubica en la Cordillera Oriental, al Sur-Este del Macizo de Santander, en la denominada Región de esas y Cuestas, según Julivert (1958). Estratigráficamente afloran rocas metamórficas correspondiente a la Formación Silgara y rocas sedimentarias del Jurasico representado por las formaciones Jordán y Girón, y del Cretácico Inferior afloran rocas sedimentarias de las formaciones Los Santos, Rosablanca, Paja, Tablazo y Simití (Ibíd. pp. 21 y ss.)

Capítulo 2

BALANCE HÍDRICO

El ciclo hidrológico es el foco central de la hidrología. El ciclo no tiene principio ni fin y sus diversos procesos ocurren en forma continua. (Chow V, ET al, 1994). Para estudiarlo es necesario hacer una limitación espacial y temporal que permita visualizar los caminos que puede seguir el agua, este es el objetivo final de un Balance Hídrico. La ecuación básica del Balance Hídrico, se fundamenta en la ecuación de continuidad:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} + \frac{ds}{dt} \quad (1)$$

La ecuación 1 es aplicable a cualquier tiempo; se puede plantear entre dos tiempos ($t_f - t_i$), en la escala anual de largo plazo se considera que dt es relativamente grande y la variación en el almacenamiento ds/dt es prácticamente nula. En escalas de tiempo menores (mensual, diario) se requiere mayor información tanto en los parámetros físicos (por ejemplo, humedad del suelo, porosidades, almacenamientos) como en la escala de resolución de la información, sin embargo este tipo de escala, permite obtener resultados con mejor discretización del tiempo e involucrar otros fenómenos físicos relevantes; por ejemplo la infiltración y/o recarga que ocurre en escalas temporales menores asociados a eventos de precipitación. (Gómez S, Et al, 2007)

Entre los diferentes componentes del sistema (Entradas y salidas) podemos citar: la precipitación, escorrentía superficial, interceptión, evapotranspiración real, infiltración, escorrentía subterránea, aguas extraídas o explotadas, pérdidas y entradas desde o hacia otras cuencas vecinas. La figura 1.1 se muestra un Esquema Conceptual del Balance Hídrico

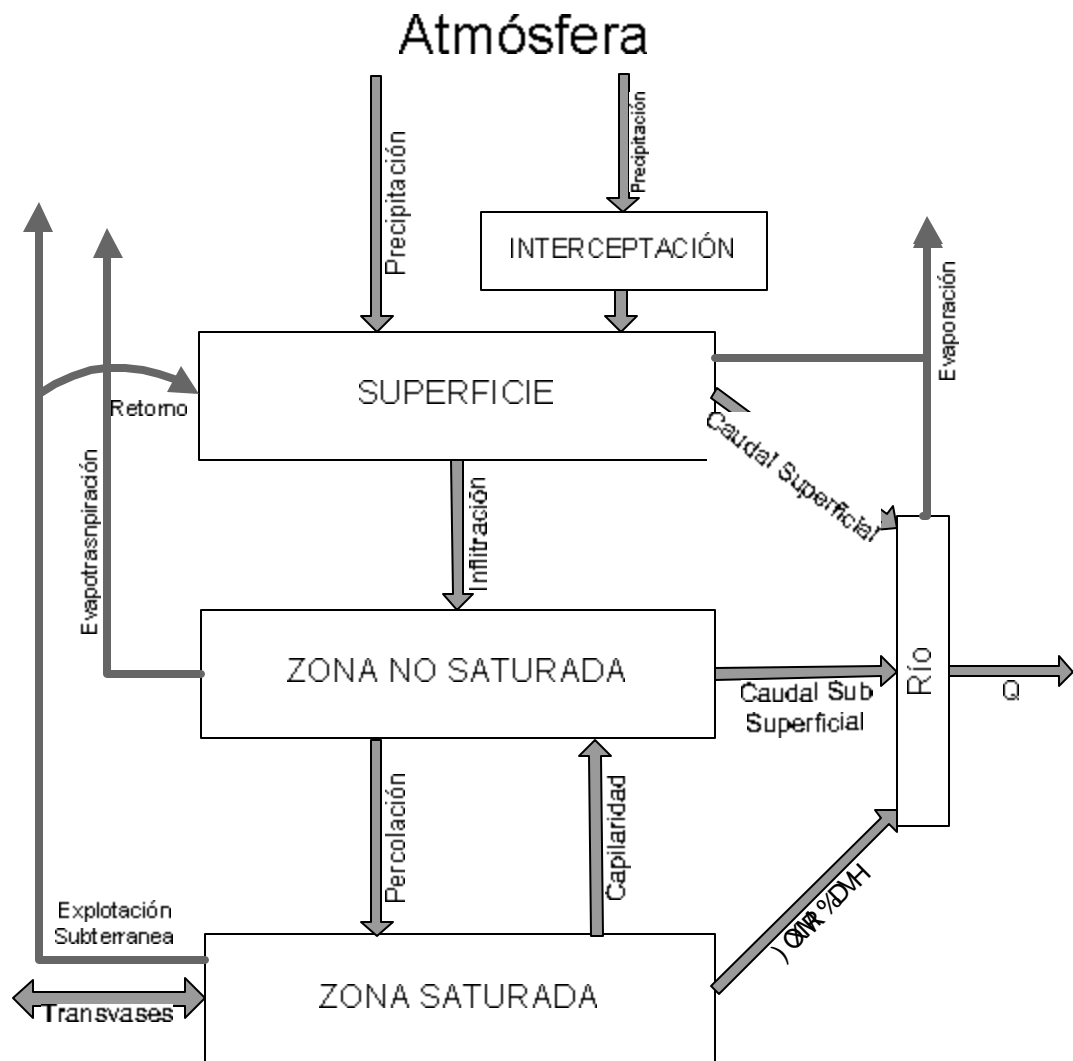


Figura 2.1 Esquema conceptual del balance hídrico

La complejidad de un Balance es enorme, y cuantificarlo con exactitud es poco probable, debido a que los procesos hidrológicos se pueden observar en distintas escalas y en cada una de ellas las dinámicas hidrológicas son diferentes, de esta forma la ecuación de balance hídrico está sujeta, al tiempo, escala y modelo que se plantee. Para realizar este trabajo se ha escogido un Balance Hídrico Superficial de Largo Plazo

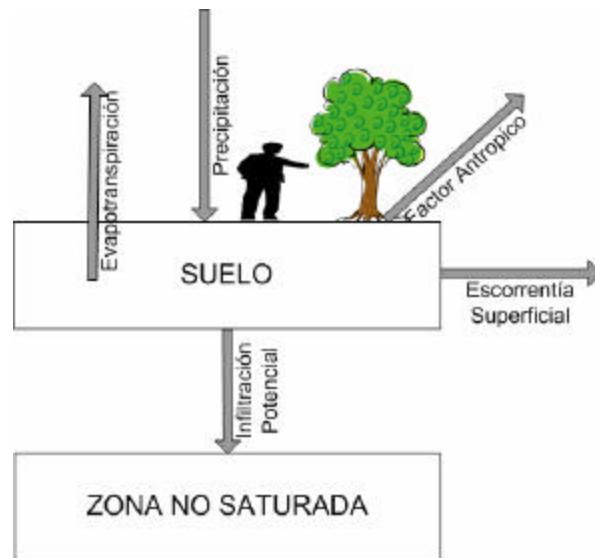


Figura 2.2 Esquema conceptual del balance hídrico superficial

Este modelo (Figura 2.2) se plantea teniendo en cuenta la zona de estudio, la información disponible y el alcance del Balance superficial (infiltración Potencial), lo que da como resultado la siguiente expresión general:

$$P - I - Q_s - ETR - A = \frac{ds}{dt} \quad (2)$$

Donde P es la precipitación, Q_s , la escorrentía superficial y ETR , la evapotranspiración real, todas las variables son promedios de largo plazo. El factor A involucra las pérdidas por efecto antrópico. Se entiende por el término “perdida por efecto antrópico”, la cantidad de agua necesaria para desarrollar las actividades del hombre, que no retorna al sistema en la escala de tiempo considerada, se ocasionan en los sistemas de captación, almacenamiento, distribución, riego y otros. (Ibíd. pp. 82)

De esta forma la Infiltración Potencial (I) se obtendrá de operar las siguientes variables promedias, bajo el supuesto, que la variación en el almacenamiento ds/dt , es nula en el largo plazo, y el sistema se encuentra en equilibrio:

$$I = P - Q_s - ETR - A \quad (3)$$

2.1 METODOLOGÍA

A continuación se presentan las metodologías empleadas en el análisis de la información hidro –climática y en la distribución espacial de las componentes del balance hídrico.

2.1.1 Método de análisis estadístico en las series hidro-climáticas

Las series hidrológicas se caracterizan por tener dos componentes principales: la componente determinística que se reconoce por la presencia de tendencia y periodicidad en los datos y la componente estocástica. La tendencia es causada por inconsistencia o falta de homogeneidad en la serie, esta última puede causarse por procesos naturales o por factores antrópicos, la inconsistencia se puede relacionar con errores sistemáticos durante el registro de los datos (Arenas y Ruiz, 2005.) En este estudio a cada una de las series se les aplicó un análisis estadístico utilizando el programa SPELL – stat v 1.7.5.6 B en donde se buscó:

- Eliminar los valores que provenían de errores de tipo sistemático (valores espurios) haciendo una inspección grafica en la serie.
- Detectar si la tendencia presente era significativa o no con el test de Spearman.
- Detectar en la series de temperatura los periodos de niño y niña que producían tendencia propias del fenómeno natural
- Corregir la tendencia cuando fuere necesario con el procedimiento de la diferencia de las medias (García y Otero, 2005)
- Aplicar el test de Pettit (test de puntos de cambio) y con base a éste definir el valor crítico para hacer diferencia de medias
- Corroborar el valor crítico de cambio con los test T y test F (estabilidad de media y de varianza, respectivamente)

2.1.2 Espacialización de variables hidrológicas

Para elaborar los mapas de distribución de las variables Precipitaron y Evapotranspiración se utilizó el programa SURFER 8 producido por la Golden Software, Inc. el cual cuenta

con una serie de algoritmos interpoladores. La espacialización diaria y mensual se hace usando el interpolador Kriging lineal.

Kriging es muy utilizado tanto en la generación del modelo digital de elevaciones como en otros campos. El krigeado es un método de interpolación exacto, que pondera el peso de cada punto muestral X_i en el valor interpolado en un punto no muestral X_o según una función estocástica de la distancia entre dichos puntos.

A continuación de la generación de los mapas espacializados mensualmente se usa el software Spell-Map (Guzmán J, 2003), herramienta para el manejo de imágenes en formato ráster y se suman para hallar la distribución multianual promedio.

En la distribución espacial de la Escorrentía y Factor antrópico se maneja SPELL en sus distintas modalidades. En este programa se crean planos en modelo ráster de la Zona Guanentina sujetos a condiciones específicas de Tipo y Uso de Suelo, las cuales originan subzonas homogéneas. Sobre estos planos se desarrolla la metodología específica para el cálculo de cada variables, y de ese modo se genera la distribución espacial.

2.2 PRECIPITACIÓN

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico y es responsable por depositar agua fresca en el planeta. La Zona Guanentina no presenta cambios topográficos que puedan dar hipótesis de zonas de régimen de precipitación diferentes, en cambio presenta un comportamiento marcado por la orografía regional como la Serranía de Los Cobardes, la cual es una barrera natural que evita el flujo normal de los vientos del Río Magdalena dejando la zona descubierta con poca nubosidad; los Altos de Aratoca y Curití que pueden originar frentes de humedad hacia esta zona. Los frentes húmedos, provenientes de los Océanos Atlántico y la Región Amazónica, son factores en el proceso de formación de la precipitación (IGAC-2005).

2.2.1 Red pluviométrica

La información de precipitación proviene de 13 estaciones cercanas o pertenecientes a la Zona de estudio y fue suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), la Federación Nacional de Cafeteros CENICAFE y COLTABACO

Tabla 2.1 Estaciones hidroclimáticas en la Zona Guanentina.

CENICAFE									
No	Tipo	Estaciones	Periodo		Municipio	Coordenadas		Altura	Precipitación mm/año
			F. Inicio	F. final		Este	Norte		
1	PM	Chochos	5/1/1987	12/31/2004	Hato	1084530	1215812	1400	1666

COLTABACO									
No	Tipo	Estaciones	Periodo		Municipio	Coordenadas		Altura	Precipitación mm/año
			F. Inicio	F. final		Este	Norte		
2	CO	Barichara	1/1/1985	7/31/2006	Barichara	1094417	1225486	1290	901
3	CO	Los Santos	1/1/1990	12/31/2004	Los Santos	1107265	1238799	1250	453
4	CO	San Gil	2/1/1972	7/31/2006	San Gil	1104430	1216657	1120	1077

IDEAM									
No	Tipo	Estaciones	Periodo		Municipio	Coordenadas		Altura	Precipitación mm/año
			F. Inicio	F. final		Este	Norte		
5	PM	Curiti N2	11/10/1973	8/31/2004	Curiti	1111648	1222435	1626	1435
6	CP	EL Cucharó	1/1/1978	31/02/1999	Pinchote	1084535	1212126	975	591
7	CO	El Palmar	1/1/1983	6/30/2004	El Palmar	1088217	1215818	940	1140
8	PM	El Remolino	8/5/1979	8/30/2004	Cabrera	1089436	1221749	630	1241
9	PM	Hda El Mamonal	5/14/1980	11/30/2004	San Gil	1107876	1218772	1100	963
10	PM	La Fuente	6/10/1973	8/31/2004	Zapatoca	1088158	1233514	815	1040
11	PM	La Mesa	11/1/1973	8/31/2004	Los Santos	1109249	1238990	1460	818
12	PM	Santa Isabel	11/28/1973	8/31/2004	San Gil	1097111	1225173	1300	1035
13	CO	Zapatoca	1/1/1974	12/31/2004	Zapatoca	1088169	1245312	1810	820

En la Tabla 2.1 se relaciona para cada estación el tipo, el nombre, el municipio a la cual pertenece, el periodo, la ubicación de la estación con coordenadas, la elevación sobre el nivel de mar, y los valores promedios de precipitación. En la figura 2.3 se aprecia la distribución de las estaciones sobre la zona de estudio.

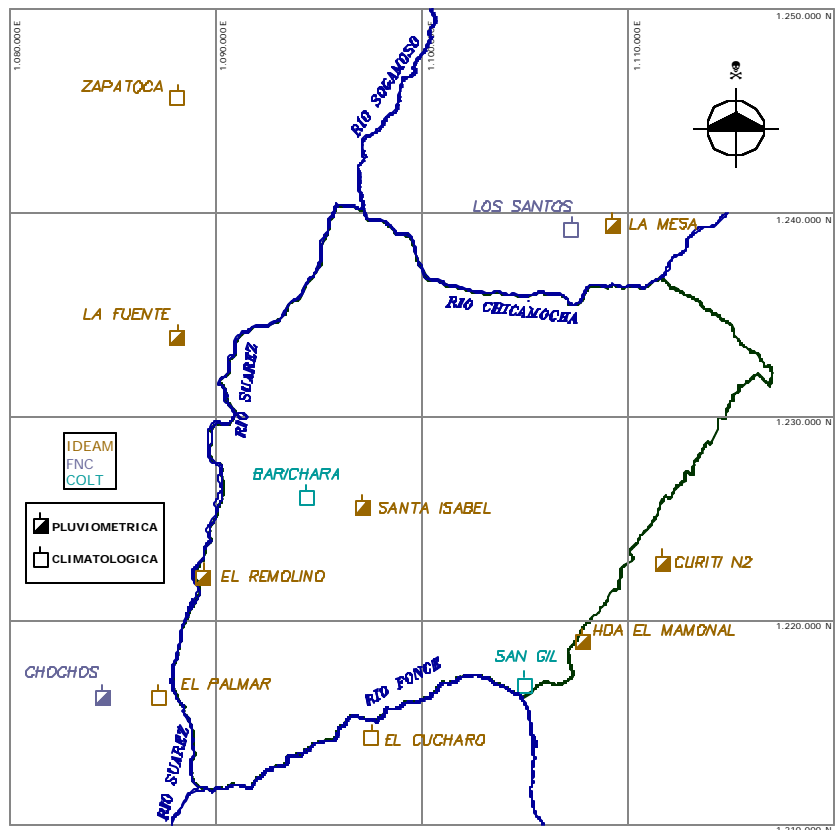


Figura 2.3 Localización estaciones Zona Guanentina

El análisis de la información hidrológica se compone de dos partes, la primera consiste en una revisión de datos faltantes y la segunda de un análisis estadístico de la precipitación.

Para lo anterior, se recolectó información en resolución diaria desde el año 1994 al 2003 el cual arroja los siguiente resultado.

Tabla 2.2 Cuadro de datos faltantes de precipitación

Estaciones SERIES MENSUALES	Numero de Datos Faltantes (DIARIO)		Porcentaje %	Datos Faltantes en Funcionamiento (MENSUAL)		Porcentaje %
	PERIODO	Cant.		PERIODO	Cant.	
Barichara	1994-2003	421	11.53%	1985-2006	22	9.65
Chochos	1994-2003	92	2.52%	1987-2004	26	11.40
Curití	1994-2003	1	0.03%	1973-2004	4	1.75
EL Cucharó	1994-2003	183	5.01%	1978-1999	14	8.97
El Palmar	1994-2003	241	6.60%	1983-2004	21	9.21
El Remolino	1994-2003	211	5.78%	1979-2004	10	4.39
Hda El Mamonal	1994-2003	173	4.74%	1980-2004	20	8.77
La Fuente	1994-2003	189	5.18%	1973-2004	11	4.82
La Mesa	1994-2003	31	0.85%	1973-2004	6	2.63
Los Santos	1994-2003	179	4.90%	1990-2004	6	3.33
San Gil	1994-2003	365	9.99%	1972-2006	12	5.55
Santa Isabel	1994-2003	0	0.00%	1973-2004	4	1.75
Zapatoca	1994-2003	79	2.16%	1974-2004	16	7.02

Se puede observar que las series presentan datos faltantes en porcentajes que varían entre 0% y 12%. El proceso de llenado de datos faltantes se realiza implícitamente por interpolación mediante la espacialización de la variable precipitación

2.2.2 Análisis Estadístico de la Precipitación

En la Estación de Curití se observa, a través del test de Pettit (figura 2.4), que en el periodo de 1997 a 1998 y el año 1999 existe una alta probabilidad de presentarse cambios significativos en la media o en la varianza. Al aplicar el test de estabilidad de media (figura 2.3) se presenta un aumento significativo en el año 1998, el test de Sperman muestra que hay una tendencia creciente pero esta no es significativa.

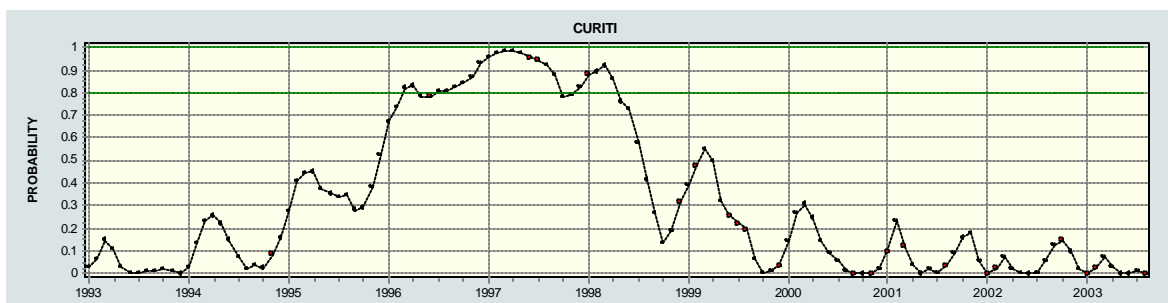


Figura 2.4 Test de Pettitt estación Curití

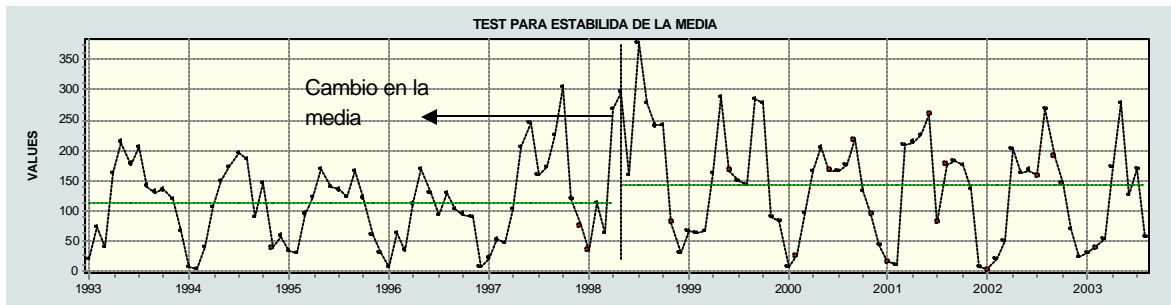


Figura 2.5 Test para la estabilidad de la media estación Curití

El test de Pettit para la estación de San Gil muestra que en el año 1994, existe una alta probabilidad de presentarse una variación significativa en la media o en la varianza, con mayor marcación en 1995 y 1996. Los datos tienen un cambio significativo en la media, y se muestra una disminución del registro después de 1995. La varianza no presenta cambios significativos.

En las restantes estaciones el comportamiento es mucho mejor; por medio del test de Pettit no se observa probabilidad de cambios significativos en los datos, esto se confirma mediante los test de estabilidad de media y varianza. La tendencia en las series es decreciente pero no significativa. Las graficas originadas del análisis estadístico se encuentran en el Anexo 1

2.2.3 Fenómenos globales que influyen en la precipitación en la Zona Guanentina

La posición geográfica Colombiana en la zona ecuatorial la sitúa bajo la influencia de los Alisios del Nor-Este y surEste. Estas corrientes de aire cálido y húmedo, provenientes de latitudes subtropicales de los dos hemisferios originadas en los océanos Atlántico y Pacífico, confluyen en una franja denominada Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) (Gómez S, Et al 2007).

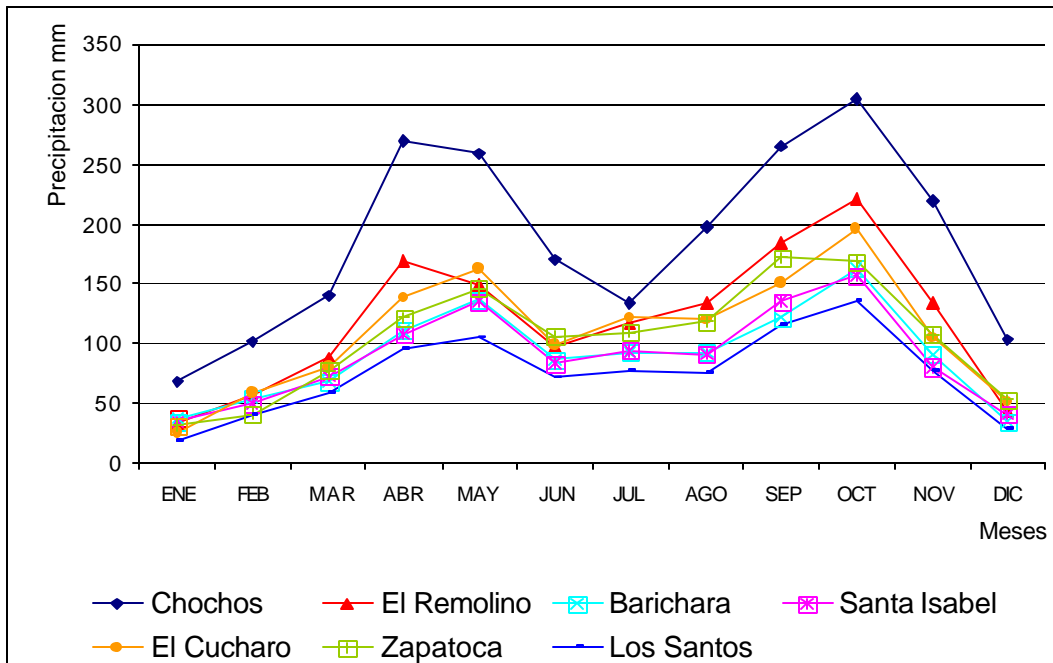


Figura 2.6 Ciclo de la precipitación media anual de la Zona Guantentina

La zona Guantentina se encuentra influenciada por la ZCIT, lo que genera un régimen de precipitación dominado por dos épocas húmedas (Marzo - Abril y Octubre - Noviembre) y dos épocas secas (Junio – Julio y Diciembre - Enero), en la Figura 2.6 se muestra este comportamiento bimodal.

2.2.4 Distribución espacial de la precipitación.

Con la información existente se obtuvo una precipitación multianual promedio de **1169 mm/año**. Este valor varía entre los 1050 y 1650 mm/año

En la figura 2.7; se muestra que las zonas de mayor pluviosidad se encuentran en la parte sur occidental, y las de menor pluviosidad están localizadas en la parte central de la Zona Guantentina presentando una mayor uniformidad de esta última

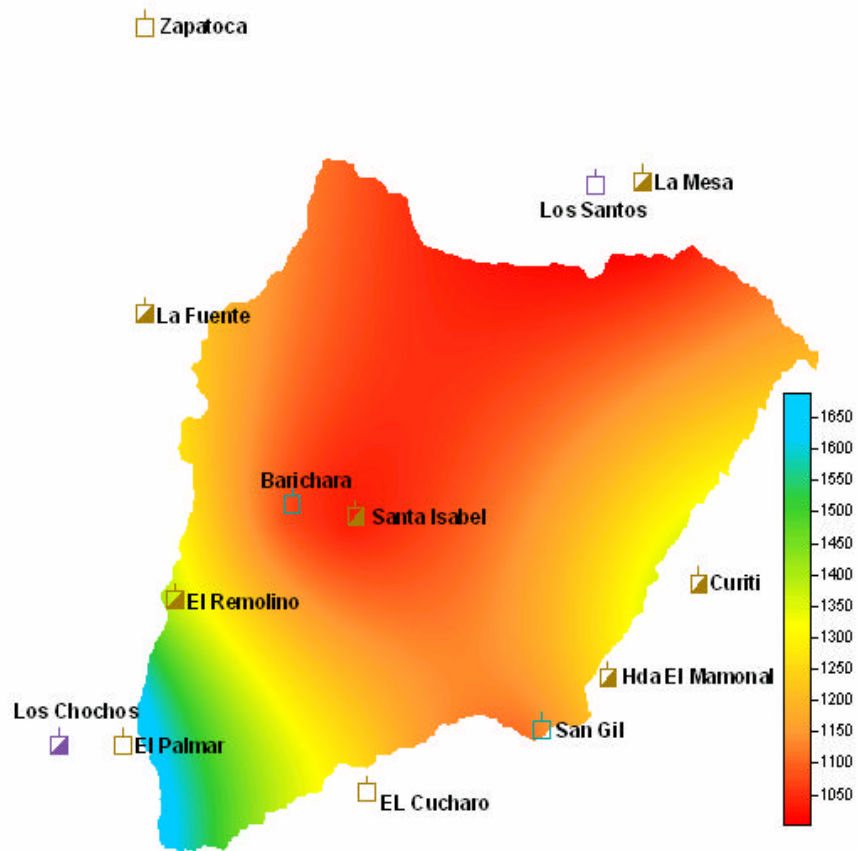


Figura 2.7 Distribución de la precipitación mm/año

2.3 EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es una componente principal del ciclo hidrológico con profundas implicaciones climáticas, es también uno de los procesos más críticos en el mismo, la cual debe estimarse, más no se puede medir, a no ser que se cuente con dispositivos que provean resultados directos tales como evapotranspirómetros o lisímetros.

2.3.1 Generalidades

La evapotranspiración es la consideración conjunta de los procesos: transpiración y evaporación; la primera es el fenómeno biológico por el que las plantas pierden agua a la atmósfera. La segunda es el fenómeno físico en el que el agua pasa de líquido a vapor. Y se presenta desde 3 zonas:

- La superficie del suelo y la vegetación inmediatamente después de llover.
- Las superficies de agua como Ríos y lagos.
- El suelo, agua infiltrada que se evapora desde la parte más superficial del suelo.

Como son difíciles de medir por separado se considera conjuntamente bajo el concepto mixto de evapotranspiración, el interés de su estudio se centra en la cuantificación de los recursos hídricos.

Ahora bien, existen dos tipos de evapotranspiración: la real y la potencial. La evapotranspiración potencial (ETP) es aquella que se produciría si la humedad del suelo y si la cobertura vegetal estuviera en condiciones óptimas y la real (ETR) es la que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso.

Como el concepto de ETP es difuso, se han establecido los siguientes conceptos:

- Evapotranspiración de cultivo de referencia (ET_o) es aquella que se produciría en un campo de gramíneas (trigo, arroz) de 12 cm de altura, sin falta de agua y con determinadas características aerodinámicas y de albedo
- Evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar (ET_c), se produce en un cultivo especificado, sano, bien abonado y en condiciones óptimas de humedad de suelo. Es igual al anterior multiplicada por un coeficiente (K_c) correspondiente al tipo de cultivo.
- La Evapotranspiración de un cultivo en condiciones no estándar se da cuando no se cumple las condiciones ideales. Es necesario ajustar el coeficiente de cultivo K_c y multiplicar por otro coeficiente K_s que depende de la humedad del suelo. (García y Otero, 2005)

2.3.2 Variables climáticas

Los parámetros macro climáticos, la temperatura, brillo solar, el recorrido del viento y la humedad relativa, condicionan la mayoría de los factores físicos de la zona de estudio.

El número de estaciones con Información Climática es reducido y se observa en la tabla 2.3 que solo la estación del Cucharó posee datos de Brillo Solar y Humedad del viento

Tabla 2.3 Tabla de datos climáticos faltantes para la Zona Guanentina

Entidad	Tipo de estación	Estación	Periodo		cota	% Temperatura	% Humedad Relativa	% Brillo Solar	% Velocidad del Viento
			F inicio	F final					
Coltabaco	CO	Barichara	01/01/1994	31/12/2003	1290	12.50%	10.83%	100.00%	100.00%
IDEAM	CP	EL Cucharó	01/01/1994	31/12/2003	979	6.67%	7.50%	1.67%	28.33%
IDEAM	CO	El Palmar	01/01/1994	31/12/2003	940	0.00%	5.00%	100.00%	100.00%
Coltabaco	CO	Los Santos	01/01/1994	31/12/2003	1250	5.00%	5.00%	100.00%	100.00%
Coltabaco	CO	San Gil	01/01/1994	31/12/2003	1120	10.00%	10.00%	100.00%	100.00%

La Zona Guanentina presenta un limitación, en cuanto a la reducida información que se encuentra, la cual no permite la aplicación de fórmulas más desarrolladas y se restringe a el uso de fórmulas que sólo consideren dos variables, la Humedad Relativa y la Temperatura; tan solo la estación El Cucharó posee registros de Brillo Solar, Velocidad del Viento y Tanque Evaporímetro.

Temperatura

A partir del análisis de temperatura de las estaciones se encuentra que el rango de temperatura medias mensuales para la zona oscila entre los 23 y 26°C. El mes de Octubre presenta las temperaturas bajas y el mes de Febrero las temperaturas más altas.

El análisis se realizó identificando los periodos de Niño y Niña fuertes (Anexo 2) que influyen en la homogeneidad, y distinguirlos de los posibles errores de consistencia para su posterior tratamiento.

Las series (Anexo 3 -Temperatura) presentan un comportamiento consecuente con el fenómeno del Niño y de la Niña; Se presentan fenómenos de tipo regional que se reflejan en las distintas series como lo son: una disminución significativa de la temperatura entre mayo y junio del 95 y un aumento de la temperatura en los periodos entre diciembre del

2001; enero del 2002 y enero del 2004. Estas similitudes entre series pueden presentarse en la estructura de los estadísticos, pero son generados por causas naturales. Por lo anterior estas series no necesitan ningún tipo de corrección. La serie de temperatura en Barichara presenta diferencias en intensidad de episodios de temperatura en relación con las restantes estaciones.

Humedad relativa

Expresa el grado de saturación del aire como una relación de la presión de vapor real y la presión de vapor de saturación a una misma temperatura. Se expresa en un porcentaje. Así, por ejemplo, una humedad relativa del 100% significa un ambiente en el que no cabe más agua. El cuerpo humano no puede transpirar y la sensación de calor puede llegar a ser asfixiante, corresponde entonces a un ambiente húmedo (Gómez S, Et al 2007). La humedad relativa media mensual en la Zona Guanentina se encuentra entre 60 y 75%. Los valores más altos de humedad relativa ocurren durante la segunda época lluviosa del año (Octubre), y los mínimos valores durante los meses de Enero y Febrero.

El registro de la estación de Barichara presenta un comportamiento anormal con un aumento de 20% de la humedad relativa en el 2001, originando una tendencia creciente significativa. Por medio del test de estabilidad de media se observa que en la serie la media cambia abruptamente de un valor de 55 % a uno 72% de Humedad Relativa; se presume que el cambio de propiedad de Coltabaco y a su vez del observado, haya generado lecturas deficientes de estas series no obstante no se pudieron obtener metadatos más específicos, es por eso que no se sabe con certeza cuál de las partes en las cuales se divide la serie corresponde a datos espureos o errores sistemáticos. Se procedió a corregir la serie haciendo diferencia de medias entre los subperiodos 1993 al 2000 y del 2000 al 2003

Las series de San Gil y Los Santos presenta una tendencia creciente y aumento en los valores de registro probablemente relacionados con un error sistemático en la medición, es notorio un comportamiento anormal en la serie y el test de Spearman muestra que la

tendencia creciente es significativa en la serie de San Gil, se corrigen las series haciendo diferencia de medias

En la estación del Cucharo y el Palmar la periodicidad es aceptable y la tendencia que se presenta no es significativa. Mediante el test de Pettit se identificaron periodos donde hay probabilidad de cambios en los estadísticos. Se procedió a evaluarlas con la estabilidad de media y de varianza encontrándose que los cambios no son significativos en el tiempo. En el Anexo 3 se presenta el análisis de la humedad relativa para cada una de las estaciones

Brillo solar y velocidad del viento

La serie de brillo solar de la estación El Cucharo muestra poca tendencia decreciente, mediante el test de Spearman se observa que no es significativa, la serie además muestra una periodicidad aceptable

La serie de velocidad de viento (figura 2.6) en la estación El Cucharo evidencia un comportamiento anormal además de una gran cantidad de datos faltantes.

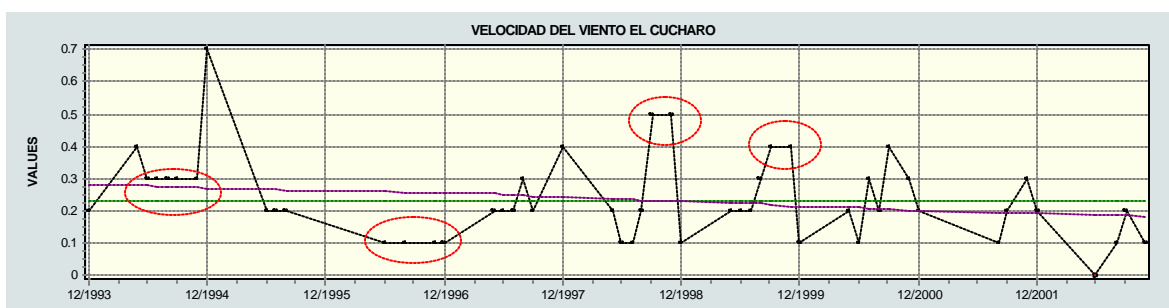


Figura 2.6 Velocidad del Viento Datos Puros – Estación El Cucharo

Mediante el test de Spearman se observa que la tendencia decreciente no es significativa, pero esta serie muestra un comportamiento muy pobre en el componente estocástico, presentándose periodos de tiempo donde el registro es el mismo, lo que pone al descubierto un error sistemático; no se procede a hacer un análisis porque la serie muestra demasiadas anomalías. Las graficas de las variables climáticas se presentan Anexas al presente informe

2.3.3 Formulas Semiempíricas

Numerosas fórmulas permiten evaluar la evapotranspiración potencial con una aproximación suficiente para estudios hidrológicos. Normalmente estas formulas calculan la ETP mensual para datos medios de una serie de años, después con la ETP mensual y las precipitación mensual se realiza un balance mes a mes del balance del suelo con lo que se obtiene la ETR

Los métodos existentes para estimar evapotranspiración real varían en complejidad desde los más sencillos: Budyko, por ejemplo, hasta los más elaborados como Penman-Monteith. El mejor método, sin embargo, sería aquel que recoja la mayoría de los parámetros climatológicos existentes en una zona determinada (precipitación, brillo solar, humedad, etc) y que, junto con la evapotranspiración potencial, genere valores en lo posible diarios de evapotranspiración real, sin descuidar las características propias del suelo en el sitio de la estimación. (Garcia y Otero, 2005) En la tabla 2.4 se presenta un resumen de algunos de estos métodos

Tabla 2.4 Formulas para el calculo de la evapotranspiración

ECUACIÓN	Tipo de estimación	Período considerado	VARIABLES	Resultados en otras zonas tropicales
1 Turc	Real	mm/año	Temperatura, Precipitación.	Confiables
2 Turc Modificado *	Potencial	mm/mes	Radiación, Temp. Hum. relativa.	Confiables
3 Coutagne	Real	m/año	Temperatura, Precipitación.	Poco confiables
4 Thornthwaite *	Potencial	mm/día	Temperatura.	Comportamiento no muy bueno
5 Christiansen *	Potencial	mm/mes	Radiación solar extraterrestre, Humedad relativa, Vel del viento, Temperatura, Elevación.	Buenos, aunque con poca información
6 García y López *	Potencial	mm/día	Temperatura, Humedad relativa.	Confiables, fue desarrollada para el trópico
7 Blaney y Criddle	Potencial	mm/mes	Coef de cultivo, Temp., %de horas de brillo solar mensual con respecto al año.	Comportamiento pobre, es más utilizado por Agrónomos
8 Penman *	Potencial	mm/día	Presión atmosférica, Coef. psicométrico, Rad. extraterrestre, Durac. de la insolación, Rad. del cuerpo negro, Presión de vapor, Temp., Vel. del viento.	Buenos, a pesar de la falta de información
9 Cenicafé *	Potencial	mm/día	Elevación	Confiables
10 Meyer	Potencial	cm/mes	Presión de vapor, Coeficiente empírico, Velocidad del viento a 10 m de altura.	Poco confiables
11 Zonas de Vida *	Real	mm/año	Temperatura, Latitud, Precipitación	Confiables
12 Budyko **	Real		ETP, Precipitación	Confiables
* Ecuaciones de estimación de ET utilizadas en el estudio				
** Ecuación para estimar ETR partiendo de las ecuaciones seleccionadas que estiman ETP				

Fuente: Mendoza y Sandoval 2002

Las estimaciones Evapotranspiración, se hacen en resolución mensual y son consistentes con las definiciones que la literatura consigna; los valores que se obtienen están sujetos a limitación provenientes de escasez de información en la zona y de inexistencia en estudios referentes a los cultivos propios y a sus condiciones reales de sanidad y humedad. Los Fundamentos teóricos de los métodos se encuentra en los textos de Custodio y Llamas (1996) y en Balances Hidrológicos de Colombia, Paginas 59 a 83 (Vélez et al., 2000)

2.3.4 Evapotranspiración Potencial (ETP)

El concepto de evapotranspiración potencial introducido por Thornthwaite fue definido como la pérdida de agua que ocurriría si en ningún momento existiera déficit de agua en el suelo para uso de la vegetación (Linsley-1977) Para que sea útil la evapotranspiración Potencial debe ser independiente de la naturaleza y condiciones de la superficie, excepto a la disponibilidad de humedad, Existe una buena razón para considerar la evapotranspiración potencial como equivalente de la evaporación de una superficie de agua libre siempre y cuando halla una cobertura vegetal completa.

Se tomaron como base para el estudio las fórmulas de evapotranspiración de Turc Modificado, Christiansen, García y López, Blaney y Criddle, Thornwaite, Cenicafe, Penman, FAO Penman Monteith las cuales ofrecen resultados confiables en zonas tropicales. (Mendoza, Sandoval- 2002) En la tabla 2.5 se presenta un resumen de los resultados de la Evapotranspiración Potencial luego de aplicar las ecuaciones en cada una de las estaciones. Solo en la estación El Cucharó se aplicó las metodologías de Turc Modificado, Christiansen, Penman-Monteith y FAO Penman-Monteith, ya que contaba con registros de brillo solar y velocidad del viento

Tabla 2.5 Resultados de ETP en la Zona Guanentina (mm)

	EL CUCHARO	EL PALMAR	LOS SANTOS	SAN GIL	BARICHARA
THORNTHWAITE	1307	1543	1242	1354	1163
CENICAFE	1398	1409	1325	1360	1314
GARCÍA Y LÓPEZ	1652	2110	1771	1748	1780
IVANOV	1406	1555	1791	1561	1438
BLANEY CRIDDLE	1424	1474	1408	1435	1386
CHRISTIANSEN	1135	-	-	-	-
TURC MODIFICADO	1457	-	-	-	-
PENMAN	1247	-	-	-	-
FAO P-M	1305	-	-	-	-

Como se observa los mayores valores los presenta la ecuación de García y López la cual está en función de la Temperatura y la Húmeda Relativa, y los más bajos los presenta la Ecuación de Thornthwaite que está en función únicamente de la temperatura.

En el Anexo 3 se encuentran las graficas y los resultados de las formulas aplicadas en cada una de las estaciones

2.3.5 Criterio para elección y selección de evapotranspiración potencial

El punto de partida para seleccionar la mejor fórmula en cada estación, es la comparación entre los datos directos del tanque evaporímetro y los datos estimados de Evapotranspiración potencial. Para esto se tuvo en cuenta cuatro criterios de selección, (Castro, Guzmán- 1985), que se aplicaron a la estación el Cucharo. Esta es la única que posee registros de evaporímetro (tabla 2.6)

Tabla 2.6 Registro de evaporímetro (mm)

MESES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
TANQUE Evaporímetro	159.9	156.7	169.3	138.2	131.8	120.6	132.6	141.9	133.4	126.3	121.7	140.5

Metodología coeficiente de correlación:

Se calcula el coeficiente de correlación R para cada una de las regresiones efectuadas, esto permite conocer qué tan relacionados están los valores de evaporación y los estimados. Cuanto más cercano el valor a 1 mejor es la relación

Las ecuaciones que tienen mejor comportamiento son García y López, Thornthwaite e Ivannov, por el contrario Cenicafé describe un comportamiento muy pobre

Metodología relación porcentual

Se calcula con fin de apreciar numeralmente la proporción existente entre los valores mensuales, para evaluar la bondad se tomó como marco de referencia los resultados obtenidos por varios investigadores, según los cuales esta proporción ha fluctuado entre 70 y 80% (Castro, Guzmán- 1985), Es esta metodología son las ecuaciones de Penman y Thornthwaite las que se encuentran en el rango de valores mas indicados, 75.13 % y 78.37%.

$$\frac{ETP}{EV} * 100\%$$

(4)

ETP = Evapotranspiración Estimada con los métodos

EV = Evaporación de tanque

Metodología Índice Estacional

Se utiliza para establecer qué tan fiel la curva de ETP de las diferentes fórmulas siguen el movimiento de la curva de evaporación

$$IE = \frac{\overline{Xm}}{\overline{X}} * 100 \quad (5)$$

\overline{Xm} = valor promedio multianual mensual de la serie

\overline{X} = valor promedio multianual de la serie

Pasos a seguir:

1. Cálculo del Índice Estacional para cada mes y cada una de las formulas
2. Cálculo del índice Estacional para la evaporación de tanque en cada mes
3. Hallar las diferencias entre los Índices calculados y el promedio de éstas

La Tabla 7 presenta un resumen de la evaluación de ETP con cada una de las metodologías. Se observa que la ecuación de García y López presenta el mejor comportamiento.

Tabla 2.7 Evaluación ETP en la estación El Cucharo

	Coef. de Correlación	Relación Porcentual	Índice Estacional
Thornthwaite	0.96	78.37	2.69
Turc Modificado	0.78	87.80	6.58
Cenicafe	0.02	84.51	8.76
García y López	0.97	98.83	1.95
Christiansen	0.88	68.11	4.48
Penman	0.63	75.13	6.68
Ivanov	0.94	83.40	8.52
Blaney Criddle	0.12	86.00	9.06

Para complementar el criterio de selección se recurre a la figura 2.8 la cual muestra que la fórmula de García y López presenta un marcado comportamiento cíclico bimodal y una gran semejanza a la evaporación de tanque.

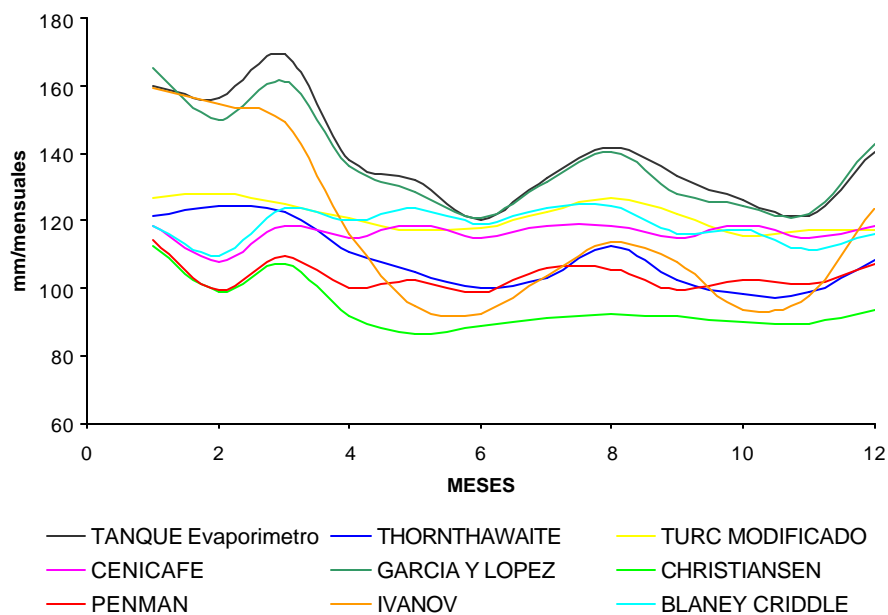


Figura 2.8 Superposición de curvas de ETP en la Estación El Cucharo

Siendo entonces García y López la fórmula que mejor resultados presenta y verificando que en todas las estaciones se presente el comportamiento bimodal, con esta fórmula se procede entonces realizar el cálculo de la Evapotranspiración Real y la distribución de Evapotranspiración Potencial en la Zona Guanentina arrojando un valor promedio multianual de **1697mm/año**

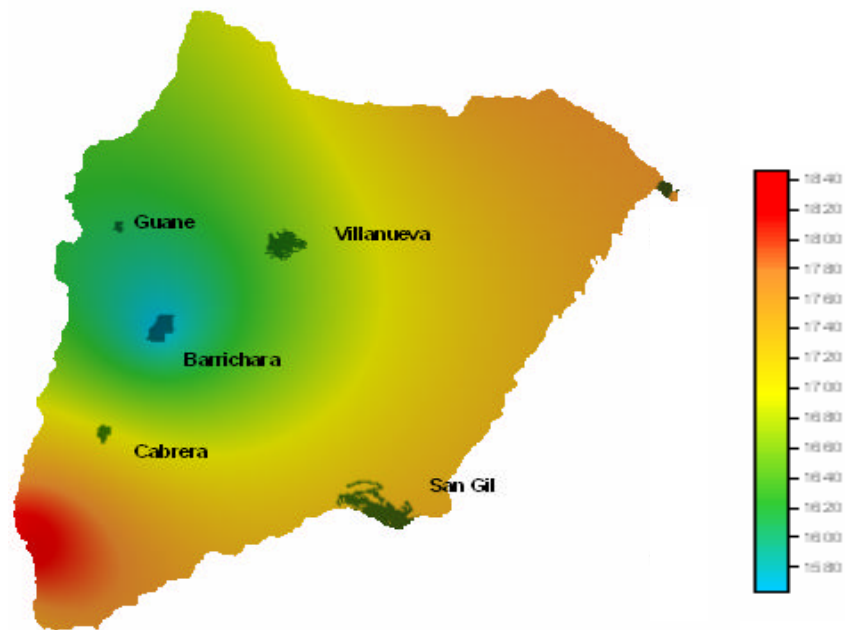


Figura 2.9 ETP distribuido en la Región, método García y López

2.3.6 Evapotranspiración Real (ETR)

Para dar un estimativo la ETR en la zona se aplicó el método de Budyko, descrito y utilizado en el libro de Balances Hídricos de Colombia (Vélez et al., 2000), Budyko estima los valores de ETR en función de valores de de Evapotranspiración Potencial y Precipitación promedio multimensual.

Ecuación de Budyko

$$ETR = \sqrt{ETP * P \tanh\left(\frac{P}{ETP}\right) \left(1 - \cosh\left(\frac{P}{ETP}\right) + \sinh\left(\frac{P}{ETP}\right)\right)} \quad (6)$$

ETR es la evaporación real, P es la precipitación, ETP es la evaporación potencial en mm por periodo considerado en la Tabla 2.8 se observan los resultados de ETR

Tabla 2.8 Evapotranspiración Real mm/mes multianual

	BARICHARA	EL PALMAR	LOS SANTOS	SAN GIL	EL CUCHARO
ENE	31.95	40.35	21.07	18.81	8.54
FEB	50.19	81.02	46.28	51.53	68.77
MAR	69.99	106.04	53.04	54.14	70.74
ABR	88.78	125.22	83.20	92.43	106.87
MAY	90.79	113.89	86.45	99.31	107.27
JUN	67.30	93.28	62.43	86.13	69.76
JUL	72.34	93.88	73.50	91.45	83.99
AGO	71.28	111.84	69.59	87.89	90.65
SEP	88.70	119.03	91.14	96.02	93.48
OCT	98.21	121.70	99.86	88.72	105.53
NOV	69.18	109.51	64.58	61.65	77.34
DIC	24.27	65.44	26.77	30.12	47.56
TOTAL	822.98	1181.20	777.91	858.21	930.51

Con estos resultados obtenidos se procedió a distribuirlos sobre la región de la Zona Guanentina dando como resultado la distribución espacial mostrada en la figura 2.10

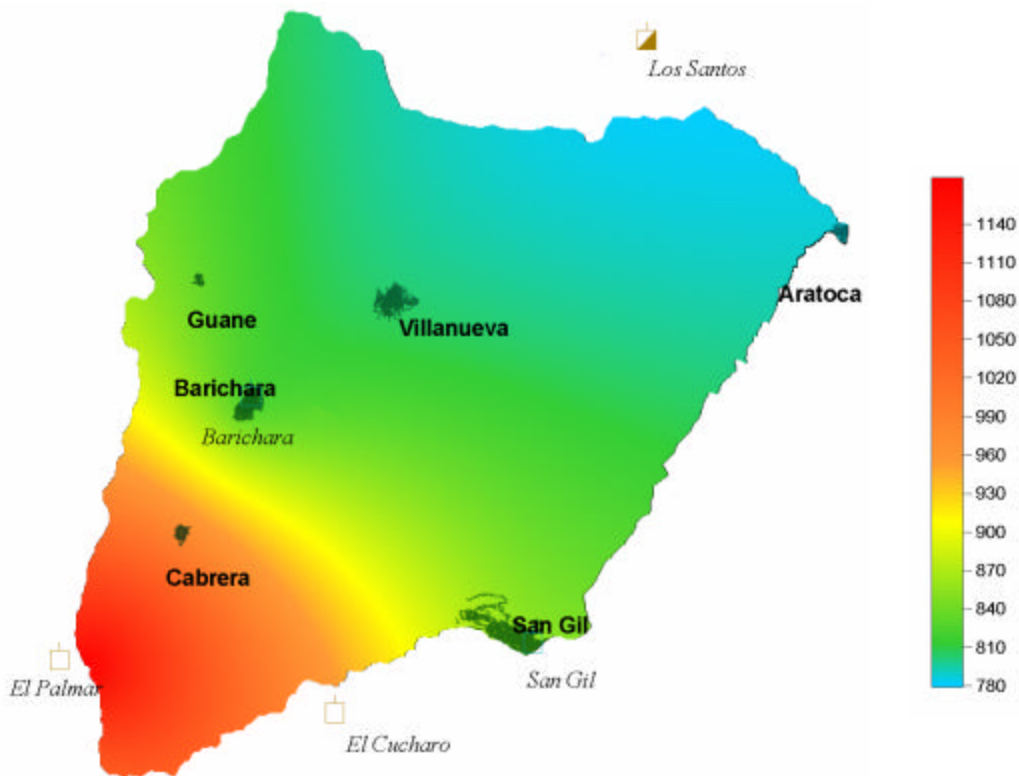


Figura 2.10 Distribución de la Evapotranspiración Real mm/año

Como se aprecia la Evapotranspiración varía entre 780 y 1140 mm/año .y posee un valor promedio de **854 mm/año**. Ésta debe distribuirse acorde a la precipitación y al potencial evaporable de la zona, por lo tanto en donde la zona tenga condiciones propicias para la evapotranspiración, pero no se presente precipitación, la evapotranspiración real será menor.

2.4 ESCORRENTÍA

La Escorrentía se calcula con base en el método de la Curva número, desarrollado por el SCS de los Estados Unidos (Soil Conservation Service) debido a la falta de información de caudal en la zona, y a la topografía, en una gran extensión suave, se hace posible aplicar esta metodología; este método puede estimar la altura de precipitación efectiva a partir de la precipitación total y de las características de la zona en estudio como lo son el uso y tipo de suelo.

2.4.1 Método De La Curva Número

El SCS desarrolló un procedimiento empírico para estimar la escorrentía y su influencia sobre los cambios en el uso de la tierra y el tipo de suelo. La Ecuación de escorrentía se determinó después de extensos estudios sobre las relaciones de lluvia-escorrentía de muchas cuentas rurales y urbanas, debido a la necesidad de encontrar un método práctico de determinación de caudales de escorrentía.

Utilizando los datos obtenidos en varios años de investigación se propuso la siguiente relación entre infiltración y escorrentía. (Gómez, 1986)

$$\frac{Q}{Pa} = \frac{F}{S} \quad (7)$$

Donde:

F = Infiltración real de la precipitación durante una tormenta sin incluir el agua retenida inicialmente

S = Potencial máximo de infiltración incluyendo el agua retenida inicialmente

Pa= Potencial máximo de escorrentía directa o agua disponible para escorrentía

Pa= P – la

P = Precipitación total

I_a = Agua retenida inicialmente, y es igual a la precipitación que ocurre antes de empezar la escorrentía

Q = Escorrentía directa real

La Escorrentía no ocurre hasta que la precipitación P , exceda los valores de intercepción es decir cuando $P > I_a$. Analizando los datos de lluvia se llegó a determinar el agua retenida I_a en función del potencial de infiltración así

$$I_a = 0.2S \tag{8}$$

Por lo tanto despejando la fórmula (7) y realizando los cambios de variables, la escorrentía directa, la precipitación y el potencial máximo de infiltración se relaciona con la siguiente ecuación empírica:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \tag{9}$$

Esta ecuación representa una familia de curvas de Q sobre P , para un rango de valores de "S" desde 0 hasta ∞ por medio de esta ecuación se obtienen las curvas de la Figura 2.53 que representa la altura de escorrentía. La ventaja de esta ecuación sobre muchas otras es la facilidad de su uso, debido a que solo requiere el parámetro S, relacionado con las características de la zona. (Ibíd. pp. 26)

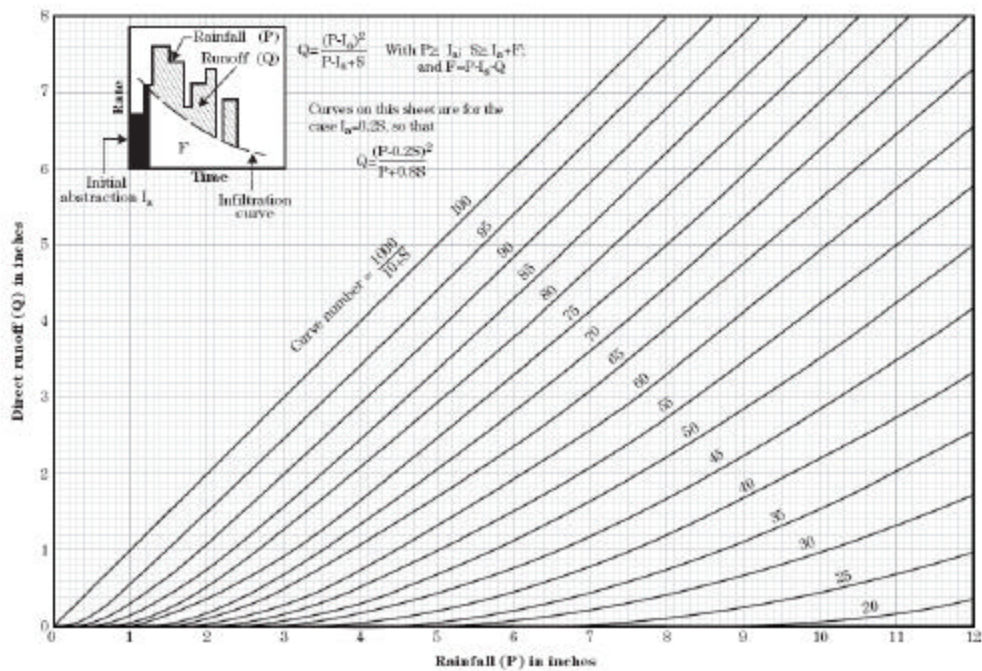


Figura 2.11 Solución a la ecuación de escorrentía

Fuente: http://policy.nrcs.usda.gov/media/pdf/H_210_630_10.pdf

El potencial máximo de infiltración S , esta limitado por la rata de infiltración en la superficie del suelo o por la cantidad de agua en el almacenamiento. Y está relacionado con las condiciones de la cubierta y del suelo de una zona determinada. Esta relación se expresa en término de la Curva Número de Escorrentía de la siguiente forma: (Gómez, 1986)

$$S = \frac{2.540}{CN} - 25.4 \quad S \text{ en cm} \quad (10)$$

Las Curvas Numero (CN) se encontraron analizando lluvias y escorrentía, medidas en un gran número de cuencas, con diferentes tipos de suelos y coberturas; estos números no tienen significado propios son una transformación conveniente del potencial de escorrentía de la cuenca S , e una escala de 0 a 100 (Ibíd. pp. 32)

Condición de humedad antecedente

Los Números de curva que se muestran en la figura 2.11 se aplican para condiciones de humedad antecedente normales, pero para condiciones, denominadas secas y en condiciones húmedas (la lluvia acumulada en los 5 días antes de la fecha de análisis sea mayor al valor de 5 cm); para estas dos condiciones los números de curvas deben recalcularse siguiendo las formulas de la SCS

Clasificación de los suelos

Con base a la capacidad de infiltración y potencial de escorrentía se clasificaron los suelos en cuatro grupos teniendo como base las características descritas en la tabla 2.9

Tabla 2.9 Clasificación hidrológica de los suelos

GRUPO	DESCRIPCIÓN
A	Suelos con alta tasa de infiltración aun cuando estén completamente húmedos, consiste principalmente en Arenas y gravas bien drenadas, se incluyen terrenos con pendientes relativamente planas, y potencial de escorrentía bajo. Tasa de infiltración mínima entre 0.76 y 1.14 cm/hora
B	Suelos con tasa de infiltración moderada, con estratos profundos y bien a moderadamente drenados, con texturas finas a gruesas, potencial de transmisión de agua y escorrentía moderados. Tasa de infiltración mínima entre 0.38 y 0.76 cm/ hora
C	Suelos con tasa de infiltración baja. Consisten de suelos con un estrado impermeable o suelos con texturas finas, son suelos que contiene mucha arcilla aunque menos que el grupo D, estos suelos tienen un alto potencial de escorrentía. Tasa de infiltración mínima entre 0.13 y 0.38 cm/hora.
D	Suelos con baja tasa de infiltración cuando están completamente saturados. Consisten de: Suelo arcilloso con alto potencial expansivo, Suelo con alto contenido de agua permanente, suelos con capas de arcillas cerca de la superficie, suelos superficiales cercanos o sobre material impermeable, se incluyen terrenos con pendiente mayores o iguales al 30%. Estos suelos tienen un alto potencial de escorrentía. Tasa de infiltración mínima entre 0 y 0.13 cm /hora.

Fuente: Gómez 1986 y modificado por los autores

La clasificación de los tipos de uso, lo realizó el Grupo de Predicción y Modelamiento Climático a partir del reconocimiento de campo y el conocimiento Geológico del posible comportamiento de la infiltración en la Zona Guanentina (figura 2.12)

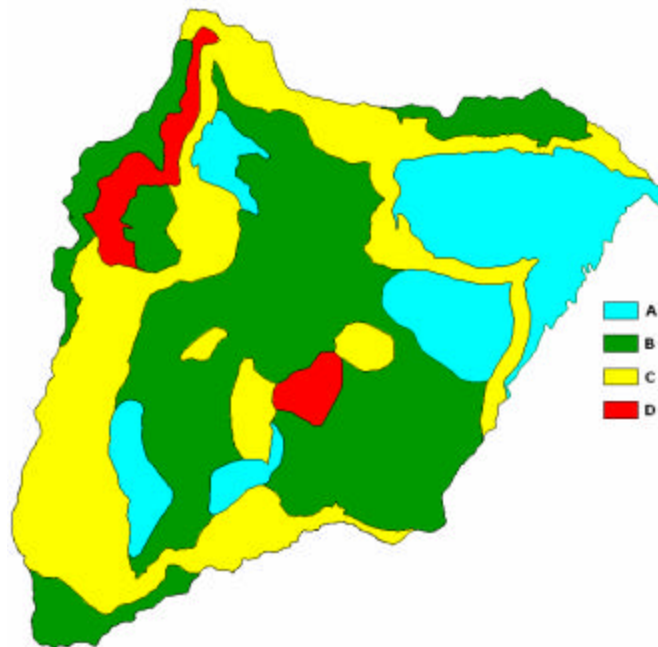


Figura 2.12 Mapa de clasificación de suelos hidrológicos

TIPO A: tipo de suelo más permeable, está constituido por calizas fracturadas con avanzados procesos de karstificación areniscas de grano medio grueso con una porosidad entre 10% al 20%, limonitas arenosas ligeramente lodosas con porosidad primaria entre 15% al 18% y metareniscas fuertemente diaclasadas

Se localizan en diferentes formaciones así:

Formaciones Tambor, Rosablanca y Silgara en las veredas Macaregua, Quebrada Seca, Clavellinas y San Carlos.

Formaciones Tablazo y Simití en las veredas La Peña, Paloblanco y las Joyas al Este de Villanueva y en las veredas Guarigua Alto, Paramito y Santa Helena al Este de Cabrera, y en la vereda Butaregua.

TIPO B: Tipo de suelo menos permeable, conformado por areniscas de grano medio lodosos con porosidad aproximada de 12%, limonitas ligeramente arenosas, calizas fracturadas cerradas con escasa evidencia de karstificación, esquistos de grano medio a grueso muy diaclasado, depósitos de material heterométricos de tamaño de grava-arena en matriz limosa.

En las Formaciones:

Formaciones Simití y Tablazo ubicadas en las zonas de mayor altitud en la mesa.

Formaciones Rosablanca, Silgara y Depósitos de derrubios en las veredas de Sucesito, Guasito Sardinas y Butaregua.

TIPO C: menos impermeable, lo conforman limolitas arcillosas, arcillolitas, depósitos de material de tamaño grava-arena con una matriz lodosa, calizas con bajo grado de fracturamiento.

Se encuentran en las formaciones Paja, Jordán, Girón, Rosablanca y depósitos coluviales.

TIPO D: Más impermeable constituido por arcillolitas y lodolitas de la formaciones Paja en las veredas Palogordo y El Pino y la formación Simití en la vereda Guayabal. (Gómez S, et al -2007)

Para el empleo del método empírico de obtención de escorrentía directa en la Zona Guanentina, se hizo necesario generar zonas homogéneas de uso de suelo (figura 2.54), basándose en información digital de la distribución espacial de las coberturas y de uso de suelo de cada uno de los municipios que conforman la zona de estudio. Esta información fue tomada de los POAT y EOT. En Tabla 2.10 se da la descripción de los uso de suelo utilizados

Tabla 2.10 Usos de suelos

	USO	DESCRIPCIÓN
U1	Tierras Eriales	Tierras sin uso y rastrojos
U2	Urbanos	Áreas urbanas, cabeceras municipales.
U3	Uso Mixto	Pequeñas áreas de diferentes cultivos, incluidos pastos, rastrojos y bosques.
U4	Agrícola	Áreas de cultivos semestrales y tierras de descanso.
U5	Ganadería	Áreas con predominio de pastos naturales y pastos mejorados.
U6	Vegetación Natural	Áreas con predominio de bosques naturales primarios y secundarios.

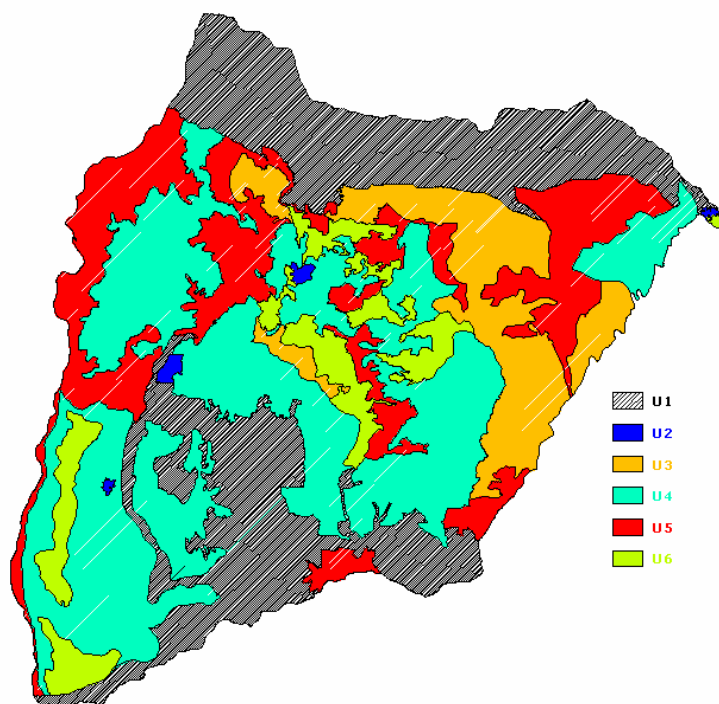


Figura 2.13 Uso de suelo Zona Guanentina

2.4.2 Cálculo y espacialización de la escorrentía

El método se desarrolla en SPELL Amo y se basa en la distribución espacial de la precipitación en resolución diaria, y los planos Uso y Tipo de suelos caracterizados por un valor específico de CN (tabla 2.1)

Tabla 2.11 Numero de curvas de escorrentía –Zona Guanentina

USO		TIPO			
		A	B	C	D
U1	Tierra Erial	-	80	87	93
U2	Zona Urbana	98	98	98	98
U3	Uso Mixto	72	81	88	91
U4	Uso Agrícola	62	71	78	81
U5	Ganadería Caprina	63	77	85	88
U6	Vegetación Natural	62	71	78	81

Con la información de precipitación que se origina, se aplicó el método de la SCS y se obtuvo un valor de Escoorrentía Directa promedio multianual de **88 mm / año**; se consideró

que este número subvaloraba la escorrentía debido a que el método no tiene en cuenta las pendientes y la Zona Guanentina presenta escarpes extensos que aumentan la velocidad y afectan los valores esta variable.

La morfología del terreno de la Zona Guanentina presenta dos regiones diferentes, en la región central predominan las pendientes suaves a moderadas y en las zonas limitantes con los ríos Chicamocha, Suárez, y Fonce se presentan escarpes extensos y laderas de pendientes fuertes. Las pendientes de mayor gradiente, de mayor longitud y de formas rectas determinan un mayor escurrimiento superficial sin importar el tipo de suelo, puesto que las altas pendientes ocasionan Escorrentia Laminar al impedir que el terreno se sature.

Por efecto de la pendiente, la Escorrentia estimada por el método de la SCS se aumentó en un 40% sólo en las regiones aledañas a los escarpes (pendientes mayores de 40°), este valor fue asumido puesto que en Colombia no se encuentran estudios cuantitativos que relacionen pendiente-precipitación-escorrentia. Con las anteriores consideraciones se obtuvo una distribución anual de escorrentia como se muestra en la Figura 2.14 la cual estima un valor promedio de **163 mm/año**.

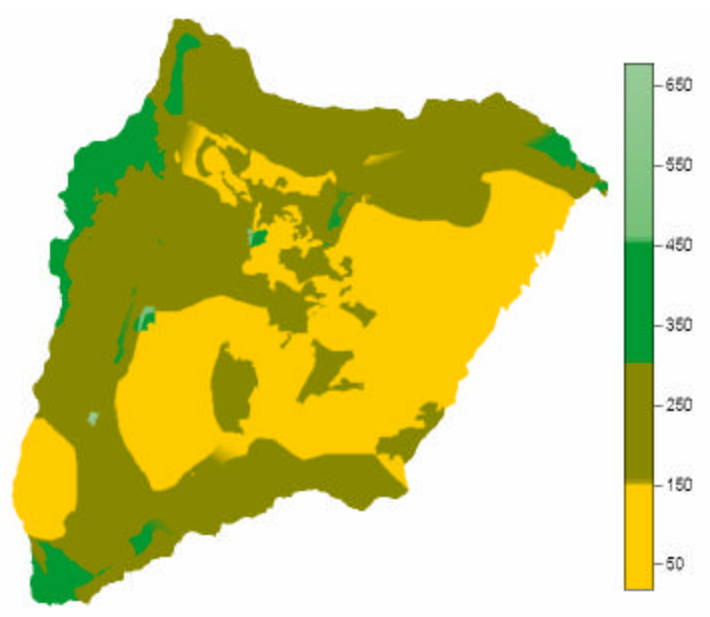


Figura 2.14 Distribución espacial de la escorrentía mm/año

2.5 EFECTO ANTRÓPICO.

Se entiende por factor antrópico, la cantidad de agua necesaria para consumo humano o para las actividades del hombre. El factor antrópico se considera como una salida del sistema en forma subterránea y superficial

En este estudio se consideró el efecto antrópico ocasionado por las captaciones superficiales, siendo las más relevantes las destinadas al uso agrícola y consumo humano, debido a que la zona Guanentina destina un 35% de su área a la actividad agrícola y aproximadamente cuenta con una población de 50000 habitantes entre las zonas rurales y cabeceras municipales.

2.5.1 Consumo Humano

La valoración del factor antrópico se dividió en dos componentes como fueron consumo humano y factor agrícola por regadío en cultivos. Para el primero de ellos se tomo la información del Censo del año 2005 adelantado por el DANE del cual se obtuvieron las poblaciones por municipios:

Tabla 2.12 Población de la Zona Guanentina

ÁREA ZONA GUARENTINA (Hab.)			
	Cabecera	Rural	Total
Barichara	2588	4475	7063
Cabrera	465	1409	1874
Curití	0*	1467	1467
Jordan	64	833	897
San Gil	18374	2724	18804
Villanueva	3477	3574	7051
Aratoca	2188	862	3050

* La cabecera municipal no se encuentra dentro de los límites de la zona

Fuente: DANE Censo 2005 y modificada por lo autores

El Reglamento Técnico De Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) para diseño de acueductos, estima que un 30% del consumo total de agua representa el valor máximo de pérdidas el sistema de transporte. Con los datos de población existente en la región y consumo per cápita de 200 lt/hab-día se calculo el consumo total de agua, el cual permitió estimar el valor de las perdidas que posteriormente fueron distribuidas espacialmente en las diferentes cabeceras municipales y zonas rurales.

2.5.2 Uso Agrícola

Para la evaluación del factor antrópico generado por la actividad agrícola se estimó un valor de uso consuntivo del los diferentes cultivos en las zonas de producción agrícola, basados en información proporcionada por diferentes medios, (Tinoco, 2007, Meléndez, 2003), en la cual los cultivos característicos de la zona requieren una cantidad específica de agua en su periodo vegetativo para obtener una producción normal, como se aprecia en la Tabla 2.13

Tabla 2.13 Requerimiento hídrico de cultivo

CULTIVO	REQUERIMIENTO HIDRICO	AREA (HA)
Tabaco y Fríjol	800 mm/año	3000
Cultivos en secano (cultivo sin tecnificar)	500 mm/año	4000
Frutas y hortalizas	1300 mm/año	1100
Maíz	1000 mm/año	1000

Los cultivos mencionados necesitan un sistema de riego para alcanzar su requerimiento hídrico, comúnmente, sólo entre el 15% y 50% del agua extraída para regadío llega a la zona de cultivos, la mayor parte se pierde por absorción en las acequias no revestidas, por las fugas de las tuberías, o por evaporación antes de llegar a los campos de cultivo (Melendez- 2003).

Parte del agua "perdida" en los sistemas de riego ineficientes retorna al sistema, (corrientes de agua o acuíferos), y la restante sale del sistema por evaporación, esta

última se considera como pérdida por efecto antrópico y se asumió como el 20% del requerimiento hídrico.

2.5.3 Distribución espacial del efecto antrópico

El requerimiento hídrico total en las zonas de agricultura oscila entre los 700 a 800 mm/año y de este 150 mm/año se estima como pérdidas, las cuales se distribuyen en las zonas identificadas por los POAT como de uso agrícola. Al tener establecidos los valores anuales de pérdidas por parte de consumo humano y uso agrícola, se asignan a las regiones afectadas por estos componentes y se calcula un valor promedio multianual de **54 mm /año**

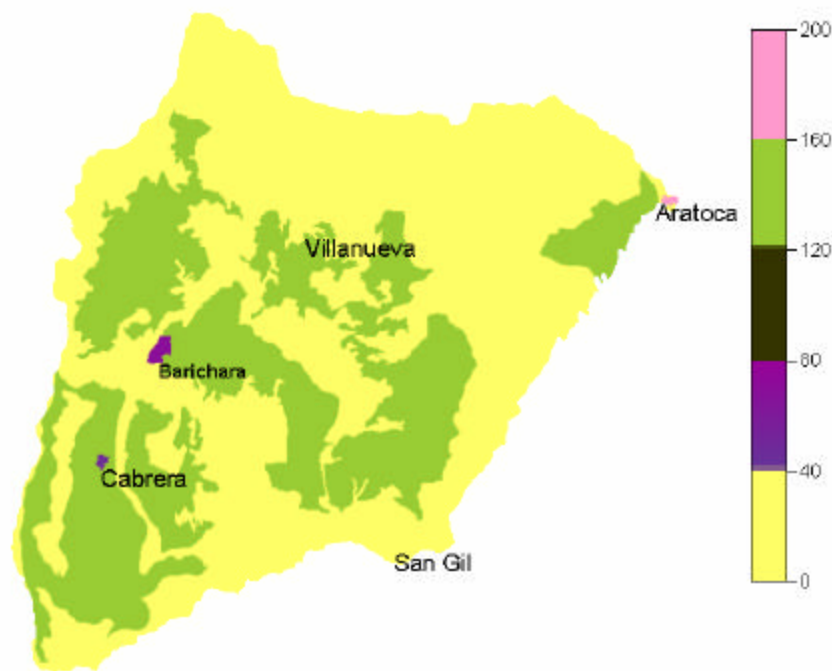


Figura 2.15 Distribución espacial del factor antrópico mm/año

2.6 INFILTRACIÓN POTENCIAL

La infiltración es una variable hidrológica difícil de medir, y puede ser estimada como el residual de otros flujos involucrados en el balance de acuerdo con la expresión general (3) expuesta al inicio del capítulo. A partir de los resultados estimados de las componentes Precipitación, Evapotranspiración Real, Escorrentía y Efecto Antrópico, se obtuvo un

valor promedio de infiltración Potencial de **98 mm/año** en el cual se incluye el término de error planteado en la ecuación (3), como se muestra en la Tabla 2.18.

Tabla 2.14 Valores promedios de variables hidrológicas

COMPONENTE	VALOR (mm/año)
Precipitación (P)	1169
ETR	854
Escorrentía (Q)	163
Factor Antrópico (A)	54
Infiltración Potencial	98

Se observa en la Figura 2.56 que gran parte de la Zona Guanentina presenta recarga potencial baja, sin embargo al Este de la región, en la zonas rurales de Aratoca, las veredas Paloblanco y Las Vueltas del municipio de Curití, se presentan recargas media; los valores negativos se encuentran hacia, el sur de Cabrera, al Norte de Barichara, entre otras regiones

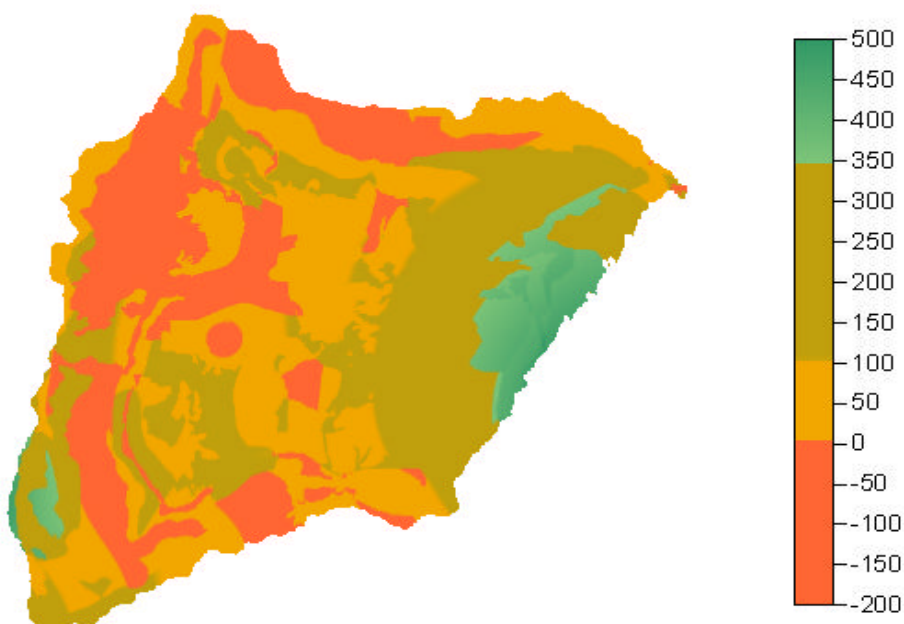


Figura 2.16 Distribución espacial del potencial de infiltración superficial mm/año

Capítulo 3

INDICADORES DE INFORMACIÓN HIDRO-CLIMÁTICA

La necesidad de evaluar la intensidad en el deterioro del recurso hídrico que experimenta la Zona Guanentina, lleva a implementar indicadores específicos de información Hidro-climática que permiten simplificar, cuantificar, analizar y comunicar información a los diferentes niveles de la sociedad interesados en el recurso hídrico .

A nivel mundial, el deterioro del medio ambiente el pro del desarrollo económico, ha generando políticas llamadas de desarrollo sostenible, las cuales buscan que los procesos que permiten la satisfacción de las necesidades humanas no comprometan la base misma del desarrollo, es decir, el medio ambiente. (Winograd M.-1995) Los indicadores ambientales contribuyen a evaluar el estado del medio ambiente y los impactos de las políticas implementadas para buscar el desarrollo socio- económico de una región.

El presente capítulo tiene como fundamento la aplicación de indicadores propuestos por el IDEAM y publicados en el 2002 bajo el título de “Primera Generación de Indicadores de la línea base de la información Ambiental –tomo II”; en el cual se discriminan los indicadores en los siguientes grupos:

- ♦ Agua
- ♦ Atmósfera
- ♦ Clima
- ♦ Biodiversidad, Bosques y usos de tierras
- ♦ Tierras y suelos
- ♦ Amenaza, vulnerabilidad y riesgos por fenómenos naturales y antrópicos
- ♦ Generación y manejo de residuos sólidos
- ♦ Sostenibilidad de procesos antrópicos
- ♦ Población

En la selección de los indicadores aplicados en este trabajo, se dio prioridad a la capacidad que tiene éstos para identificar el estado de recuso hídrico y la disponibilidad de información para calcular el indicador, teniendo como base los parámetros existentes o estimados en el capítulo 2 de este informe.

3.1 INDICADOR 1: ÍNDICE DE ARIDEZ

De las variables que hacen parte del balance hídrico se toma como componentes principales para la deducción del indicador de aridez, la ETP, definida como la máxima cantidad de agua que se puede evapotranspirar en un medio saturado de humedad y con una cobertura de vegetación densa y la ETR que representa la cantidad de agua disponible (precipitación) que se evapotranspira cuando la vegetación esta sometida a condiciones climáticas y de cultivo específicas. La relación entre su diferencia y la potencial determinan cualitativamente el grado de humedad de la región,

Según el indicador, a medida que la diferencia entre los valores de ETP y ETR son mayores, es mayor el grado de insuficiencia de agua, se observa entonces que si el índice de aridez $\rightarrow 0$, se presenta alto grado de excedencias de agua y para que ocurra eso es necesario que $ETR \approx ETP$. Si esto se cumple las necesidades hídricas de la vegetación son satisfechas en su totalidad y presentan condiciones de humedad optimas para el crecimiento, lo cual se refleja en el alto valor de Evapotranspiración Real.

UNIDAD DE MEDIDA DEL INDICADOR

Es adimensional y se caracteriza mediante intervalos que van de cero (0) a uno (1).

FORMULA DEL INDICADOR

$$I_a = \frac{(ETP - ETR)}{ETP} \quad (11)$$

Donde:

la = índice de Aridez

ETP = Evapotranspiración potencial.

ETR = Evapotranspiración Real.

3.1.1 Cálculo Y Espacialización Del Indicador.

El cálculo de este indicador se realiza a través de la determinación de la ETP y la ETR expuesta en el numeral 2.3 de presente informe. Obtenidas las dos variables se hace la diferencia haciendo uso de imágenes raster y del mismo modo se divide este resultado por la ETP. De esta forma se generan valores adimensionales, distribuidos espacialmente, dentro de un rango de cero (0) a uno (1).

Para clasificar, dentro de que orden entra un área determinada, se estableció una escala cuantitativa de valores de índice de Aridez propuesta por el IDEAM (Tabla 3.1). Y con base a esta escala se modifico la distribución espacial. En la Figura 3.1 se observa que la Zona Guanentina presenta solo dos tipos de intensidad en la Aridez.

Tabla 3.1 Escala de valores de índice de Aridez en la Zona Guanentina

CATEGORÍAS DE ARIDEZ	RANGOS	% DE ÁREA
Cuencas altamente deficitarias de agua	>0.6	-
Cuencas mas deficitaria de agua	0.50-0.59	51%
Cuencas deficitaria de agua	0.40-0.49	48%
Cuencas normales en agua	0.30-0.39	1%
Cuencas con excedentes de agua	<0.29	-

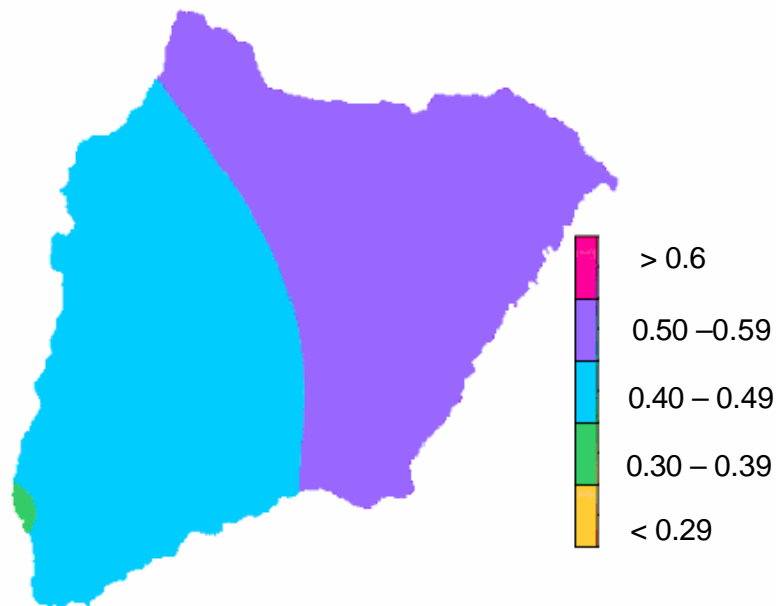


Figura 3.1 Índice de Aridez

3.1.2 Limitaciones Del Indicador

Existen regiones donde el indicador puede estar restringido o limitado como consecuencia de la falta de estaciones meteorológicas representativas a la resolución deseada y con los parámetros meteorológicos básicos para el cálculo de la ETP los que representan la mayor restricción.

3.1.3 Otros Indicadores de Aridez

Las definiciones de zonas áridas están basadas en varios sistemas de clasificación. Tienen como objetivo la medición y delimitación de áreas cartográficamente identificables, que al mismo tiempo son producto de alguna fuerza física en la tierra en términos de modelos de vegetación o procesos de formación. La mayoría de las clasificaciones confían en alguna combinación, del número de días de lluvia, de la cantidad total de la lluvia anual, temperatura, humedad y otros factores. (Tabla 3.1) Sin interesar el criterio que se use, la variable crítica, es la escasez de agua, todos los esquemas involucran una consideración de disponibilidad de humedad, por lo menos indirectamente, a través de la relación entre la precipitación y evapotranspiración. (Ramírez, 2003)

Tabla 3.2 Índices de Aridez.

ÍNDICE	FORMULA	PARÁMETROS
Indicador de Aridez IDEAM	$Ia = \frac{(ETP - ETR)}{ETP}$	ETP es la evapotranspiración potencial en mm y ETR la Evapotranspiración Real en mm
Indicador de Aridez de UNEP	$Ia \equiv \frac{Pa}{ETo}$	Pa es la Precipitación media anual en mm y ETo es la evapotranspiración de Referencia anual en mm
Índice de aridez de Martonne	$Ia = \frac{P}{(T + 10)}$	T es la temperatura media anual (°c) y P es la precipitación anual mm
Índice de Dantin-Revenge	$Ia = 100 * \left(\frac{T}{P} \right)$	T es la temperatura media anual (°c) y P es la precipitación anual mm
Thornthwaite	$Ia = \frac{100 * d}{n}$	d es la suma de las diferencias mensuales entre la precipitación (P) y la evapotranspiración potencial (EVP) durante los meses donde la P es menor que la EVP y n es la suma de los valores mensual de EVP durante los meses de déficit
Budyko-UNEP	$Ia = 100 * \frac{R}{LP}$	Donde R es la radiación neta anual, P es la precipitación promedio anual y L es el calor latente de evaporación de agua, las variables se pueden expresar en cualquier sistema de unidades que sea consistente

Fuente: IDEAM- 2002, Ramírez J.- 2003, Soto G. et al, 2006.

3.1.4 Estimaciones de Aridez en otra región

Para conocer la bondad del método, se calculó la aridez usando el modelo del IDEAM con los datos obtenidos en diferentes regiones del mundo (tabla 3.3):

Provincia De Bajadoz (Extremadura, España): La laguna de la Albuera se localiza en la zona centro oriental de la provincia de Bajadoz (Extremadura, España), mas concretamente a 4 Km. al SE de la población de La Albuera, con coordenadas geográficas 6° 45' 46" N / 38° 41' 50" W (Dirección Nacional de Medio Ambiente, 2003)

Buenavista (Córdoba, Colombia): Buenavista, es un territorio plano, de clima caluroso, sus principales fuentes de agua se encuentran localizadas en los diferentes caños o arroyos que atraviesan su geografía. Esta subcuenca tiene un área aproximada de 115.6 Km² que jurisdiccionalmente pertenece a este municipio. (Rivera M. et al, 2002)

Cuenca Superior Del Río Lebrija, Santander – Colombia: La CSRL con un área aproximada de 1281 km² constituye la más grande fuente abastecedora de agua de

Bucaramanga y su área metropolitana. Se localiza en el nororiente del departamento de Santander, Provincia de Soto. (Gómez S. et al- 2007)

Tabla 3.3 Valores promedio de las componentes hidrológicas.

COMPONENTE	BUENAVISTA CÓRDOBA COLOMBIA	CSRL	PROVINCIA DE BAJADOZ, EXTREMADURA -ESPAÑA
P mm/año	2176	1217	479
ETR mm/año	1260	690	349
ETP mm/año	2774	720 – 1123	1203

Con lo estimado para las diferentes regiones (Tabla 3.4) se observa que la zona Guanentina presenta un estado de aridez superior y los resultados que se presentan en las distintas regiones, son afines a las características de sistemas hídricos con suficiencias de agua.

Tabla 3.4 Cuadro comparativo de Indicadores de Aridez.

REGIÓN O CUENCA	INDICE DE ARIDEZ ESTABLECIDO POR IDEAM	CATEGORÍA DEL ÍNDICE
Zona Guanentina	0.58-0.40	Deficitaria a altamente deficitario de agua
Complejo lagunar de albuera, Extremadura - España	0.38	Normal
Buenavista, Córdoba - Colombia	0.17	Con excedentes
Cuenca Superior del Río Lebrija, Santander - Colombia	0.04 – 0.39	Con excedente y normal

En la distribución espacial del indicador de Aridez para Colombia (Anexo 8) se aprecian zonas marcadas con déficit de agua, como lo son la Guajira y gran parte del la Cordillera Oriental, la resolución de la información sitúa a la Zona Guanentina en régimen Normal y bajamente deficitario de agua, sin embargo en el presente informe a una escala 1:25000 se obtiene, que la zona se encuentra entre deficitaria a altamente deficitaria de agua

3.2 INDICADOR 2: ÍNDICE DE ESCASEZ DE AGUA

El índice de escasez es un la relación porcentual entre la demanda de agua del conjunto de actividades sociales y económicas con la oferta hídrica disponible, luego de añadir factores de reducción por calidad de el agua y caudal ecológico (fr).

Esta relación da una visión general de las situaciones de disponibilidad de agua actual de tal manera que los organismos territoriales relacionados con el tema, tomen medidas adecuadas en las zonas donde se presentan índices de escasez con niveles muy altos. Dicho Índice es además, una medida entre las actividades humanas y las fuentes proveedoras de agua, que permite delimitar un umbral de explotación, a sabiendas que la sobre explotación puede tener efectos sobre las características de calidad del agua, la dinámica de transporte y terminar incluso con la desaparición de la fuente (Rivera H. et al -2004).

Este indice hace parte del calculo en el modelo económico que se presenta en Colombia –Decreto 155 de 2004- para el cobro de la Tasa por Uso de Agua (TUA); el cual tiene como finalidad mejorar el uso que se hace del agua, evitando su escasez y garantizando la eficiencia económica y ambiental. Dicho índice se utiliza en el TUA para hallar un coeficiente de escasez, que le permita definir las condiciones de oferta y demanda de una región determinada y junto con otros parámetros establecer un valor de costo en el agua que responda a los factores de disponibilidad hídrica, necesidades de inversión en recuperación de fuentes abastecedoras, hidrografía y condiciones socioeconómicas de la población.

UNIDAD DE MEDIDA DEL INDICADOR

Porcentaje (%)

FORMULA DEL INDICADOR

$$Ie = \frac{D}{O_n} * 100\% \quad (15)$$

Donde:

le = índice escasez [%]

D = Demanda de agua [m³]

O_n = Oferta hídrica superficial neta [m³]

La oferta hídrica superficial neta resulta de la siguiente expresión:

$$O_n = O_t - (O_t * (R_e + R_f)) \quad (16)$$

Donde:

O_t = Oferta hídrica superficial total [m³]

R_e = Factor de reducción para mantener el régimen de estiaje

R_f = Factor de reducción para protección de fuentes frágiles

3.2.2 Escala de valores de índice de Escasez

Se registra escasez de agua cuando la cantidad de agua tomada de las fuentes existentes es tan grande que se presentan conflictos entre el abastecimiento de agua para las necesidades humanas, las necesidades del ecosistema, las de los sistemas de producción y las de las demandas potenciales (Rivera H. et al -2004).

La práctica mundial en la gestión de agua ha permitido determinar los umbrales críticos de presión sobre el recurso hídrico (tabla 3.5), según esta, se distinguen cuatro categorías:

Tabla 3.5 Escala de valores de índice de Escasez.

Categoría Del Índice De Escasez	Porcentaje De La Oferta Hídrica Utilizada	Explicación
Alto	> 40 %	Existe fuerte presión sobre el recurso hídrico, denota una urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta y la demanda, en estos casos la baja disponibilidad de agua es un factor limitador del desarrollo económico
Medio	20 – 40 %	Cuando los límites de presión exigen entre el 20 y 40% de la oferta hídrica disponible es necesario el ordenamiento tanto de la oferta como de la demanda. Es necesario asignar prioridades a los distintos usos y prestar particular atención a los ecosistemas acuáticos para garantizar que reciban el aporte hídrico requerido para su existencia, se necesitan inversiones para mejorar la eficiencia en la utilización de los recursos
Moderado	10 – 20%	Indica que la disponibilidad de agua se está convirtiendo en un factor limitador del desarrollo
Bajo	< 10%	No se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico

Fuente: Rivera H. et al, 2004

3.2.3 Oferta Hídrica

Para el cálculo del indicador es necesario contar con el valor de la oferta hídrica, la cual se entiende, para éste, como: “aquella porción de agua que después de haberse precipitado sobre la cuenca y satisfecho las cuotas de evapotranspiración e infiltración del sistema suelo – cobertura vegetal escurre por los cauces mayores de los ríos y demás corrientes superficiales, alimenta lagos, lagunas y reservorios, confluye con otras corrientes y llega directa o indirectamente al mar” (Ibíd. pp. 10). Esta definición es la denominada por hidrólogos como escorrentía superficial y su cuantificación es el elemento principal en las redes de seguimiento hidrológico existentes, la cuales varían dependiendo de las capacidad presupuestal de cada nación, si se cuenta con un red densa la oferta se define con base en el tratamiento estadístico de los datos de caudales en la resolución temporal requerida. Después de esto es necesario hacer una generalización de la escorrentía superficial, teniendo en cuenta un conjunto de pasos desde la transformación de valores de caudales a escorrentía en mm de agua, hasta la interpolación mediante herramientas computacionales.

Es claro que se deben considerar las condiciones puntuales relacionadas con la cantidad y calidad de información en las distintas regiones, para las zonas donde la información

sea escasa o nula, el valor de la escorrentía superficial debe definirse por métodos indirectos, entre los que se pueden enumerar los siguientes:

- ♦ Caudal medio puntual en las corrientes de interés
- ♦ Balances hídricos
- ♦ Modelos lluvia – escorrentía

En el caso de la zona Guanentina, y como ya se menciona en el capítulo 2, falta información de caudales por lo cual el valor de escorrentía superficial se estimó adecuándolo a la distribución y los valores obtenidos en por el método de la SCS (numeral 2.4.2), de 163 a 88 mm/año, es decir, entre 77.620.600 y 41.905.600m³/año; los anteriores resultados son el punto de partida para el cálculo de un índice de escasez promedio multianual.

Oferta hídrica superficial neta

La definición de la oferta hídrica superficial neta incorpora la determinación del factor de reducción para mantener el régimen de estiaje R_e y el factor de reducción para protección de fuentes frágiles R_f .

El factor de reducción para mantener el régimen de estiaje se establece con base en las características la fuente abastecedora. Para esto se establece el valor modal de los caudales durante el periodo de aguas bajas, y se construye una curva de duración de caudales de cada año, de la cual se extrae el caudal promedio del periodo de aguas bajas. La definición el factor de reducción para la protección de fuentes frágiles es también una función de las magnitudes del valor modal de la escorrentía. La base teórica para el cálculo de estos parámetros se encuentran en Metodología para el cálculo del índice de escasez de agua superficial (Rivera et al, 2004)

Debido a la carencia de información se tomo para la zona, los valores que pose Colombia en el Estudio Nacional de Agua 2005 realizado por el IDEAM donde:

$$R_e=0.35$$

$$R_f=0.17$$

3.2.4 Demanda hídrica

En Colombia no se cuenta con un sistema de información continua y sectorial que contabilice históricamente en agua usada de fuentes superficiales y subterráneas. El volumen de agua usada para el desarrollo de actividades socio económicas, debe ser el resultado de las mediciones efectuadas por los usuarios y reportadas a las instituciones relacionadas y autoridades ambientales regionales (Ibíd. pp. 22)

Al no tener información, la demanda total de Agua en general representa el volumen de agua expresado en m³, en un espacio y tiempo determinado y corresponde a la sumatoria de las demandas sectoriales:

$$DT = DUD + DUI + DUS + DUA + DUP \quad (17)$$

Donde:

DUD = Demanda de agua para uso domestico

DUI = Demanda de agua para uso Industrial

DUS = Demanda de agua para sector de servicios

DUA = Demanda de agua para uso agrícola

DUP = Demanda de agua para uso pecuario

Demanda de agua para Uso Domestico, Uso Industrial y Uso del Sector de servicios

La demanda para uso domestico, uso industrial y para sector de servicios están sujetas a los valores de agua captada y transportada por los acueductos, de lo cual se tiene la siguiente información en la Zona Guanentina:

Tabla 3.6 Servicio acueducto en el casco urbano de la zona guanentina.

Municipio	Cobertura Acueducto	Tratamiento	Agua Producida m ³ /años estimado
Aratoca	95%	Si	200.750
Barichara	98%	Si	370.018
Cabrera	100%	No	35.131
Curiti	98%	Si	-
Jordán	88%	No	5.475
San Gil	100%	Si	3.679.200
Villanueva	100%	Si	387.813

Fuente: CAS, CEIAM 2001, modificado por los autores

Por lo tanto 4.678.387 m³/años corresponden al valor de suma de *DUD*, *DUI* y *DUS* en la zona Guanentina, sin embargo, al tener en cuenta la población de la zona rural, utilizando la tabla 2.17 y el consumo per cápita de 200 lt/hab-día, el valor de estas demandas asciende a 5.796.309 m³/años.

Demanda de agua para Uso Agrícola

La principal fuente de agua para la agricultura es la precipitación, los volúmenes adicionales necesarios para el desarrollo de cultivos, deben ser previstos por sistemas de riego. Cuando la precipitación no es suficiente para satisfacer los requerimientos del cultivo, se considera la demanda de agua por actividad agrícola, a partir de la siguiente expresión (IDEAM -2005):

$$DUA = \sum D^i UA;$$
$$D^i UA = \left\{ \begin{array}{l} 0 \Rightarrow si [P - (ETP * Kc_i)] \geq 0 \\ abs([P - ETP * Kc_i] * ha) \Rightarrow si [P - (ETP * Kc_i)] < 0 \end{array} \right\} \quad (18)$$

Donde:

DUA = Demanda de Agua para Uso Agrícola

P = Precipitación

ETP = Evapotranspiración potencial

Kc = Coeficiente de uso de agua del cultivo (FAO 33)

ha = Número de hectáreas cultivadas

A continuación se discriminan las zonas de cultivos, y sobre estas se recoge la información de Precipitación y Evapotranspiración Potencial, que requiere el calculo de la DUA, para lo anterior se crearon una serie planos en modelo ráster basado en el plano de Usos de suelos del capítulo 3 en la figura 3. 2 se observa las zona de influencia de la demanda de agua ,167km²

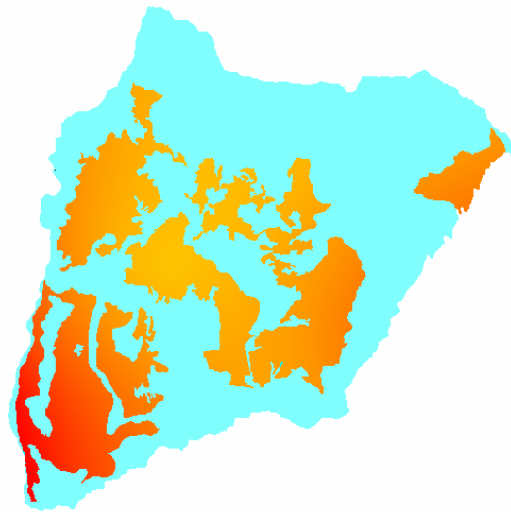


Figura 3.2 Zonas de Demanda de Agua por Uso Agrícola

Teniendo como base la zonas de Demanda de Agua por Uso agrícola, se crea un mapa con coeficiente de cultivo $K_c = 0.827$, este valor es generalizado para la zona Guanentina y fue calculado a partir de las tablas de coeficientes de cultivos en zonas tropicales (Anexo 5) de acuerdo a la información de hectáreas de cultivos registrada en la región

Tabla 3.7 Coeficiente de cultivos Zona Guanentina.

CULTIVO	AREA (HA)	Kc
Tabaco y Frijol	3000	0.85
Cultivos en secano (cultivo sin tecnificar)	4000	0.85
Frutas y hortalizas	1100	0.75
Maíz	1000	0.75

Después de los cálculos entre los mapas ETP, P y K_c en las zonas de influencia de demanda de agua se obtiene que:

$[P - (ETP * K_c)] = -69\text{mm/años}$, esto representa $11'356.000 \text{ m}^3/\text{año}$ de demanda de Agua para Uso Agrícola

Demanda de Agua para Uso Pecuario

Es el resultado de multiplicar el volumen de producción de animales de importancia comercial, por un factor de consumo promedio aproximado, el cual está determinado teniendo en cuenta, el tipo de animal, el tipo de producción y el consumo de materia seca y alimento requerido. Los factores de consumo para la producción pecuaria (Anexo 6)

$$DUP = \sum_{i=1}^n V_{pa} * F_{ca} \quad (19)$$

Donde:

DUP = Demanda de agua para uso pecuario

V_{pai} = Volumen de producción por tipo de animal industrial

F_{ca} = Factor de consumo según producción de animal

En la provincia Guantán se destaca la crianza de Ganado Bovino, siendo Barichara y San Gil parte de los principales productores de la región; en el municipio de Cabrera la especies menores ocupan el segundo lugar en la producción pecuaria, especialmente la producción caprina; la tabla 3.8 y tabla 3.9 muestra el comportamiento de la producción Pecuaria en la Zona Guantán

Tabla 3.8 Producción de Bovinos Zona Guantán

Municipio	Crías < 1 Año	Hembras 1-2 Años	Machos 1-2 Años	Hembras 3-2 Años	Machos 2-3 Años	Hembras > 3 Años	Machos > 3 Años	Total Bovino
Aratoca	491	482	250	190	69	806	62	2350
Barichara	1489	1045	461	624	365	1931	240	6155
Cabrera	1485	792	260	729	118	1725	175	5284
Curití	1278	964	70	677	471	1940	200	5600
Jordán	237	225	130	152	143	405	73	1365
San Gil	1908	1210	961	896	751	2750	259	8735
Villanueva	761	548	210	483	121	1067	170	3360

Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario ICA Epidemiología y Veterinaria CENSO año 2006

Tabla 3.9 Producción Pecuaria Zona Guantán

Municipio	Porcinos	Ovinos	Búfalos	Caprinos	Equinos	Aves
Aratoca	600	2000	0	400	170	150000
Barichara	300	300	0	4000	80	90000
Cabrera	300	300	0	1800	100	25000

Curití	600	500	10	3500	300	600000
Jordán	100	200	0	5000	100	5000
San Gil	700	1700	3	700	450	200000
Villanueva	100	500	0	60000	80	15000

Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario ICA Epidemiología y Veterinaria CENSO año 2006

Con la relación entre la producción Pecuaría y la producción Bovina en función de las Etapas de desarrollo y la temperatura promedio de la zona se tiene que:

DUP por bovinos = 497,013.76 m³/año

DUP por Aves = 4,195.33m³/año

DUP por Peso de Animal = 87,243.40 m³/año

Para un total de consumo de agua para Uso pecuario de 588,451.49 m³/año. Aplicando la Ecuación (17) se tiene que el valor total de la Demanda de Hídrica asciende a 17'713,760.49 m³/año

3.2.2 Calculo Del Indicador

Una vez obtenidos los valores de Demandas, y Oferta Neta se calcula el índice de escasez siguiendo las ecuaciones (15) y (16) y se obtienen los siguientes resultados (tabla 3.10)

Tabla 3.10 Valores Índices de Escasez.

Índice de Escasez	Oferta hídrica utilizada
86.27 %	Resultado del método de la SCS
46.57 %	Resultado la suma del método de la SCS y la escorrentía por pendiente

El índice de Escasez varia entre los 46.57 a 86.27 % lo cual sitúan a la Zona Guanentina en una categoría de Escasez alta y la fuerte presión sobre el recurso hídrico sugiere un pronto ordenamiento de la oferta específica con la demanda correspondiente.

3.2.4 Limitaciones del Indicador

En relación con la Oferta:

- ♦ Los factores de Reducción de la Oferta están dados en forma general para Colombia y no se tienen factores para la zona de estudio
- ♦ No se estima la Oferta hídrica subterránea en la Zona
- ♦ Los valores de Escorrentía obtenidos por el método de la SCS llevan consigo una serie de errores provenientes del cálculo, lo cual aumenta el nivel de incertidumbre en el valor de Oferta.
- ♦ La resolución temporal de los datos no permite contemplar aspecto como la sequía que se presenta en las distintas fuentes abastecedoras en épocas de verano.

En relación con la Demanda:

- ♦ no se tiene valores registrados de la Demanda de agua para uso domestico, Demanda de agua para uso Industrial y Demanda de agua para sector de servicios y se asumió que la suma de estos valores equivale a la cobertura que maneja el acueducto en cada municipio.
- ♦ En la Demanda de uso agrícola se utilizaron solo los cultivos que se encuentran registrado con la cantidad de hectáreas cultivadas y no fue posible realizar una discriminación detallada.
- ♦ Para calcular la demanda de agua para uso pecuario se utilizó información de año 2006 y no se tuvieron en cuenta el crecimiento o el decrecimiento que ha tenido la actividad pecuaria en la región.

CAPITULO 4

ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se presenta el análisis realizado a los resultados obtenidos en los capítulos 2 y 3, con el fin de encontrar las posibles fuentes de error, que permitan establecer un valor promedio de potencial de infiltración para la Zona Guanentina y evaluar el grado de deficiencia del recurso hídrico.

4.1 COBERTURA DE LA INFORMACIÓN

Para iniciar la evaluación de los resultados se analiza la densidad de estaciones pluviométricas en la zona Guanentina, se considera como medida de inspección, los polígonos de Thiessen. En la figura 4.1 se observa que los polígonos de menor tamaño se encuentran en la zona sur occidental, lo cual refleja una mayor densidad de estaciones. En la zona norte y central los polígonos aumentan de tamaño y, según este análisis, solo 4 estaciones influyen en casi un 50% de esta Zona Guanentina.

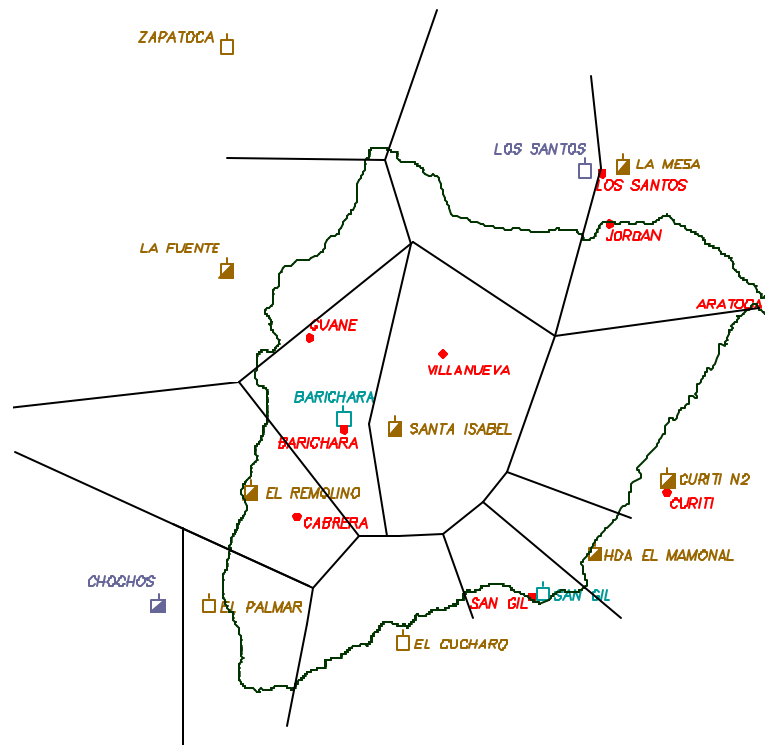


Figura 4.1 polígonos de Thiessen

Las regiones en las cuales la carencia de información genera un mayor grado de incertidumbre están situadas en la zona de influencia del cañón del Chicamocha; zona central de la mesa de Barichara y alrededores de la cabecera municipal de Aratoca, regiones que se pueden apreciar sombreadas en la figura 4.1.

En la Zona Guanentina ninguna estación pluviométrica cuentan con pluviógrafos por lo tanto no se tienen registro de intensidades; el análisis de intensidad de la lluvia se hizo a partir de los datos de precipitación diaria, donde se observó que en el periodo de estudio, un 70% de tiempo no se presentaron lluvias. Las lluvias registradas, en promedio, fueron mayor a 14 mm/día llegando a los 120mm/día, a su vez se observo que en la zona central (Barichara y Norte de Cabrera) los periodos largos de no precipitación oscilan entre los 50 a 91 días y se presentan en el primer verano del año. En la Zona Guanentina solo se cuentan como 5 estaciones climatológicas ordinarias, la calidad de la información climática es buena, pero en algunas estaciones, se limita por lo errores en la lectura de la información o calibración de los instrumentos (numeral 2.3.2)

4.1 BALANCE HÍDRICO

En la Zona Guanentina las mayores precipitaciones se presentan en Aratoca, el Nor este de Villanueva, Nor oeste de San Gil (lugar denominado Las Antenas) y en las inmediaciones de la quebrada Palo Blanco. La distribución espacial muestra los mayores valores de Precipitación en la zona Sur oeste, éste aumento de la precipitación es contrario al comportamiento real en del municipio de Cabrera, donde la cantidad de precipitación se considera entre los menores valores de la Zona Guanentina

En general la distribución de la Evapotranspiración Potencial presenta un foco de baja evapotranspiración potencial en los alrededores del municipio de Barichara y en el corregimiento de Guane (1564mm/año), la descripción expuesta no difiere de la realidad, el tiempo en estos lugares antes de las 8 de la mañana y después de las 4 de la tarde, se hace mas llevadero y agradable que en el resto de la región; la temperatura aumenta a medida que se acerca a las corrientes principales, al Cañón del Río Fonce, San Gil y Cabrera. El Potencial evaporable de la zona se incrementa en la unión de los Ríos

Chicamocha y Suárez, estas últimas condiciones no se aprecian en la distribución espacial. La falta de información en la zona, tanto en variables climáticas (numeral 2.3.2), como en estudios de suelos y cultivos en la región, sugiere que el valor de 854 mm/ años sub estima la Evapotranspiración Real en la Zona Guanentina

El método de SCS se ve afectado por el análisis geoestadístico de la lluvia, que supone un decremento en el peso del dato con la distancia (interpolación lineal) lo cual indica, que los eventos de lluvia serán menores en la evaluación de la escorrentía directa a medida que se alejan de las estaciones pluviométricas. El análisis de la variable de escorrentía teniendo en cuenta las pendientes corrige en cierta medida el error por el interpolador; pero al no tener información de caudales con los cuales calibrar, el resultado final queda sujeto a una gran incertidumbre.

La falta de información por parte de las entidades encargadas de regular y controlar el recurso hídrico, hacen que la estimación del Factor Antrópico este sujeta a errores, al no existir información sobre perdidas en sistemas de transporte, sistemas de almacenamiento, explotación de aguas subterráneas, consumo desde aljibes. Para obtener resultados más confiables en el factor antrópico se necesita un historial de información referente a la población pecuaria y variaciones en el uso agrícola, que concuerden con el periodo de tiempo en análisis

Tabla 4.1 Valores promedios de variables hidrológicas

COMPONENTE	VALOR (mm/año)
Precipitación (P)	1169
ETR	854
Escorrentía (Q)	163
Factor Antrópico (A)	54
Infiltración Potencial	98

La variación espacial de la infiltración potencial superficial es muy amplia en la zona Guanentina entre -200 a 510 mm/año; los valores negativos dan idea de regiones con déficit hídrico y en el largo plazo, vulnerables a fenómenos como la desertificación. Se estableció una escala cuantitativa para caracterizar la región en función del potencial de infiltración (Tabla 4.2). Se observa en la Figura 2.16 que; los valores negativos se encuentran hacia, el Norte de Barichara, Guane y Cabrera. Al Este de la región, en las

zonas rurales de Aratoca, las veredas Paloblanco y Las Vueltas del municipio de Curití, se presenta niveles de infiltración altos, sin embargo gran parte de la Zona Guanentina (60%) presenta infiltración potencial nula y baja.

Tabla 4.2 Escala de Infiltración Potencial

Rango	Infiltración Potencial	Área en la zona (Km ²)	% de Área en la zona
Menor a 0	Nula	122	25.60
0 a 100	Baja	160	33.65
100 a 350	Media	162	34.12
Mayor a 350	alta	32	6.63

4.2 RESULTADO DE INDICADORES

La distribución espacial del índice de aridez propuesto por el IDEAM muestra que las zonas con mayor déficit de agua se encuentran en los municipios de Aratoca, Curití y parte de San Gil, esta situación es contraria a la real, y obedece a la subestimación de los valores de ETR en la región, debido al método empleado, el cual no tiene en cuenta la cobertura vegetal existente y su cálculo está sujeto a la precipitación. El cálculo del indicador promedio con valores multianuales sitúa la zona entre los límites deficitaria a altamente deficitaria de agua, de esta forma se muestra un bajo grado de reserva de agua capaz de mantener la vegetación.

En el presente informe se mejora la resolución espacial de la aridez con respecto a los resultados obtenidos a nivel nacional por el IDEAM (Anexo 8), en el cual se define como la Zona Guanentina como normal de agua, y se obtiene valores de aridez que enmarcan a la región como deficitaria de agua superficial. Al comprar la Zona Guanentina con otras regiones bajo el mismo indicador nos confirma que la zona esta sometida a un régimen de aridez alto

La Zona Guanentina presenta lluvias de alta intensidad y poca duración, esta cantidad de agua que al precipitarse se convierte de una manera rápida en escorrentía, es la que genera la diferencia en los valores del índice de Escasez (tabla 4.3), demostrando que los

altos niveles de escasez en áreas específicas podrían reducirse desarrollando infraestructura de almacenamiento adecuadas

Tabla 4.3 Índices de Escasez.

Índice de Escasez	Oferta hídrica utilizada
86.27 %	Resultado del método de la SCS
46.57 %	Resultado la suma del método de la SCS y la escorrentía por pendiente

Teniendo en cuenta las limitaciones en el indicador (numeral 3.3.4), el nivel de incertidumbre en el resultado es muy alto, no obstante los valores obtenidos se acercan a la realidad de estrés hídrico, que sufren municipios como Villanueva, Barichara, Cabrera, Jordán y algunos barrios de San Gil.

En la Zona Guanentina el valor en el índice de 46.57% refleja que los fuertes problemas de escasez no se atenúan lo suficiente con el desarrollo de infraestructura destinada al aprovechamiento de la escorrentía; es necesario: hacer una redistribución de las Demanda Hídrica; implementar medidas para cuidar las fuentes abastecedoras, y realizar un control en la administración del agua; para ello se dispone de una metodología denominada Tasa Por Uso de Agua la cual implementa un calculo mas detallado, que recoge información de variables socioeconómicas, geográficas e hidrológicas necesarias en este caso. El IDEAM ha adelantado estudios de Escasez de agua en País, pero en la resolución espacial implementada (Anexo 9) clasifica la Zona Guanentina como una zona que no presenta problemas de escasez (categoría no significativa) sin embargo en la escala utilizada en el presente trabajo, se obtuvo índices de escasez de categoría alta

CONCLUSIONES

- Se Realizó un balance hídrico de largo plazo en la Zona Guanentina a partir de información hidrológica y Climatológica desde 1994 a 2003 (10 años), obteniendo un resultado infiltración potencial promedio entre 98 mm/año. La distribución espacial realizada con la información disponible permite observar que en la región central y norte (Cabrera Barichara y Villanueva), un 25% del área presenta infiltración nula y un 35% presenta valores menores a 100mm/ año. El 34% del área muestra infiltración potencial entre 100 a 350 mm/año y sólo en un 6% de la región se presenta valores mayores a 350 mm/año. Este porcentaje se sitúa en zona rural de los municipios de Curití y Aratoca.

Rango	Recarga Potencial	% de Área
Menor a 0	Nula	25.60%
0 a 100	Baja	33.65%
100 a 200	Media Baja	22.27%
200 a 300	Media	8.70%
300 a 400	Media Alta	6.23%
Mayor a 400	Alta	3.55%

- El Índice de Aridez, calculado en este trabajo, cataloga a la Zona Guanentina como una región deficitaria de agua superficial, con insuficiencia de humedad capaz de preservar la cobertura vegetal. Las zonas donde se espera altos valores deficitarios de agua -zona norte (Cañón del Chicamocha) y zona occidental (Inmediaciones del río Suárez)- no se observan en la distribución espacial del Indicador.
- En la escala implementada (1:25000) se obtuvieron indicadores de Escasez altos, de 86% a 46%; que expresan una elevada presión sobre el recurso hídrico superficial
- El IDEAM clasifica la Zona Guanentina como una región que no presenta problemas de escasez (categoría no significativa). Sin embargo en la escala implementada en este trabajo (1:25000), se obtuvieron Indicadores de Escasez de categoría Alta, que expresan una elevada presión el sobre el recurso hídrico, y exigen una

urgencia máxima para el ordenamiento de la oferta (búsqueda de fuentes alternativas de abastecimiento) y la demanda en la región.

- En general los registros, de Precipitación tiene una buena calidad en cuanto a la consistencia de sus datos, estabilidad en la media y en varianza. La distribución espacial de la precipitación promedio anual, utilizando 13 estaciones pluviométricas, muestra un valor de 1169 mm/ año. Se cuenta con 5 estaciones climatológicas, en las cuales, la variable Humedad Relativa presenta tendencias significativas y se observó un marcado error sistemático en la velocidad del viento. En la zona Guanentina la información hidrológica disponible es escasa y la distribución de las estaciones no es adecuada, presentándose una mayor densidad de estaciones hacia la parte sur occidental.
- El valor promedio anual de Evapotranspiración Potencial se estimó usando la ecuación de García y López, con la cual se obtuvo un valor de 1697 mm/año. La Evapotranspiración Real, mediante la Ecuación de Budyko, estimó un valor promedio anual de 854 mm/año; las zonas con mayores valores de ETR se presentan en el territorio aledaño al municipio de Cabrera; región sur occidental de la zona Guanentina. Debido a la escasez de información, los valores de Evapotranspiración obtenidos sólo se pudieron comparar con el valor de evaporación del tanque en la estación el Cucharó y no fue posible utilizar información referente a estudios de suelos y cultivos en la región.

RECOMENDACIONES

- Para obtener una mejor estimación de precipitación se recomienda aumentar la longitud de los registros y proponer un mejoramiento de la densidad de estaciones, haciendo una evaluación de la distribución de la red hidro climática.
- Se recomienda realizar un Balance de Corto Plazo que analice las épocas de veranos en las cuales la disponibilidad de agua se hace más escasa; por la poca cantidad de información hidro-climática, es conveniente utilizar nuevas metodologías en el cálculo de la Evapotranspiración Real y Algoritmos distintos de interpolación.
- En conciencia de las dificultades y características que presenta la zona por déficit de agua, se recomienda, para mantener la producción agrícola con un volumen de agua fijo, mejorar la infraestructura destinada al almacenamiento de agua. Además de realizar el cálculo de la Tasa por Uso de Agua como primera medida en la busca del desarrollo sostenible. Se debe continuar con el estudio de indicadores para tener criterios que ayuden a definir si la zona esta próxima a sufrir un proceso de degradación de suelos.

BIBLIOGRAFÍA

APARICIO, F., 1987. Fundamentos de hidrología de superficie., Noriega editores Limusa. P 189-191

ARENAS, J., RUIZ, J., 2005 .Estudio de la variación del régimen de lluvias en la cuenca superior del Río Lebrija (C.S.R.L.). Trabajo de Grado. , Ingeniería Civil UIS. Bucaramanga.

BARCO, O., CUARTAS, A., 1998 Estimación de la Evaporación en Colombia. Trabajo Dirigido de Grado, Facultad de Minas, Ingeniería Civil, Medellín,.

CASTRO, M., GUZMÁN, O., 1985. Estudio Comparativo de Formulas de Evapotranspiración Potencial en Colombia. HIMAT, Bogota.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE SANTANDER-CAS, CENTRO DE ESTUDIOS E INVESTIGACIONES AMBIENTALES-CEIAM. 2001 .Plan de Gestión Ambiental Regional PGAR

CHOW, V. T., MAIDEMENT, D. R., MAYS, L. W. 1994. Hidrología aplicada. McGraw Hill

DIRECCIÓN NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE, 2003. Estudio Previos para el desarrollo del proyecto de conservación de la ZEPA-LIC complejo Lagunar de la Albuela. España

-----Estudio de Ordenamiento Territorial del Municipio de Aratoca. 2000.

-----Estudio de Ordenamiento Territorial del Municipio de Barichara. 2000.

-----Estudio de Ordenamiento Territorial del Municipio de Cabrera. 2001.

-----Estudio de Ordenamiento Territorial del Municipio de Villanueva. 2000.

GARCÍA, S., OTERO, J., 2005 Estimación De La Evapotranspiración Real En La Cuenca Superior Del Río Lebrija; Trabajo de Grado. Ingeniería Civil UIS. Bucaramanga.

GÓMEZ, E., LÓPEZ, C., 2005 Estimación de la recarga mensual en la parte alta de la cuenca de Río Frío por medio de un modelo hidrológico distribuido .Trabajo de Grado. Ingeniería Civil UIS. Bucaramanga.

GÓMEZ, S., 1986. Aplicación del microcomputador al drenaje urbano. Trabajo de Grado. UIS. Bucaramanga.

GÓMEZ, S., COLEGIAL, J., 2003. Interacción entre sistemas hidrogeológicos para el estudio del fenómeno de recarga en el macizo de Santander e identificación de acuíferos UIS Bucaramanga.

GÓMEZ, S., ROJAS, N., COLEGIAL, J., VELANDIA. -2007. Proyecto de Investigación Geológica e Hidrogeológica en la Región central del departamento de Santander. Tomo II. Convenio UIS-Ingeominas.

GUZMÁN, J., GÓMEZ, S., COLEGIAL, D., ANAYA, A., NIÑO E., 2005. Cuenca Experimental de Río Sucio (CERS). Sin publicar.

GUZMÁN J., 2003, SPELL Map. No publicado.

GUZMÁN, J., 2006, SPELL AMO. No publicado.

GUZMÁN, J., 2006, SPELL SDM. No publicado.

GUZMAN, J., CHU, M., 2002, SPELL Stat. No publicado.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI -IGAC, 2005. Estudio Semidetallado De Suelos Y Capacidad De Uso De Las Tierras para La Microcuenca De La Quebrada Curiti.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES -IDEAM, 2002. Sistema de información Ambiental de Colombia – Primera Generación de Indicadores de la Línea Base de la información Ambiental, Tomo II.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES -IDEAM, 2005. Estudio Nacional de Agua 2005: Balance y Perspectivas

LINSLEY, R., KOHLER, M., PAULUS J., 1977. Hidrología para Ingenieros, Mc Graw Hill P 45-62, 124

LEÓN, C., 2000 .Uso y manejo de suelos con énfasis en la adopción de sistemas agroforestales y agrosilvopastoriales.

LÓPEZ, W., OSORIO, R., 2005 Modelo Digital de Elevación para la Cuenca del Río de Oro. Trabajo de Grado, UIS, Bucaramanga.

MARADEI, Z., ROJAS, J., 2002. Distribución espacial de variables hidrológicas en la Cuenca Superior del Río Lebrija (CSRL) utilizando geoestadística. Trabajo de Grado. Ingeniería Civil UIS. Bucaramanga.

MELÉNDEZ, J., 2003. Programa de maíz con tecnología limpia. Disponible en Internet: http://www.agrisan.com.co/agricultura_limpiar.htm#MA%CDZ

MENDOZA, C., SANDOVAL, R., 2002 un estudio de oferta hídrica en la cuenca superior del Río Lebrija. Trabajo de Grado. Ingeniería Civil UIS. Bucaramanga.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2004. Resolución número 0865 (Julio de 2004). Por la cual se adopta la metodología Para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el Decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.

-----Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de San Gil. 2001.

RAMÍREZ, J., 2003. Habitar el desierto: Transición Energética y Transformación del Proyecto Habitacional Colectivo en la Ecología del desierto de Atacama, Chile. Tesis Doctoral. UPC. España. Disponible en Internet <http://www.tdx.cesca.es/>

RIVERA, H., DOMÍNGUEZ, E., RAMÍREZ, R., VANEGAS, R., 2004. Metodología para el cálculo del Índice de Escasez INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES -IDEAM.

RIVERA, M., RAMÍREZ, J., MONCADA, H., TRUJILLO, L., 2002 Propuesta Metodológica para la terminación de las épocas climáticas con aplicación a los estudios de producción y reproducción bovina en el trópico. En Revista Col Ciencias. Vol. 15, abril

SOTO, G., GABRIELS, D., SANTIBÁÑEZ, F., VERBIST, K., 2006. Zonación de los Regímenes Hídricos de América Latina y el Caribe desde una Perspectiva Climática. Convenio PHI-UNESCO-CAZALAC Versión Preliminar

TINOCO, 2007. Requerimiento hídrico del tabaco. Comunicación personal

VÉLEZ J., POVEDA, G., MESA, O., 2002 Balances Hídricos de Colombia. Postgrado en aprovechamiento de recursos hídricos. Universidad nacional de Medellín. Primera Edición. Medellín.

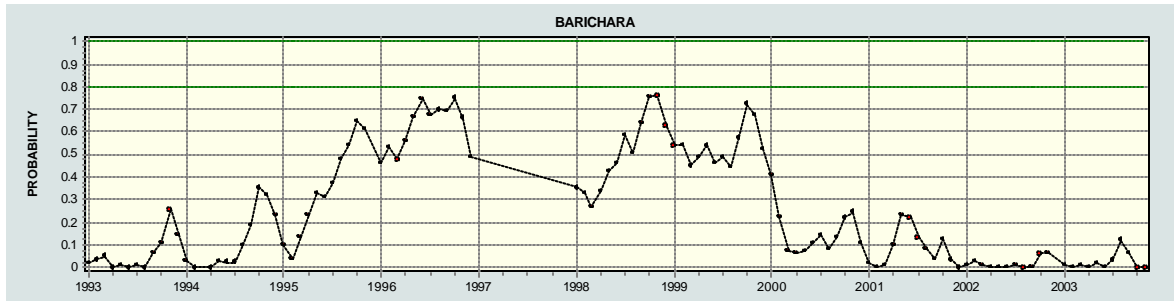
VÉLEZ, M., BOTERO, V., SALAZAR, J., GÓMEZ, J., 2005. Estimación de la recarga en una región Colombiana mediante un modelo iterativo. En Revista Ingeniería Hidráulica en México Vol. XX, abril- junio.

VILLAMIZAR, J., 2006 .Generación del modelo digital de elevaciones (MDE) correspondiente a la mesa de Barichara limitada por los Ríos Fonce, Suárez y Chicamocha. Trabajo de Grado. Ingeniería Civil UIS. Bucaramanga.

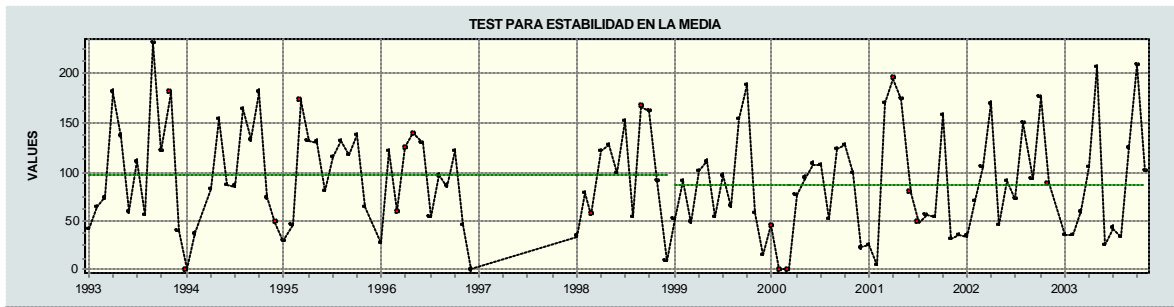
ANEXOS

Anexo 1: Gráficos de Análisis Estadístico de series de Precipitación

Estación de Barichara.

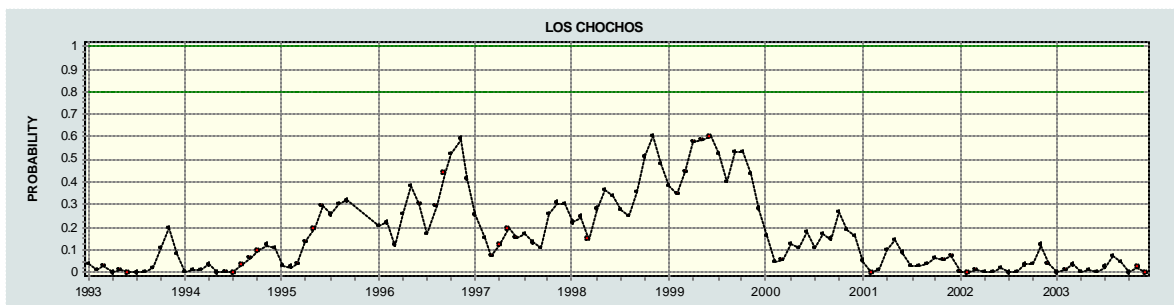


Test de Pettitt estación Barichara

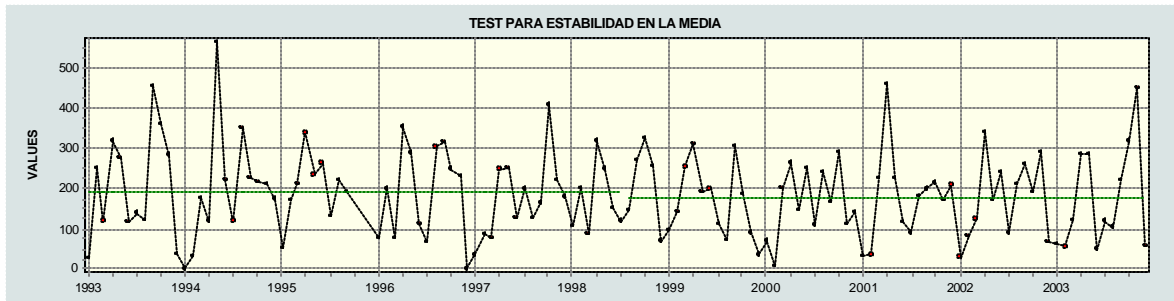


Test para la estabilidad de la media estación Barichara

Estación los Chochos

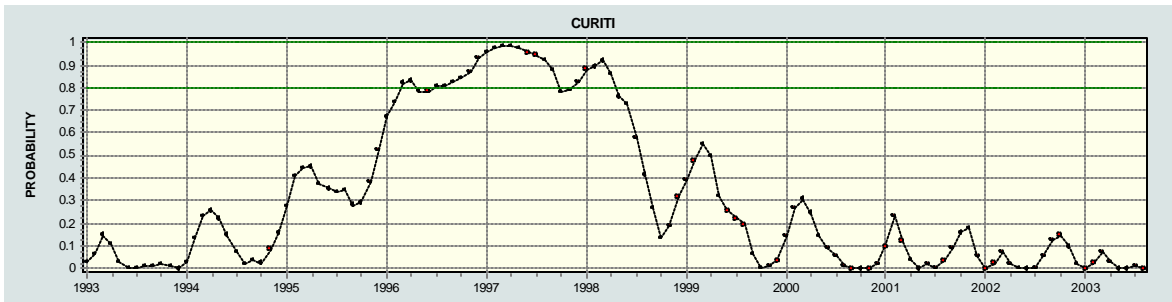


Test de Pettitt estación Chochos

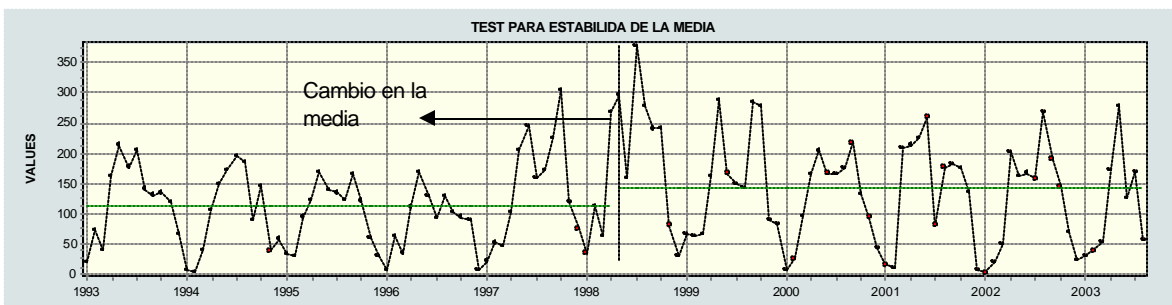


Test para la estabilidad de la media estación Chochos

Estación Curití



Test de Pettit estación Curití



Test para la estabilidad de la media estación Curití

Estación el Cucharo

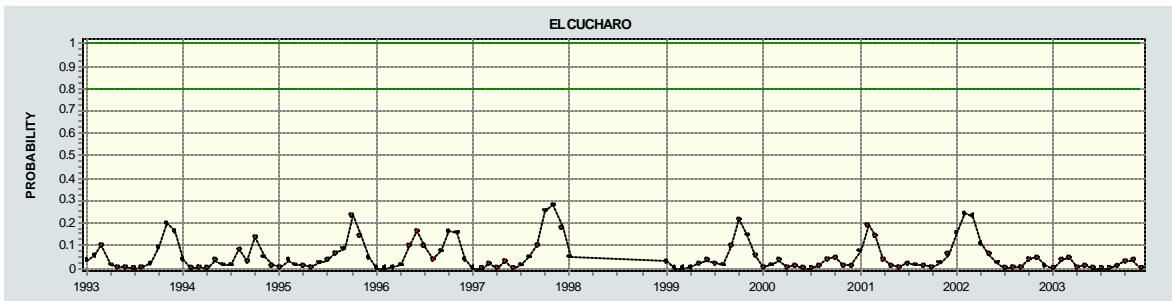


Figura 2.9 Test de Pettit estación Cucharo

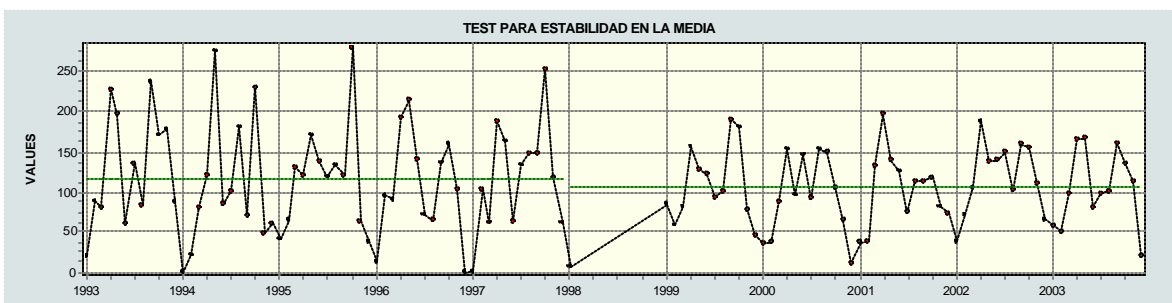
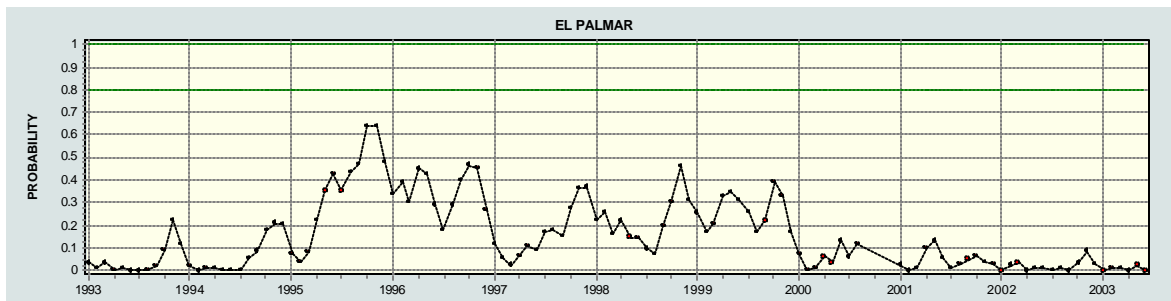
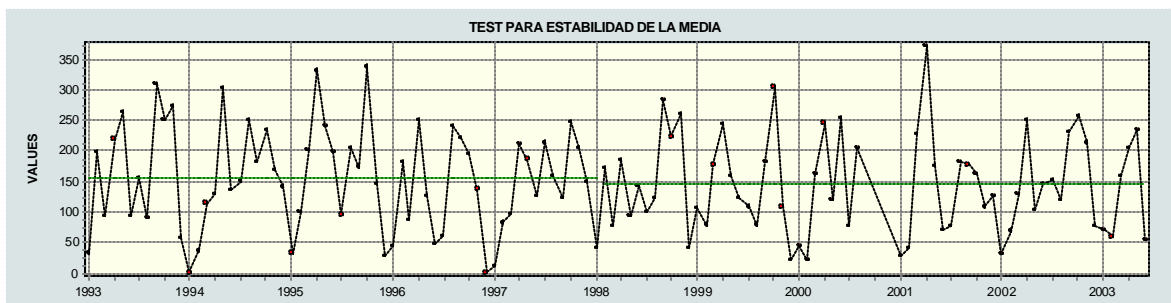


Figura 2.10 Test para la estabilidad de la media estación Cucharo

Estación El Palmar

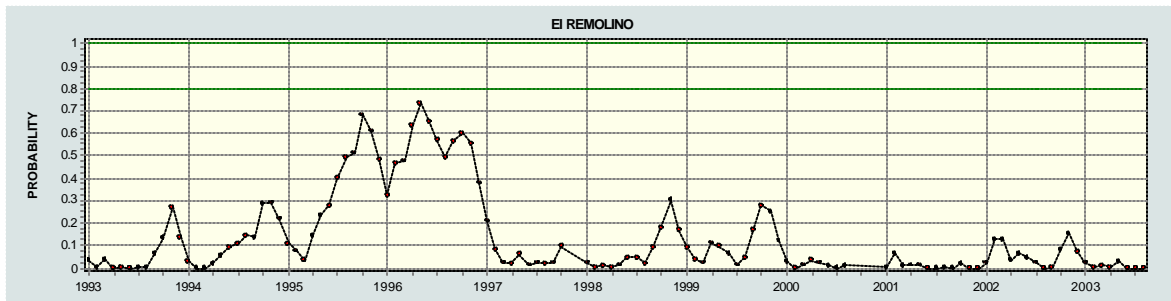


Test de Pettit estación El Palmar

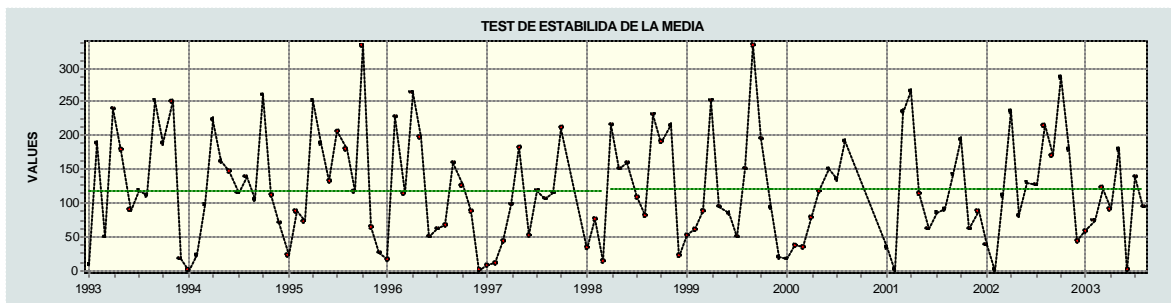


Test para la estabilidad de la media estación El Palmar

Estación El Remolino

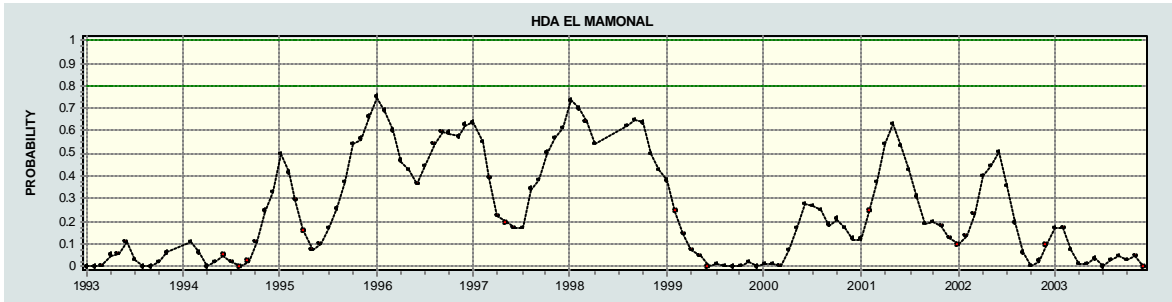


Test de Pettit estación El Remolino

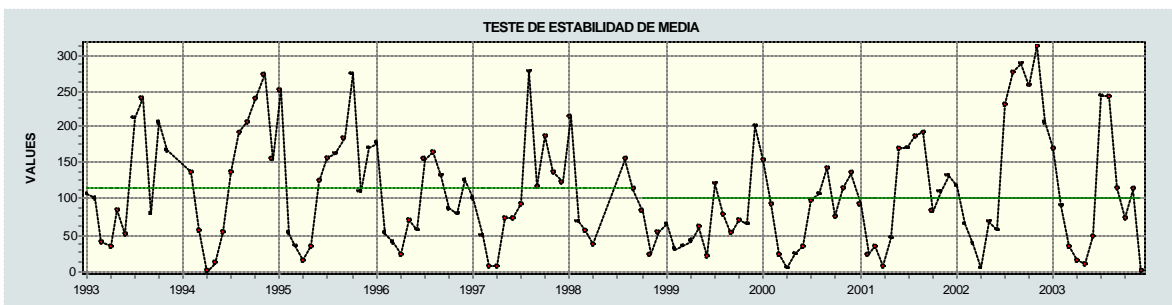


Test para la estabilidad de la media estación El Remolino

Estación Hacienda El Mamonal



Test de Pettit estación HDA El Mamonal

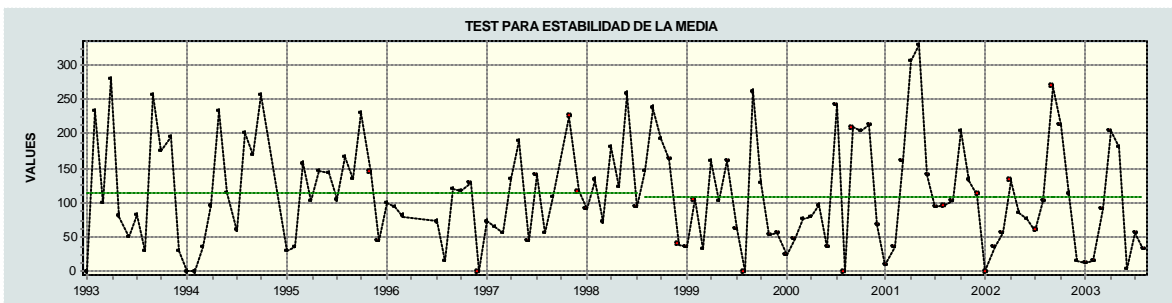


Test para la estabilidad de la media estación HDA EL Mamonal

Estación La Fuente

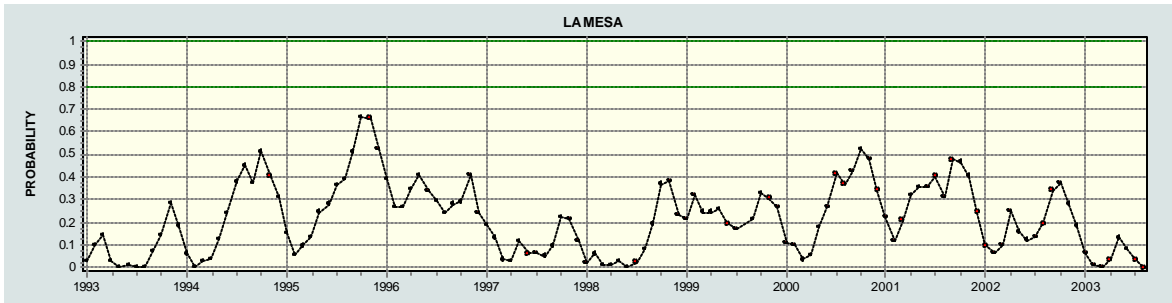


Test de Pettit estación La Fuente

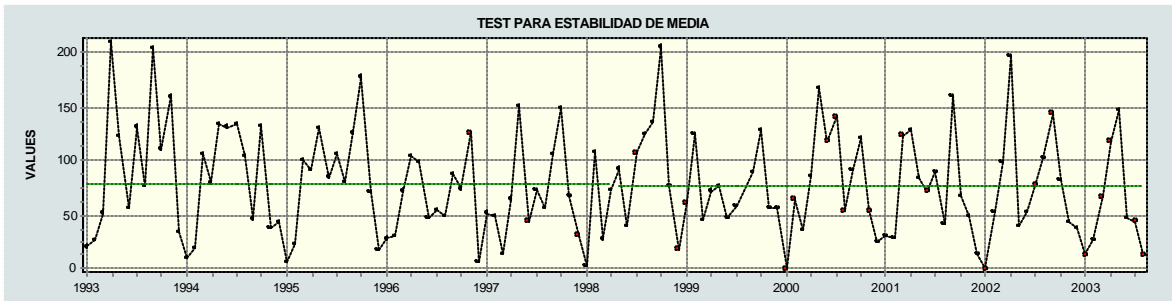


Test para la estabilidad de la media estación La Fuente

Estación La Mesa



Test de Pettit estación La Mesa

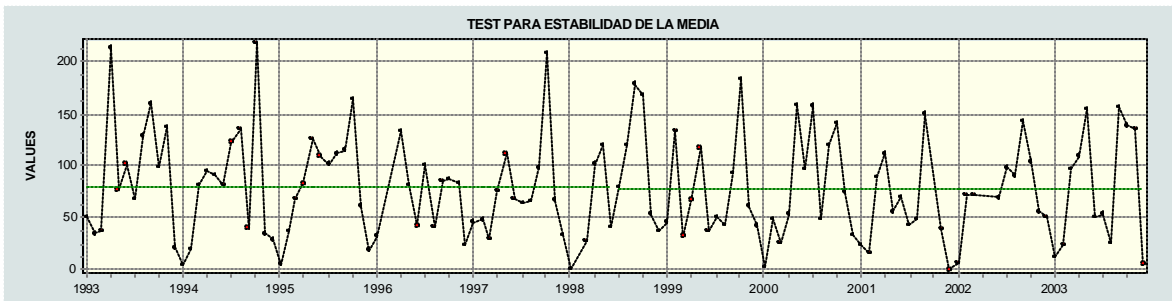


Test para la estabilidad de la media estación La Mesa

Estación Los Santos

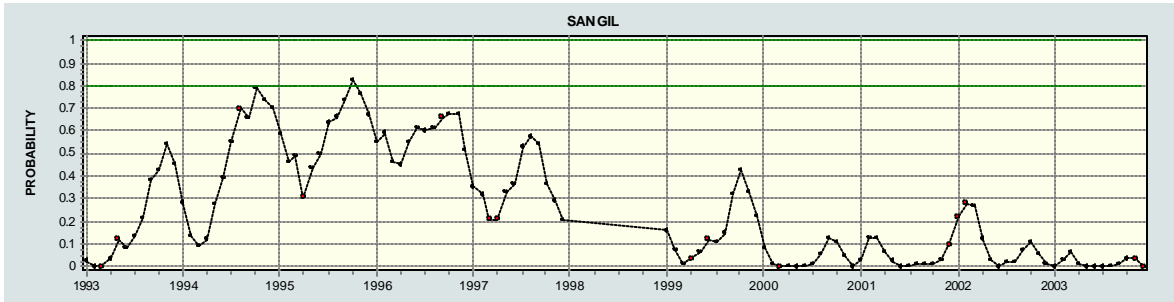


Test de Pettit estación Los Santos

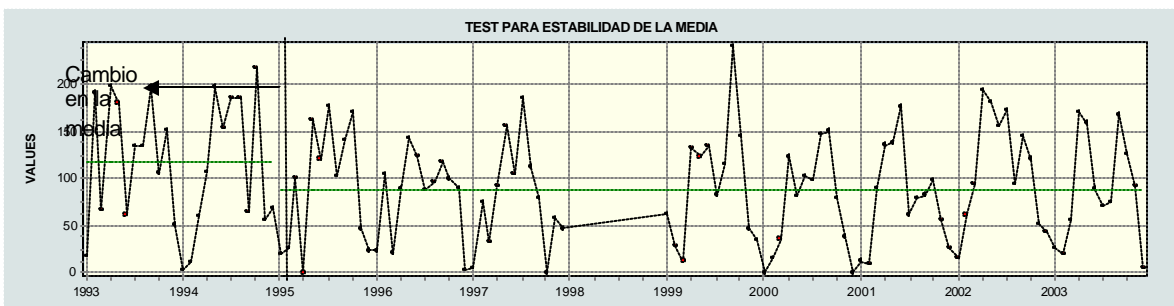


Test para la estabilidad de la media estación Los Santos

Estación San Gil

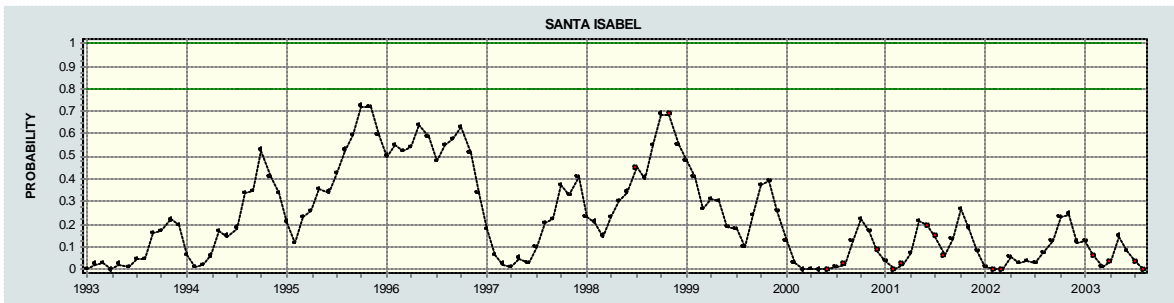


Test de Pettit estación San Gil

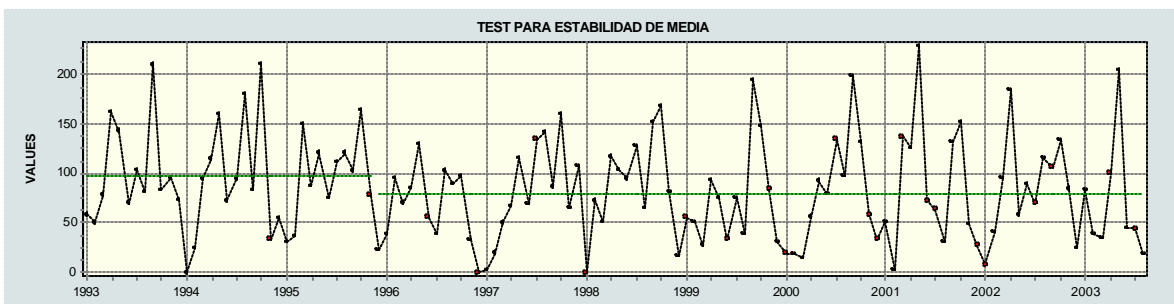


Test para la estabilidad de la media estación San Gil

Estación Santa Isabel

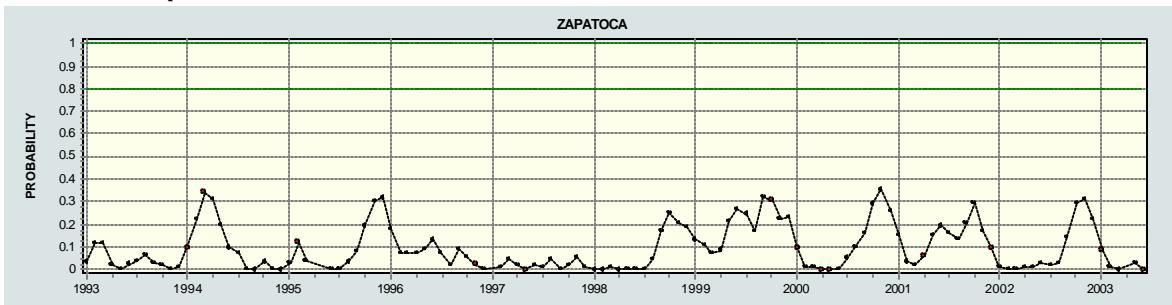


Test de Pettit estación Santa Isabel

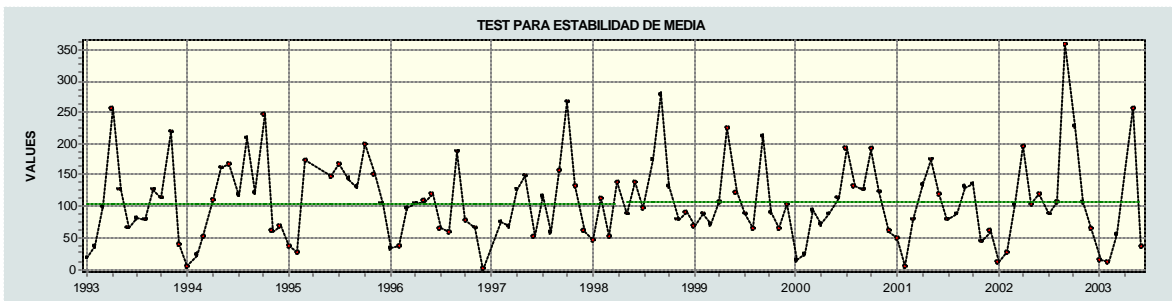


Test para la estabilidad de la media estación Santa Isabel

Estación Zapotoca



Test de Pettit estación Zapotoca



Test para la estabilidad de la media estación Zapotoca

Anexo 2: Periodos fuertes del Fenómeno del ENSO 1993-2006

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1993	0.3	0.4	0.6	0.8	0.8	0.7	0.5	0.4	0.4	0.3	0.2	0.2
1994	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.9	1.2	1.3
1995	1.2	0.9	0.7	0.4	0.2	0.1	0.0	-0.3	-0.5	-0.6	-0.7	-0.8
1996	-0.8	-0.7	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.4
1997	-0.4	-0.3	0.0	0.4	0.9	1.4	1.7	2.0	2.3	2.4	2.5	2.5
1998	2.4	2.0	1.4	1.1	0.4	-0.1	-0.8	-1.0	-1.1	-1.1	-1.3	-1.5
1999	-1.6	-1.2	-0.9	-0.7	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-1.0	-1.2	-1.4	-1.6
2000	-1.6	-1.5	-1.1	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.2
2002	-0.1	0.1	0.3	0.4	0.7	0.8	0.9	0.9	1.1	1.3	1.5	1.3
2003	1.1	0.8	0.6	0.1	-0.1	0.0	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5
2004	0.4	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8
2005	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0	-0.2	-0.4	-0.7
2006	-0.8	-0.7	-0.4	-0.2	0.0	0.1	0.3	0.4	0.7	0.9	1.1	

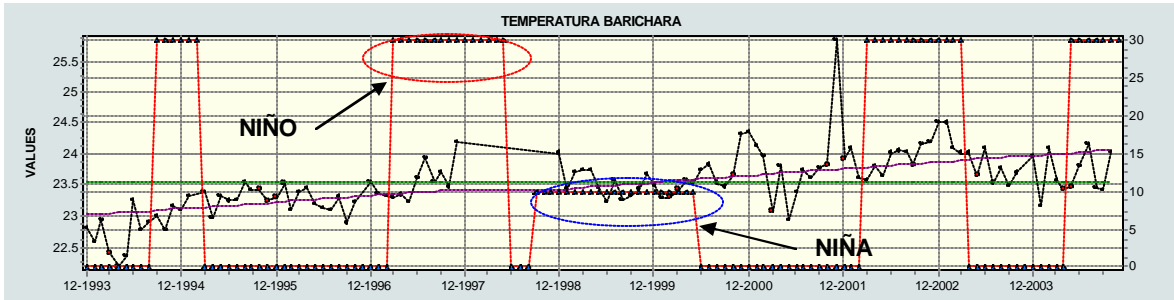
Fuente:

http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

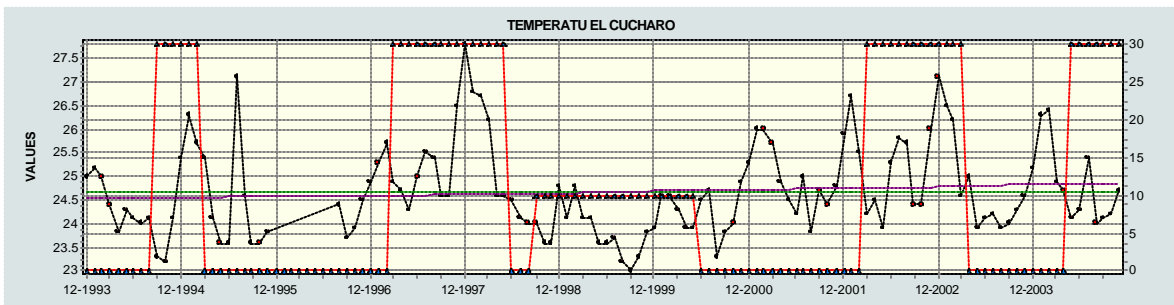
En la tabla se presentan los periodos fuertes de niño y niña desde 1993 hasta el 2000. The Nacional Weather Service Climate prediction Center establece que los números de colores rojo y azules son episodios del fenómeno del ENSO

Anexo3: Gráficos de Análisis de series Climáticas

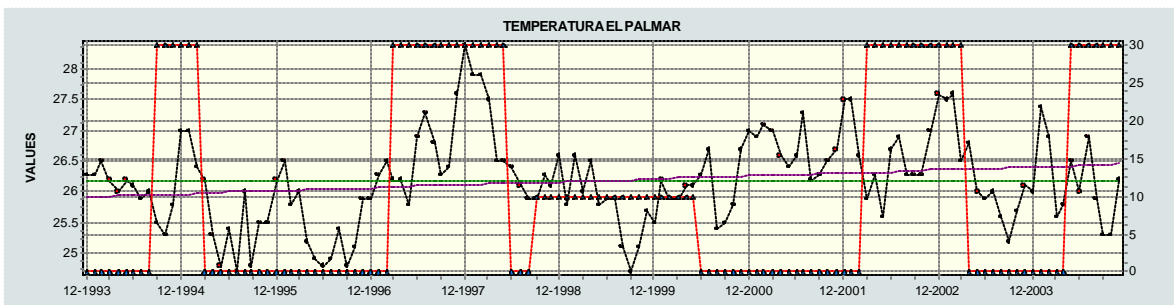
TEMPERATURA



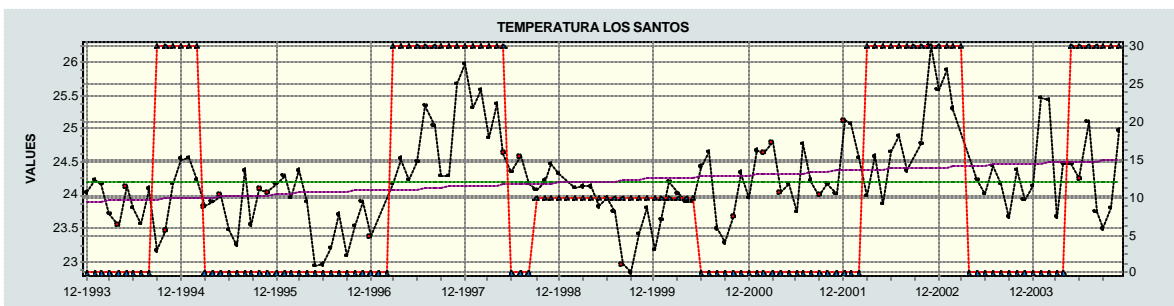
Temperatura Datos Puros – Estación Barichara



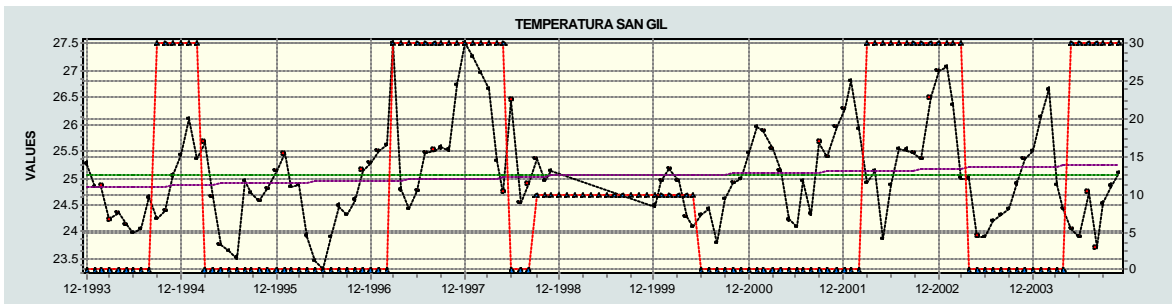
Temperatura Datos Puros – Estación Cucharo



Temperatura Datos Puros – Estación El Palmar



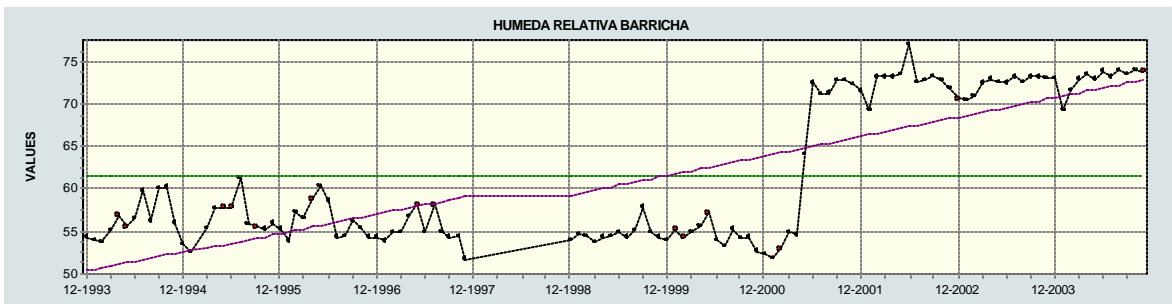
Temperatura Datos Puros – Estación Los Santos



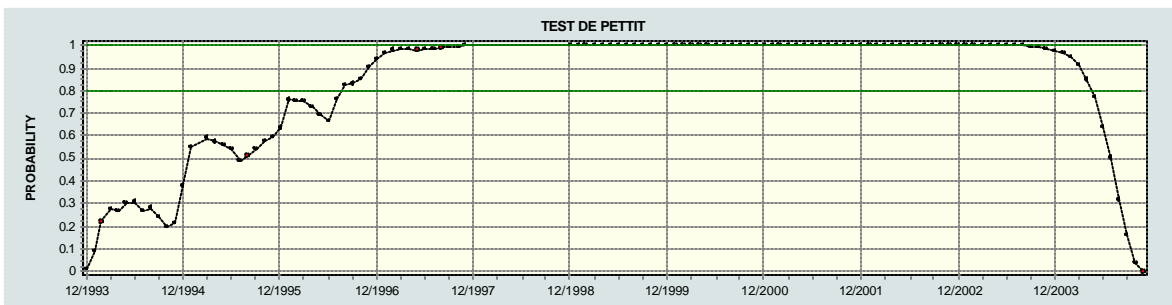
Temperatura Datos Puros – Estación San Gil

HUMEDAD RELATIVA

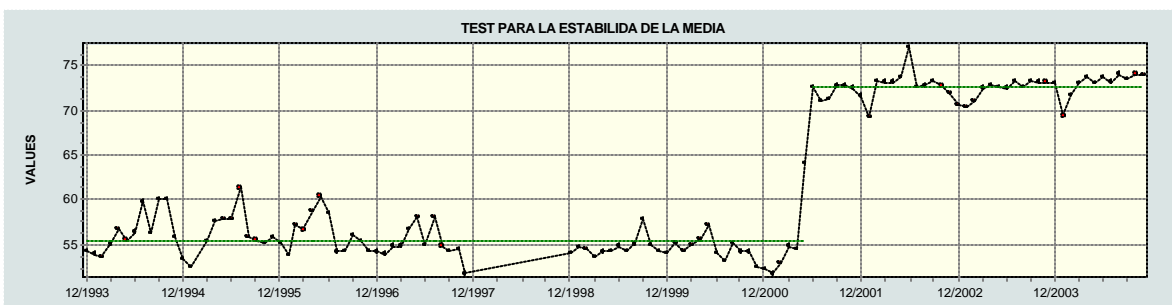
◆ Barichara



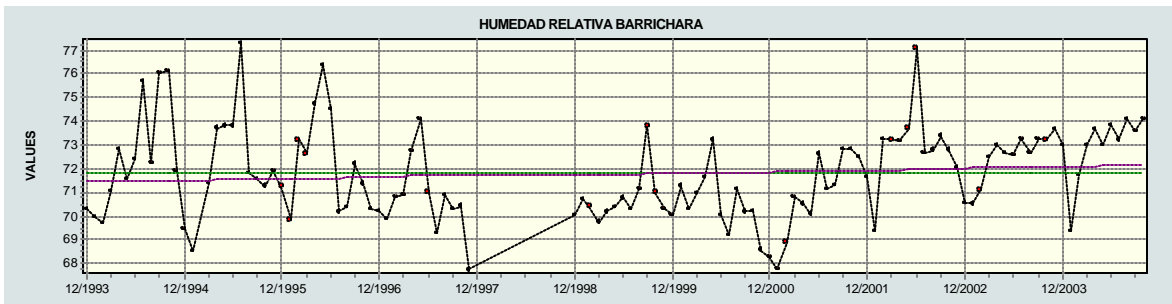
Húmeda Relativa Datos Puros – Estación Barichara



Húmeda Relativa Test de Pettitt – Estación Barichara

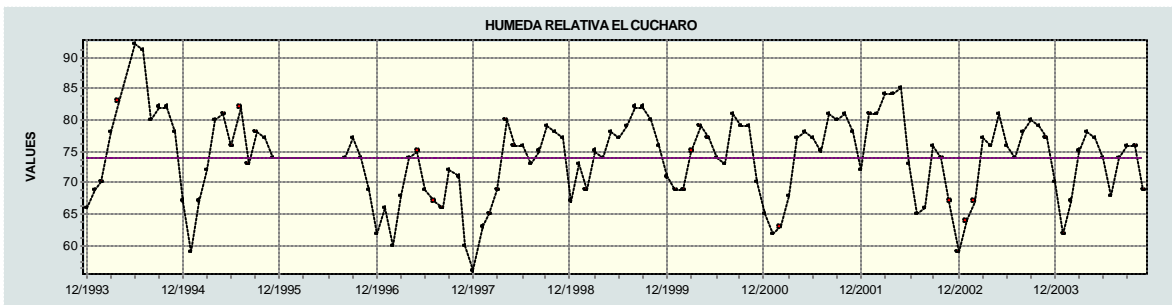


Húmeda Relativa Test de estabilidad de Media – Estación Barichara

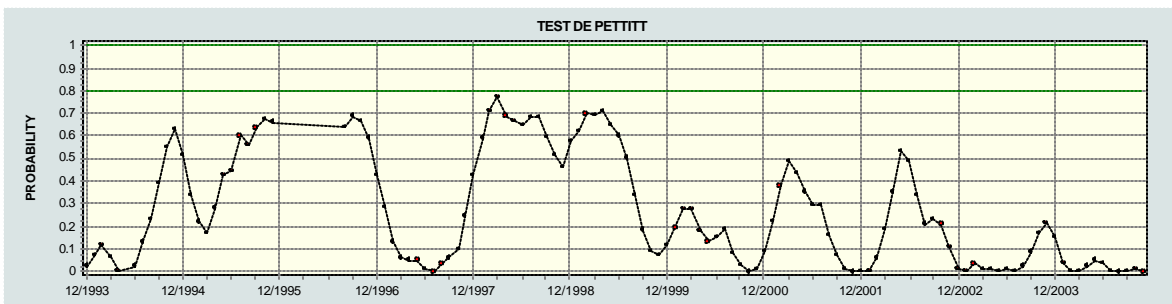


Húmeda Relativa Datos Corregidos – Estación Barichara

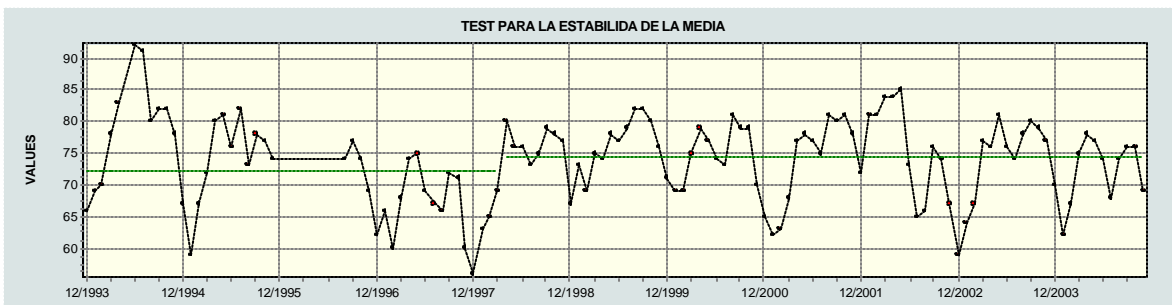
◆ **El Cucharo**



Húmeda Relativa Datos Puros – Estación El Cucharo

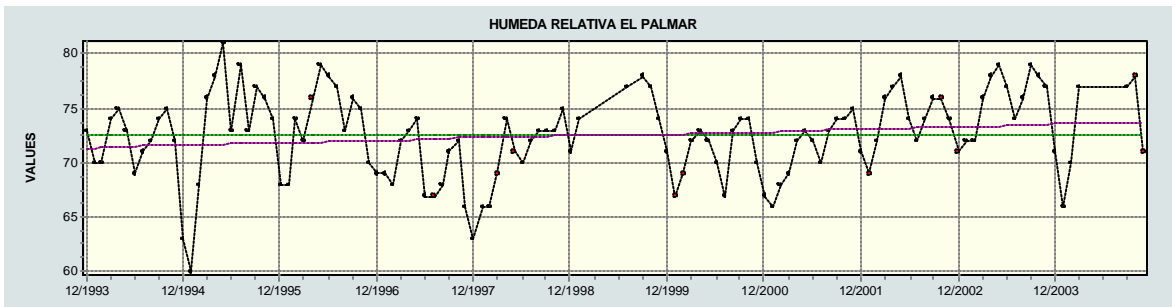


Húmeda Relativa Test de Pettitt – Estación El Cucharo

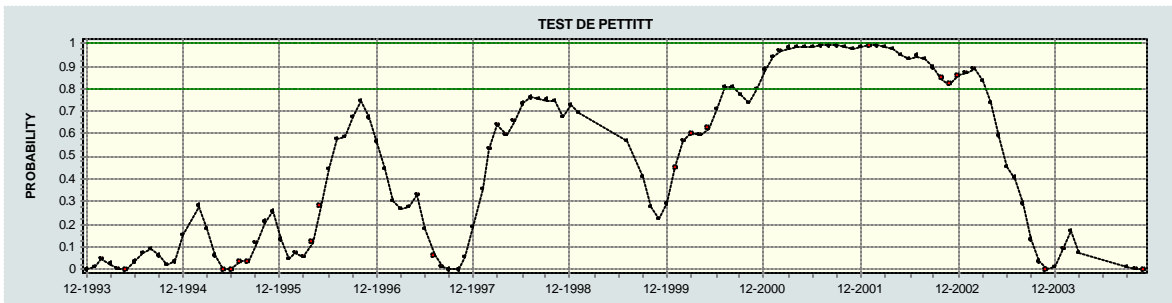


Húmeda Relativa Test de estabilidad de Media – Estación El Cucharo

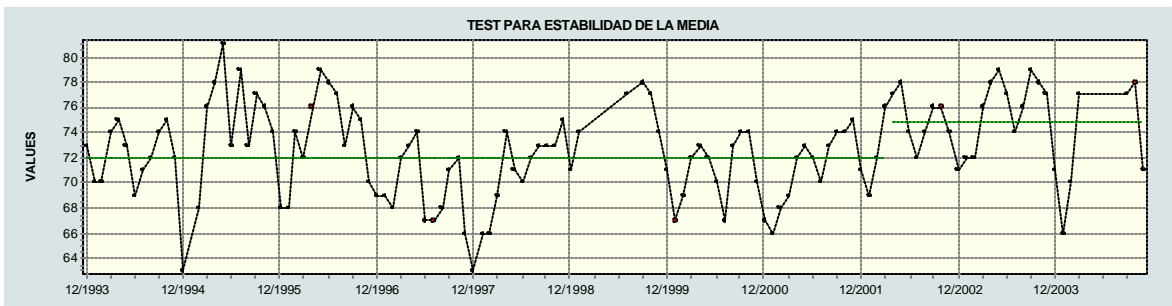
◆ **El Palmar**



Húmeda Relativa Datos Puros – Estación El Palmar

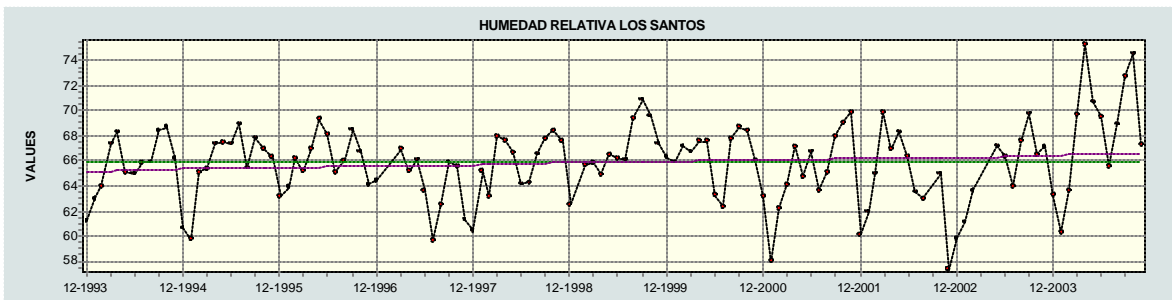


Húmeda Relativa Test de Pettitt – Estación El Palmar

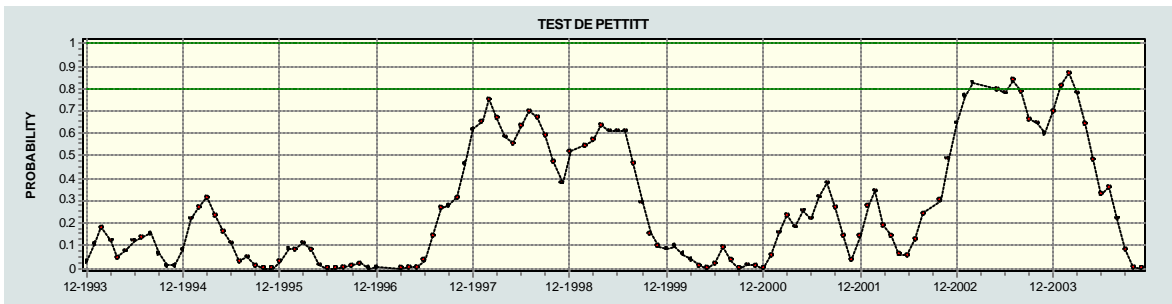


Húmeda Relativa Test de estabilidad de Media – Estación El Palmar

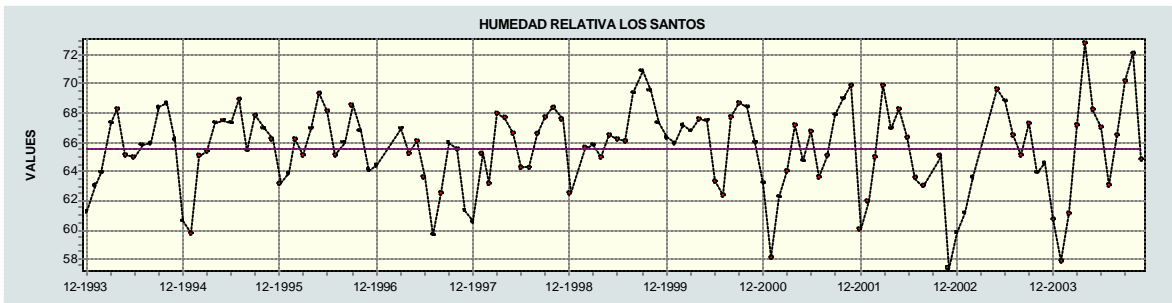
◆ **Los Santos**



Húmeda Relativa Datos Puros – Estación Los Santos

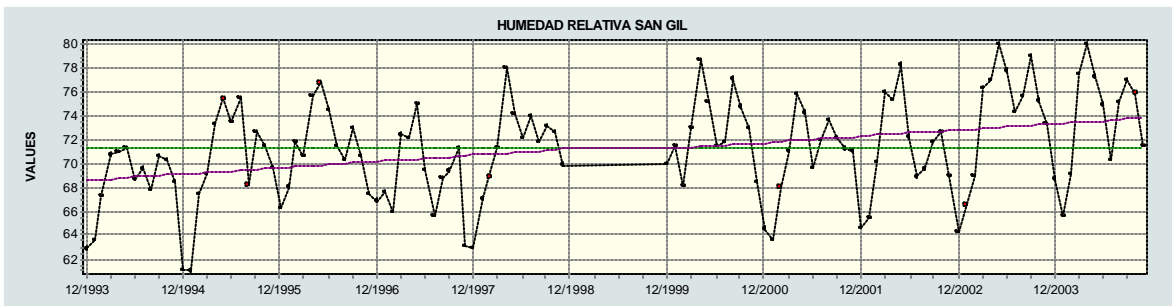


Húmeda Relativa Test de Pettitt – Estación Los Santos

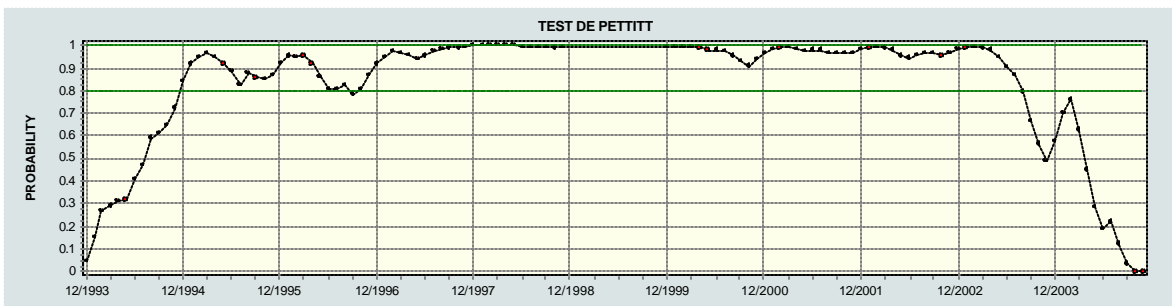


Húmeda Relativa Datos Corregidos – Estación Los Santos

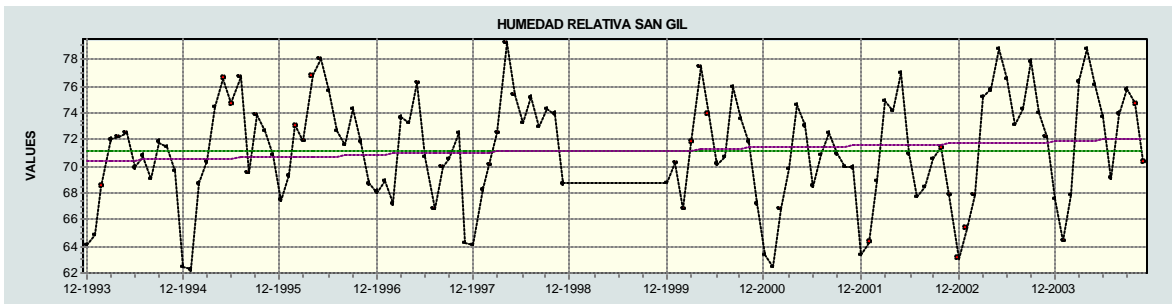
◆ **San Gil**



Húmeda Relativa Datos Puros – Estación San Gil



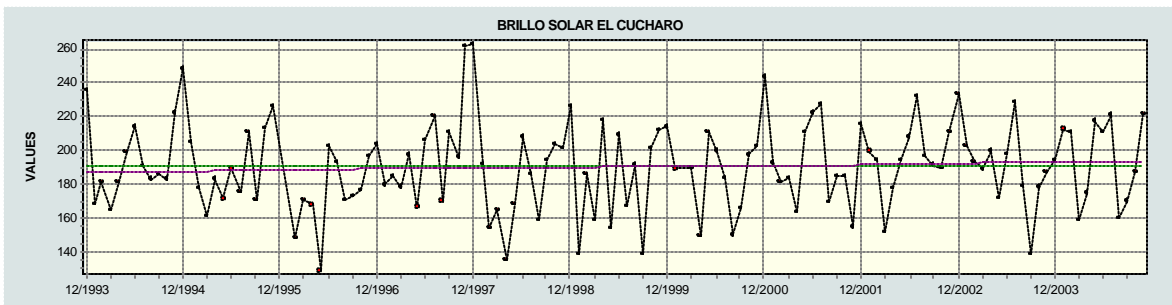
Húmeda Relativa Test de Pettitt – Estación San Gil



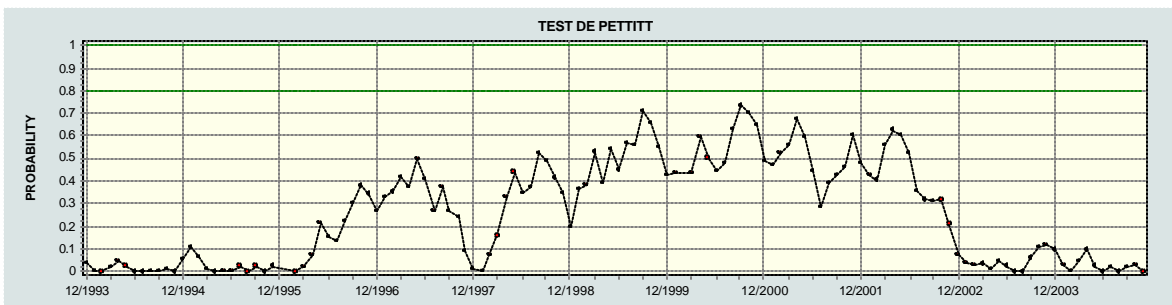
Húmeda Relativa Datos Corregidos – Estación San Gil

Brillo Solar

- ◆ El Cucharo

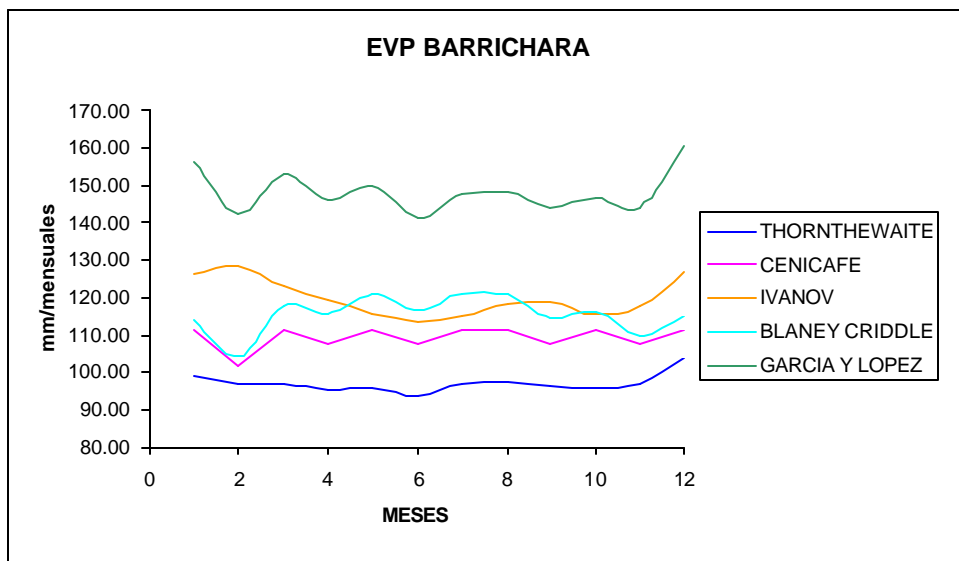


Brillo Solar Datos Puros – Estación El Cucharo



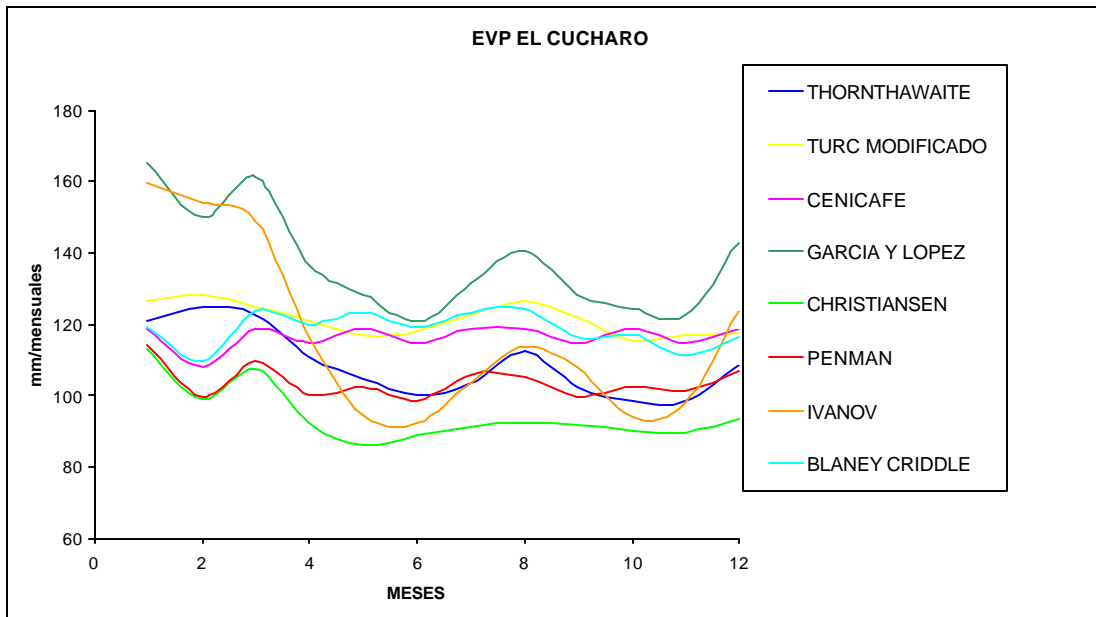
Brillo Solar Test de Pettitt – Estación El Cucharo

Anexo 3: Evapotranspiración Potencial para cada estación de la Zona Guanentina



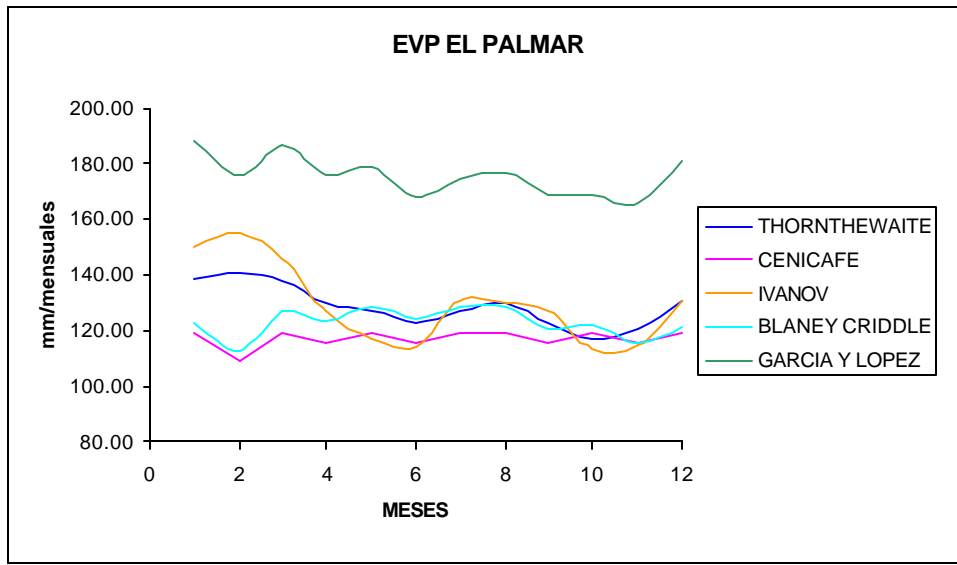
Valores de ETP en mm/mes

	THORNTHTWAITE	CENICAFE	IVANOV	BLANEY CRIDDLE	GARCÍA Y LÓPEZ
ENE	98.75	111.56	126.03	113.94	156.46
FEB	96.82	101.75	128.43	104.18	142.44
MAR	96.99	111.56	122.88	117.60	152.99
ABR	95.02	107.96	119.63	115.79	146.22
MAY	95.59	111.56	115.62	120.62	149.81
JUN	93.74	107.96	113.74	116.79	141.22
JUL	96.84	111.56	115.07	121.24	147.66
AGO	97.51	111.56	118.13	120.63	148.53
SEP	96.21	107.96	119.14	114.28	144.15
OCT	95.51	111.56	115.28	116.06	146.85
NOV	97.17	107.96	117.50	110.18	144.04
DIC	103.72	111.56	127.07	114.85	160.48
TOTAL	1163.87	1314.52	1438.52	1386.16	1780.85



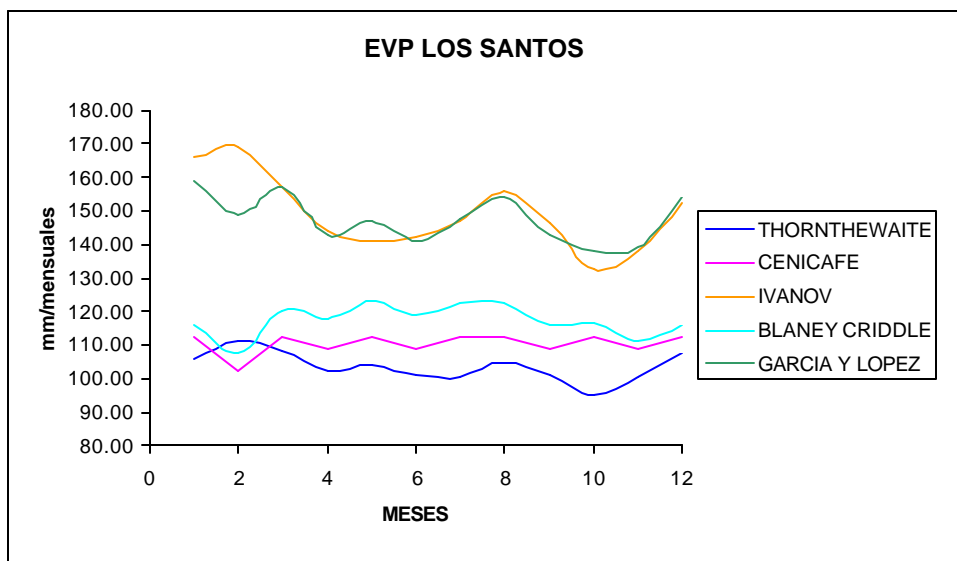
Valores de ETP en mm/ mes

	THORNTHAWAITE	CENICAFE	IVANOV	BLANEY CRIDDLE	GARCIA Y LOPEZ	TURC MODIFICADO	CHRISTIANSEN	PENMAN
ENE	121.18	118.72	159.35	118.97	165.15	126.93	112.77	114.38
FEB	124.72	108.28	154.40	109.84	149.90	128.19	99.10	99.63
MAR	122.59	118.72	148.99	123.56	161.43	125.13	107.34	109.38
ABR	111.01	114.89	116.39	119.95	136.62	120.87	92.19	100.37
MAY	104.74	118.72	94.65	123.54	128.45	117.00	86.23	102.37
JUN	99.87	114.89	92.46	119.04	120.67	117.87	88.89	98.63
JUL	103.33	118.72	103.56	123.50	131.50	122.75	91.40	105.94
AGO	112.51	118.72	113.99	124.56	140.73	126.54	92.28	105.58
SEP	102.35	114.89	107.72	116.28	128.36	122.05	91.73	99.58
OCT	98.34	118.72	93.79	117.44	124.43	115.49	90.01	102.66
NOV	98.63	114.89	97.80	111.20	122.25	117.05	89.73	101.24
DIC	108.50	118.72	123.83	116.45	142.92	117.49	93.51	107.24
TOTAL	1307.78	1398.88	1406.93	1424.34	1652.42	1457.36	1135.16	1247.02



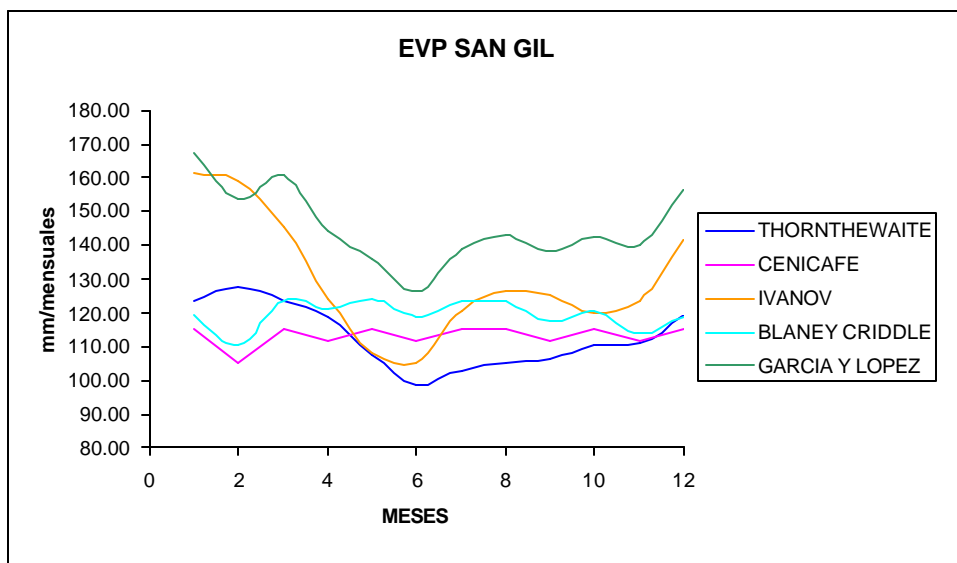
Valores de ETP en mm/mes

	THORNTHEWAITE	CENICAFE	IVANOV	BLANEY CRIDDLE	GARCIA Y LOPEZ
ENE	138.58	119.65	150.02	122.26	188.77
FEB	140.48	109.12	155.43	112.52	175.59
MAR	137.93	119.65	146.02	126.55	186.96
ABR	129.81	115.79	126.69	123.90	176.10
MAY	127.04	119.65	117.10	128.49	178.90
JUN	122.84	115.79	113.92	124.17	167.62
JUL	126.70	119.65	130.97	128.70	174.75
AGO	129.68	119.65	129.70	128.31	177.03
SEP	122.72	115.79	127.34	120.87	169.15
OCT	116.82	119.65	113.32	121.90	168.55
NOV	120.84	115.79	114.77	116.00	166.31
DIC	130.40	119.65	130.23	120.94	181.19
TOTAL	1543.84	1409.84	1555.52	1474.60	2110.91



Valores de ETP en mm/mes

	THORNTHEWAITE	CENICAFE	IVANOV	BLANEY CRIDDLE	GARCIA Y LOPEZ
ENE	106.02	112.46	166.02	115.88	159.01
FEB	111.02	102.56	169.11	107.34	149.23
MAR	108.71	112.46	157.15	120.60	156.79
ABR	102.47	108.83	144.07	117.94	142.81
MAY	103.75	112.46	140.83	123.00	146.85
JUN	100.96	108.83	141.93	118.96	141.06
JUL	100.72	112.46	146.88	122.62	147.72
AGO	104.92	112.46	155.99	122.75	154.06
SEP	100.91	108.83	146.49	115.77	142.91
OCT	95.04	112.46	132.35	116.38	137.96
NOV	100.28	108.83	137.81	111.28	138.96
DIC	107.39	112.46	152.69	116.03	154.13
TOTAL	1242.18	1325.08	1791.32	1408.54	1771.49



Valores de ETP en mm/mes

	THORNTHEWAITE	CENICAFE	IVANOV	BLANEY CRIDDLE	GARCÍA Y LÓPEZ
ENE	123.49	115.42	161.38	119.53	167.50
FEB	127.65	105.27	159.19	110.41	153.86
MAR	123.57	115.42	145.72	123.84	160.69
ABR	118.76	111.70	124.47	121.50	144.00
MAY	107.55	115.42	108.13	124.33	136.21
JUN	98.76	111.70	105.13	119.03	126.06
JUL	102.76	115.42	120.89	123.50	138.93
AGO	105.36	115.42	126.72	123.34	143.04
SEP	106.44	111.70	125.13	117.37	138.36
OCT	110.43	115.42	119.58	120.16	142.65
NOV	110.95	111.70	123.75	113.83	140.12
DIC	119.17	115.42	141.54	118.68	156.71
TOTAL	1354.89	1359.99	1561.63	1435.51	1748.14

Anexo4: CN en función del uso del suelo y del grupo hidrológico del suelo.

Cover description	Hydrologic condition	Curve numbers for hydrologic soil group			
		A	B	C	D
Pasture, grassland, or range—continuous forage for grazing. ^{2/}	Poor	68	79	86	89
	Fair	49	69	79	84
	Good	39	61	74	80
Meadow—continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay.	—	30	58	71	78
Brush—brush-weed-grass mixture with brush the major element. ^{3/}	Poor	48	67	77	83
	Fair	35	56	70	77
	Good	30 ^{4/}	48	65	73
Woods—grass combination (orchard or tree farm). ^{5/}	Poor	57	73	82	86
	Fair	43	65	76	82
	Good	32	58	72	79
Woods. ^{6/}	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
	Good	30 ^{4/}	55	70	77
Farmsteads—buildings, lanes, driveways, and surrounding lots.	—	59	74	82	86
Herbaceous—mixture of grass, weeds, and low-growing brush, with brush the minor element.	Poor		80	87	93
	Fair		71	81	89
	Good		62	74	85
Oak-aspen—mountain brush mixture of oak brush, aspen, mountain mahogany, bitter brush, maple, and other brush.	Poor		66	74	79
	Fair		48	57	63
	Good		30	41	48
Pinyon-juniper—pinyon, juniper, or both; grass understory.	Poor		75	85	89
	Fair		58	73	80
	Good		41	61	71
Sagebrush with grass understory.	Poor		67	80	85
	Fair		51	63	70
	Good		35	47	55
Desert shrub—major plants include saltbush, greasewood, creosotebush, blackbrush, bursage, palo verde, mesquite, and cactus.	Poor	63	77	85	88
	Fair	55	72	81	86
	Good	49	68	79	84

Fuente: Urban Hydrology for Small Watersheds, Natural Resources Conservation Service Technical Release 55, 1986

Anexo 5: Producción Hortifrutícola en la Zona Guanetina .

MUNICIPIO DE ARATOCA

CULTIVOS	AREA Ha	PRODUCCION OBTENIDA Tn	RENDIMIENTO Kg/ Ha	NO. PRODUCTORES
PLATANO TRAD	205	1.230	6.000	370
CITRICOS	32	48	1.500	190

MUNICIPIO DE BARICHARA

CULTIVOS	AREA Ha	PRODUCCIÓN OBTENIDA Tn	RENDIMIENTO Kg/ Ha	NO. PRODUCTORES
TOMATE	10	150	15.000	6
CITRICOS TEC	46	1727.5	37.555	150
PIÑA	30	1.125	37.500	42
CITRICOS TRA	40	600	15.000	65
UVA	3	75	25.000	12

MUNICIPIO DE CURITI

CULTIVOS	AREA Ha	PRODUCCION OBTENIDA Tn	RENDIMIENTO Kg/ Ha	NO. PRODUCTORES
TOMATE	20	1.200	60.000	15
PLATANO	250	2.000	8.000	480
HORTALIZAS	40	2.000	5.000	140
CITRICOS TRA	25	500	20.000	75

MUNICIPIO DE SAN GIL

CULTIVOS	AREA Ha	PRODUCCION OBTENIDA Tn	RENDIMIENTO Kg/ Ha	NO. PRODUCTORES
TOMATE	80	1.820	26.000	54
CITRICOS TEC	206	5.150	25.000	274
PIÑA	45	2.250	50.000	60
UVA	2	50	25.000	8
HORTALIZAS	24	130	5.000	64
PLATANO	47	383	8.500	71

Fuente: http://www.frutasyhortalizas.com.co/portal/incluj/santander_prov_guan.php

Anexo6: Coeficientes de Cultivo Kc .

COEFICIENTE DE CULTIVO (Kc)

CULTIVO	ETAPAS DE DESARROLLO DEL CULTIVO					Periodo vegetativo total
	Inicial	Desarrollo del cultivo	Mediados del periodo	Finales del periodo	Recolección	
Banano						
-tropical	0.40 - 0.50	0.70 - 0.85	1.00 - 1.10	0.90 - 1.00	0.75 - 0.85	0.70 - 0.80
-	0.50 - 0.65	0.80 - 0.90	1.00 - 1.20	1.00 - 1.15	1.00 - 1.15	0.85 - 0.95
Frijol						
-verde	0.30 - 0.40	0.65 - 0.75	0.95 - 1.05	0.90 - 0.95	0.85 - 0.95	0.85 - 0.90
-seco	0.30 - 0.40	0.70 - 0.80	1.05 - 1.20	0.65 - 0.75	0.25 - 0.30	0.70 - 0.80
Col	0.40 - 0.50	0.70 - 0.80	0.95 - 1.10	0.90 - 1.00	0.80 - 0.95	0.70 - 0.80
Algodón	0.40 - 0.50	0.70 - 0.80	1.05 - 1.25	0.80 - 0.90	0.65 - 0.70	0.80 - 0.90
Vid	0.35 - 0.55	0.60 - 0.80	0.70 - 0.90	0.60 - 0.80	0.55 - 0.70	0.55 - 0.75
Cacahuete	0.40 - 0.50	0.70 - 0.80	0.95 - 1.10	0.75 - 0.85	0.55 - 0.60	0.75 - 0.80
Maiz						
-dulce	0.30 - 0.50	0.70 - 0.90	1.05 - 1.20	1.00 - 1.15	0.95 - 1.10	0.80 - 0.95
-grano	0.30 - 0.50	0.70 - 0.85	1.05 - 1.20	0.80 - 0.95	0.55 - 0.60	0.75 - 0.90
Cebolla						
-seca	0.40 - 0.60	0.70 - 0.80	0.95 - 1.10	0.85 - 0.90	0.75 - 0.85	0.80 - 0.90
-verde	0.40 - 0.60	0.60 - 0.75	0.95 - 1.05	0.95 - 1.05	0.95 - 1.05	0.65 - 0.80
Guisante	0.40 - 0.50	0.70 - 0.85	1.05 - 1.20	1.00 - 1.15	0.95 - 1.10	0.80 - 0.95
Pimentero	0.30 - 0.40	0.60 - 0.75	0.95 - 1.10	0.85 - 1.00	0.80 - 0.90	0.70 - 0.80
Papa	0.40 - 0.50	0.70 - 0.80	1.05 - 1.20	0.85 - 0.95	0.70 - 0.75	0.75 - 0.90
Arroz	1.10 - 1.15	1.10 - 1.50	1.10 - 1.30	0.95 - 1.05	0.95 - 1.05	1.05 - 1.20
Cártamo	0.30 - 0.40	0.70 - 0.80	1.05 - 1.20	0.65 - 0.70	0.20 - 0.25	0.65 - 0.70
Sorgo	0.30 - 0.40	0.70 - 0.75	1.10 - 1.15	0.75 - 0.80	0.50 - 0.55	0.75 - 0.85
Soya	0.30 - 0.40	0.70 - 0.80	1.10 - 1.15	0.70 - 0.80	0.40 - 0.50	0.75 - 0.90
Remolach-azuc.	0.40 - 0.50	0.75 - 0.85	1.05 - 1.20	0.90 - 1.00	0.60 - 0.70	0.80 - 0.90
Caña azúcar	0.40 - 0.50	0.70 - 1.00	1.00 - 1.30	0.75 - 0.80	0.50 - 0.60	0.85 - 1.05
Girasol	0.30 - 0.40	0.70 - 0.80	1.05 - 1.20	0.70 - 0.80	0.35 - 0.45	0.75 - 0.85
Tabaco	0.30 - 0.40	0.70 - 0.80	1.00 - 1.20	0.90 - 1.00	0.75 - 0.85	0.85 - 0.95
Tomate	0.40 - 0.50	0.70 - 0.80	1.05 - 1.25	0.80 - 0.95	0.60 - 0.65	0.75 - 0.90
Sandía	0.40 - 0.50	0.70 - 0.80	0.95 - 1.05	0.80 - 0.90	0.65 - 0.75	0.75 - 0.85
Trigo	0.30 - 0.40	0.70 - 0.80	1.05 - 1.20	0.65 - 0.75	0.20 - 0.25	0.80 - 0.90
Alfalfa	0.30 - 0.40				1.05 - 1.20	0.85 - 1.05
Cítricos						
-desyerbe						0.65 - 0.75
-sin control de						0.85 - 0.90
Olivo						0.40 - 0.60

Primer dato : Humedad alta (RH_{min} > 70%) y poco viento (< 5

Segundo dato : Humedad baja (RH_{min} < 20%) y fuerte viento (> 5

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2004. Resolución número 0865 (Julio de 2004).

Anexo 7: Factores de consumo para actividad Pecuaria

En Bovinos valores lts/día.

Etapa de producción	rango de peso en Kg.	Temperatura en °C					
		4.4	10	14.4	21.1	26.6	32.2
Crecimiento	182-364	19	21	25	29	33	47
Vaca lechera	600-1000	28	30	34	40	46	66
Vaca preñada	900 - 1000	24.05	25.95	29.7	34.8	nd	nd
Vaca lactando	900	43.1	47.7	54.9	64	67.8	61.3
Toro adulto	1400 - 1600	32	34	39	46	53	75

Fuente: National Research Council. USA 1996

Estas cifras constituyen valores aproximados promedios. El consumo de agua varía de acuerdo con el nivel de producción, el estado de salud y el consumo de alimento

En Animales valores lts/día.

Rango de peso en	Consumo agua	Consumo Kg/día de alimento	Litros/día
7-18		0.528	1.06
18-30	2 Litros por cada kg de alimento consumido	1	2.00
30-60		1.61	3.22
60-95		2.55	5.10

Fuente: National Research Council. USA

Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2004. Resolución número 0865 (Julio de 2004).

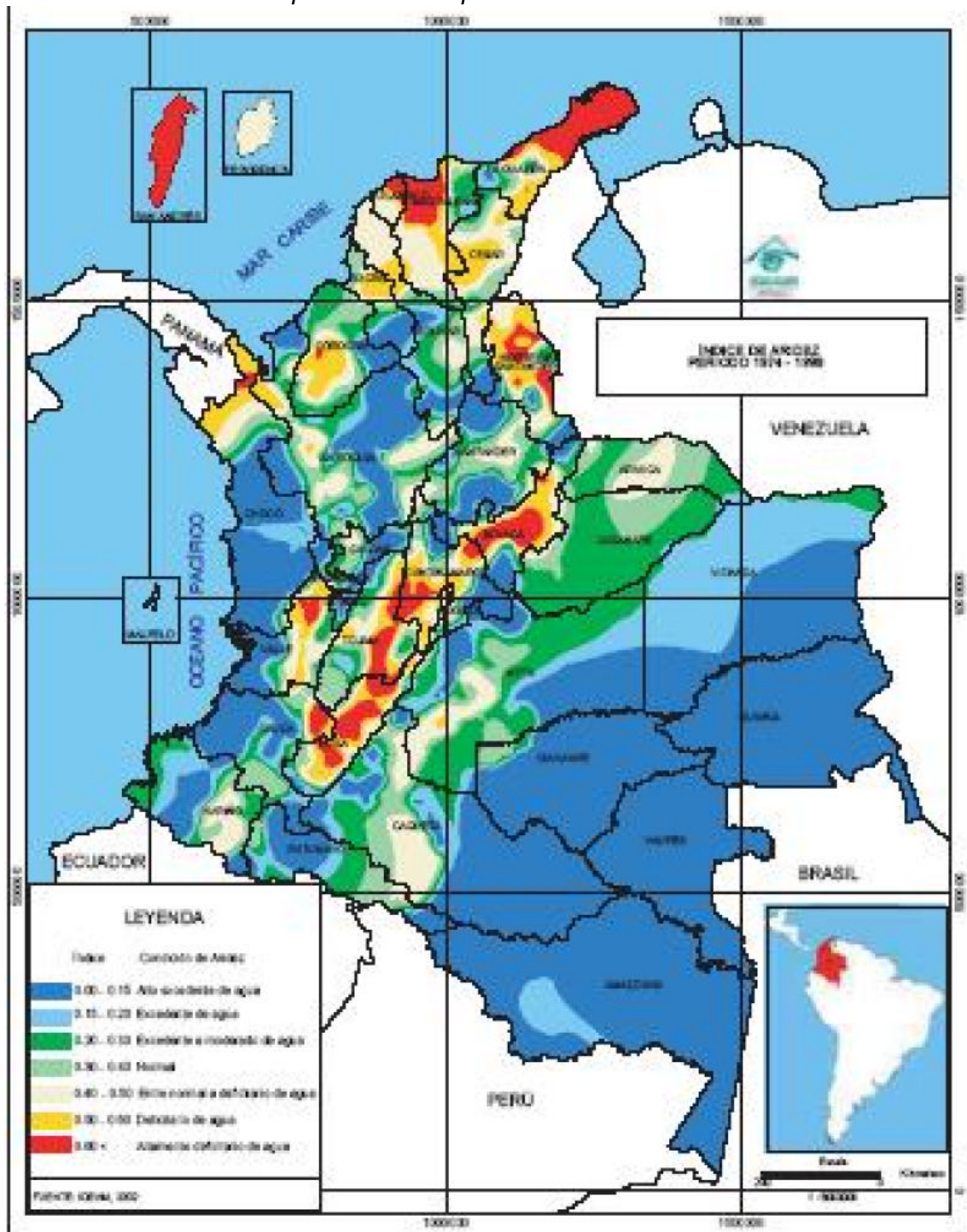
Consumo de agua a volunta en aves de corral valores lts/día. Por cada 100 aves

Tipo de producción	Etapa producción	temperatura	
		20°C	32°C
Gallina ponedora	50% producción	150	250
	90 % producción	180	300
Gallina adulta fuera de producción		120	200
Reproductora pesada (pollona)	4 semanas	75	120
	12 semanas	140	220
	18 semanas	180	300
Reproductora pesada (gallina adulta)	50% producción	180	300
	80% producción	210	360
Pollo de engorde o para asadero	1 semana	24	40
	3 semanas	100	190
	6 semanas	240	500
	9 semanas	300	600
Pavo	1 semana	24	50
	4 semanas	110	200
	12 semanas	320	600
	18 semanas	450	850
Pava reproductora		500	900
Pavo reproductor		500	1100
Pato reproductor		240	500
Ganso	1 semana	28	50
	4 semanas	250	450
	12 semanas	350	600
Ganso reproductor		350	600

Valores tomados de Nutrición Aviar Comercial. Fenavi, Bogotá, D.C. 2000

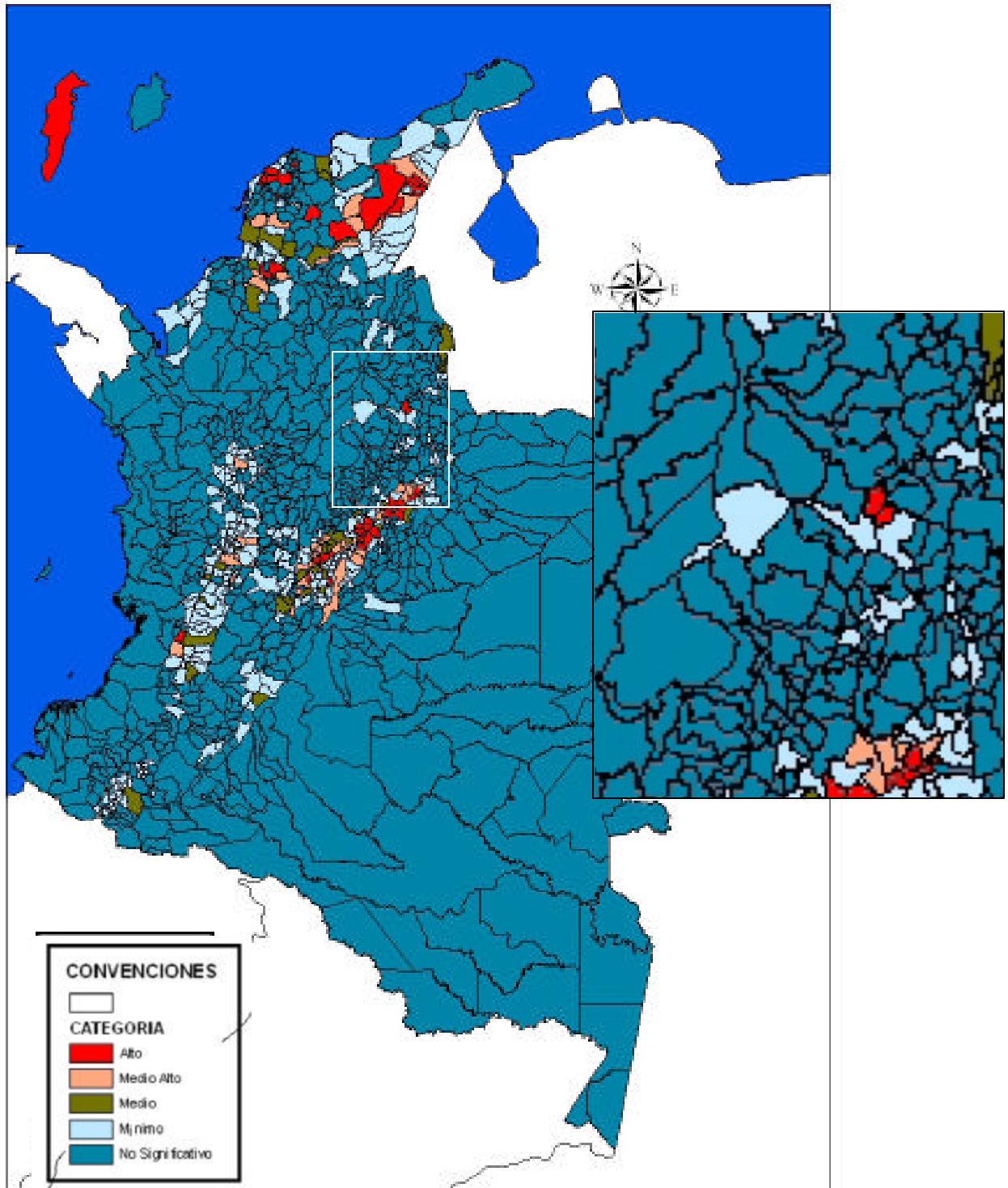
Fuente: MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2004. Resolución número 0865 (Julio de 2004).

Anexo8: Índice de aridez para Colombia periodo 1974 - 1998



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES - IDEAM, 2002. Sistema de información Ambiental de Colombia – Primera Generación de Indicadores de la Línea Base de la información Ambiental, Tomo II

Anexo 9: Índice de escasez para año normal incluyendo principales sistemas de abastecimientos



Fuente: INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES -IDEAM, 2005. Estudio Nacional de Agua 2005: Balance y Perspectivas