

**DETERMINACIÓN DEL CAUDAL PROMEDIO DE LA MICROUENCA DEL RÍO LATO O
HATO PARTIENDO DE SU BALANCE HÍDRICO**

**DIEGO ANTONIO LÓPEZ SANTAMARÍA
ADRIANA FERNANDA OJEDA SALINAS**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA
2006**



**DETERMINACIÓN DEL CAUDAL PROMEDIO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO LATO O
HATO PARTIENDO DE SU BALANCE HÍDRICO**

**DIEGO ANTONIO LÓPEZ SANTAMARÍA
ADRIANA FERNANDA OJEDA SALINAS**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Ingeniero Civil**

DIRECTOR

M.Sc. JORGE ALBERTO GUZMÁN

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2006





A Dios por la oportunidad de vivir,
A mi Madre por ser el artífice de este logro,
A mi Hermana por su ejemplo y apoyo,
A mi padre por ser mi amigo,
A mi abuela desde donde este,
A mis amigos,
A los Siete Grandes, siempre Grandes

DIEGO



A Dios por permitirme llegar a este punto de mi vida,
A mis padres Maria Isabel, Gerardo, Briceida y Eduardo por
brindarme su amor, apoyo y confianza incondicional,
A mis Hermanos Mayra y Gerardo por su compañía constante,
A mi familia,
A mis amigas,
A Jorge por formar parte de este sueño.

ADRIANA

AGRADECIMIENTOS

Al **Ing. MSc Jorge Alberto Guzmán**, director del proyecto, por su paciencia, respaldo, confianza, apoyo, colaboración oportuna y por haber creído en nosotros.

A la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga: a la señora Martha Torres encargada de la atención al público para las concesiones, al Ingeniero Cristian Quintero encargado de Recursos Hídricos, Mayerly Bulla practicante Ambiental del Área de Recursos Hídricos por su asesoría oportuna en cuanto a la información técnica básica para la consecución de los objetivos del proyecto.

Al Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático (GPH), por su colaboración.

A nuestro compañero Miguel José Acosta por su ayuda, perseverancia y colaboración para la consecución de una de las etapas del proyecto.

A nuestros amigos por alentarnos y apoyarnos a seguir adelante a pesar de las adversidades.

A nuestras familias por su apoyo, paciencia y aliento incondicional para que de una u otra forma se pudiera culminar este proyecto.



TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
INTRODUCCIÓN	3
1. DESCRIPCIÓN GENERAL	5
1.1. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS.....	5
1.1.1 LOCALIZACIÓN Y SUPERFICIE:.....	5
1.1.2 ASPECTOS MORFOGRAFICOS: PAISAJE Y RELIEVE.....	6
1.1.3 ASPECTOS MORFOCLIMATICOS.....	8
1.1.4 ACTIVIDADES Y USOS DEL SUELO.....	9
1.1.5 AGUA.....	10
1.2. MARCO TEORICO.....	12
1.2.1 CICLO HIDROLÓGICO.....	13
1.2.2 BALANCE HIDRICO.....	14
2. LLENADO DE DATOS Y MODELAMIENTO DE LAS VARIABLES	24
2.1. SIERIES DE TIEMPO.....	24
2.2. ANALISIS PRELIMINAR DE LAS SERIES HISTORICAS.....	28
2.2.1 ESTACION CENTRO:.....	30
2.2.2 ESTACION CHIMITA:.....	32
2.2.3 ESTACION PTAR:.....	35
2.2.4 ESTACION UIS:.....	39
2.3. TRATAMIENTO Y MODELAMIENTO DE LA VARIABLES.....	42
2.3.1 ESTACION CENTRO:.....	44
2.3.2 ESTACION CHIMITA:.....	44
2.3.3 ESTACION PTAR:.....	45
2.3.4 ESTACION UIS:.....	46
2.4. LLENADO DATOS Y MANEJO DE VARIABLES.....	47
3. EVAPOTRANSPIRACION, PRECIPITACION Y CONSUMO HUMANO	54
3.1. EVAPOTRANSPIRACION.....	54
3.1.1 EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA, POTENCIAL Y REAL.....	55



3.1.2	METODOLOGIA APLICADA PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION REAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO LATO	57
3.1.3	ESTIMACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION REAL	82
3.2.	PRECIPITACION.....	87
3.3.	CONSUMO HUMANO.....	93
3.3.2	ESTIMACION DEL CONSUMO HUMANO.....	95
4.	BALANCE HIDROLOGICO A LARGO PLAZO	96
4.1.	DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO.....	96
5.	CONCLUSIONES	103
6.	RECOMENDACIONES	105
7.	BIBLIOGRAFIA	106
ANEXOS		

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Ubicación Microcuenca Río Lato	5
FIGURA 2.	Ciclo Hidrológico	13
FIGURA 3.	Componentes de un Programa de Evaluación Básica de los Recursos Hídricos.	16
FIGURA 4.	Conservación de la masa de agua en la columna del sistema suelo-atmósfera.....	20
FIGURA 5.	Ubicación de las Estaciones respecto a la Microcuenca.	25
FIGURA 6.	Radiación Solar Año 2002 Datos Puros.....	30
FIGURA 7.	Temperatura Año 2003 Datos Puros.	30
FIGURA 8.	Dirección del Viento Año 2003 Datos Puros.....	31
FIGURA 9.	Presión Año 2003 Datos Puros.....	31
FIGURA 10.	Precipitación Año 2004 Datos Puros	32
FIGURA 11.	Temperatura Año 2005 Datos Puros	32
FIGURA 12.	Presión Año 2002 Datos Puros.....	33
FIGURA 13.	Dirección del Viento Año 2002 Datos Puros.....	33
FIGURA 14.	Velocidad del Viento Año 2002 Datos Puros.....	34
FIGURA 15.	Humedad Relativa Año 2003 Datos Puros.....	34
FIGURA 16.	Presión Año 2002 Datos Puros.....	35
FIGURA 17.	Humedad Relativa Año 2002 Datos Puros.....	36
FIGURA 18.	Radiación Solar Año 2002 Datos Puros.....	36
FIGURA 19.	Temperatura Año 2002 Datos Puros.....	37
FIGURA 20.	Temperatura Año 2003 Datos Puros.....	37
FIGURA 21.	Presión Año 2003 Datos Puros.....	38
FIGURA 22.	Radiación Solar Año 2003 Datos Puros.....	38
FIGURA 23.	Temperatura Año 2004 Datos Puros.....	38
FIGURA 24.	Dirección del Viento Año 2002 Datos Puros.....	39
FIGURA 25.	Velocidad del Viento Año 2002 Datos Puros.....	39
FIGURA 26.	Presión Año 2002 Datos Puros.....	40
FIGURA 27.	Humedad Relativa Año 2002 Datos Puros.....	40
FIGURA 28.	Radiación Solar Año 2003 Datos Puros.....	41
FIGURA 29.	Precipitación Año 2004 Datos Puros.....	41
FIGURA 30.	Temperatura Año 2004 Datos Puros.....	41
FIGURA 31.	Velocidad del Viento Año 2004 Datos Puros.....	42

FIGURA 32.	Temperatura Año 2003 Datos Puros corregidos – CENTRO.....	44
FIGURA 33.	Presión Año 2003 Datos Puros corregidos – CENTRO.....	44
FIGURA 34.	Presión Año 2002 Datos Puros corregidos – CHIMITA.....	44
FIGURA 35.	Velocidad del Viento Año 2002 Datos Puros corregidos – CHIMITA.....	45
FIGURA 36.	Humedad Relativa Año 2002 Datos Puros corregidos – PTAR.....	45
FIGURA 37.	Presión Año 2002 Datos Puros corregidos – PTAR.....	45
FIGURA 38.	Temperatura Año 2002 Datos Puros corregidos – PTAR.....	45
FIGURA 39.	Temperatura Año 2003 Datos Puros corregidos – PTAR.....	46
FIGURA 40.	Humedad Relativa Año 2002 Datos Puros corregidos – UIS.....	46
FIGURA 41.	Presión Año 2002 Datos Puros corregidos – UIS.....	46
FIGURA 42.	Temperatura Año 2002 Datos Puros corregidos – UIS.....	46
FIGURA 43.	Velocidad del Viento Año 2002 Datos Puros corregidos – UIS.....	47
FIGURA 44.	Humedad Relativa Año 2003 Datos Puros corregidos – UIS.....	47
FIGURA 45.	Presión AÑO 1 Serie Final – UIS.....	50
FIGURA 46.	Temperatura AÑO 1 Serie Final – CENTRO.....	50
FIGURA 47.	Radiación Solar AÑO 1 Serie Final – PTAR.....	50
FIGURA 48.	Humedad Relativa AÑO 1 Serie Final – PTAR.....	51
FIGURA 49.	Velocidad del Viento AÑO 1 Serie Final – CHIMITA.....	51
FIGURA 50.	Presión AÑO 2 Serie Final – CHIMITA.....	51
FIGURA 51.	Temperatura AÑO 2 Serie Final – PTAR.....	51
FIGURA 52.	Radiación Solar AÑO 2 Serie Final – UIS.....	52
FIGURA 53.	Humedad Relativa AÑO 2 Serie Final – CENTRO.....	52
FIGURA 54.	Velocidad del Viento AÑO 2 Serie Final – CENTRO.....	52
FIGURA 55.	Presión AÑO 3 Serie Final – CHIMITA.....	52
FIGURA 56.	Temperatura AÑO 3 Serie Final – CHIMITA.....	53
FIGURA 57.	Radiación Solar AÑO 3 Serie Final – CENTRO.....	53
FIGURA 58.	Humedad Relativa AÑO 3 Serie Final – CHIMITA.....	53
FIGURA 59.	Velocidad del Viento AÑO 3 Serie Final – PTAR.....	53
FIGURA 60.	Etapas de crecimiento de diferentes tipos de cultivo.....	70
FIGURA 61.	Mapa cobertura vegetal de la Subcuenca del Río de Oro.....	80
FIGURA 62.	Mapa de Subzonas de la Subcuenca del Río de Oro.....	81
FIGURA 63.	Precipitación y Evapotranspiración media mensual en la Microcuenca del Río Lato – Año1.....	90
FIGURA 64.	Precipitación y Evapotranspiración media mensual en la Microcuenca del Río Lato – Año2.....	91



FIGURA 65.	Precipitación y Evapotranspiración media mensual en la Microcuenca del Río Lato – Año3.	91
FIGURA 66.	Precipitación y Evapotranspiración media mensual en la Microcuenca	92
FIGURA 67.	Comportamiento Recurso Hídrico Año 1	99
FIGURA 68.	Comportamiento Recurso Hídrico Año 2	99
FIGURA 69.	Comportamiento Recurso Hídrico Año 1	100
FIGURA 70.	Ubicación Estación PROANDES sobre Microcuenca Rió Lato.	100
FIGURA 71.	Caudal Medio Anual Estación PROANDES.....	101

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.	Veredas de la Microcuenca del Río Lato	6
TABLA 2.	Red de Estaciones Meteorológicas de la C.D.M.B utilizadas para realizar el Balance Hídrico en la Microcuenca del Río Lato.	25
TABLA 3.	Estación de Medición CENTRO, porcentaje de datos faltantes para las variables utilizadas en estimar la ETR.	26
TABLA 4.	Estación de Medición CHIMITA, porcentaje de datos faltantes para las variables utilizadas en estimar la ETR.	26
TABLA 5.	Estación de Medición UIS, porcentaje de datos faltantes para las variables utilizadas en estimar la ETR.	27
TABLA 6.	Estación de Medición PTAR, porcentaje de datos faltantes para las variables utilizadas en estimar la ETR.	27
TABLA 7.	Valores de C_n y C_d	60
TABLA 8.	Coeficientes de cultivo K_c y alturas medias de planta para cultivos bien manejados y sin estrés de humedad para climas sub-húmedos ($RH_{min} _ 45\%$, $u_2 _ 2$ m/s) para utilizar con la ETo de FAO Penman-Monteith	71
TABLA 9.	División de la Subcuenca del río de Oro	77
TABLA 10.	Suelos Sub-cuenca Río de Oro.	78
TABLA 11.	Clasificación de los diferentes usos del suelo en la Subcuenca del Río de Oro	80
TABLA 12.	Factores de Humedad del Suelo subcuenca Río de Oro	82
TABLA 13.	Evapotranspiración de referencia para pasto corto ET_{os} , en las cuatro estaciones en estudio-Año 1	83
TABLA 14.	Evapotranspiración de referencia para pasto corto ET_{os} , en las cuatro estaciones en estudio-Año 2	83
TABLA 15.	Evapotranspiración de referencia para pasto corto ET_{os} , en las cuatro estaciones en estudio-Año 3	84
TABLA 16.	Evapotranspiración de referencia para pasto corto ET_{os} , en la zona general de la Subcuenca del Río de Oro.	84
TABLA 17.	Coeficientes de Cultivo de la clasificación subzonas usos del suelo.	85
TABLA 18.	Evapotranspiración de un Cultivo en Condiciones Estándar ET_c de la	86
TABLA 19.	Evapotranspiración Real Microcuenca Río Lato	86
TABLA 20.	Precipitación media mensual en las cuatro estaciones en estudio.....	88

TABLA 21.	Precipitación media mensual en las cuatro estaciones en estudio.....	88
TABLA 22.	Precipitación media mensual en las cuatro estaciones en estudio.....	89
TABLA 23.	Precipitación Microcuenca Río Lato.....	90
TABLA 24.	Listado de Caudales otorgados por concesiones para la microcuenca del Río Lato	93
TABLA 25.	Caudal Año Hidrológico 1.....	96
TABLA 26.	Caudal Año Hidrológico 2.....	97
TABLA 27.	Caudal Año Hidrológico 3.....	97
TABLA 28.	Caudal Año Hidrológico 1.....	98
TABLA 29.	Caudal Año Hidrológico 2.....	98
TABLA 30.	Caudal Año Hidrológico 3.....	98
TABLA 31.	Caudales Medios Mensuales Microcuenca Río Lato	102



RESUMEN

TÍTULO: DETERMINACIÓN DEL CAUDAL PROMEDIO DE LA MICROCUENCA DEL RÍO LATO O HATO PARTIENDO DE SU BALANCE HÍDRICO. *

AUTORES:

Diego Antonio López Santamaría.
Adriana Fernanda Ojeda Salinas**

PALABRAS CLAVES: Balance Hídrico, Evapotranspiración, Precipitación, Consumo Humano, Microcuenca Río Lato.

DESCRIPCION: En el presente estudio se analizó el comportamiento de la Oferta Hídrica de la Microcuenca del Río Lato perteneciente a la Subcuenca del Río de Oro y a la Cuenca Superior del Río Lebrija, ubicada al sur del Área Metropolitana de Bucaramanga, la cual cuenta con un área de 46.48 Km². Se partió de la aplicación del balance hídrico a largo plazo, calculando cada una de las componentes necesarias para su estimación, utilizando un procedimiento de especialización de las variables Evapotranspiración y precipitación y estimando por investigación los efectos del consumo humano. Para llevar a cabo la metodología se usó información hidrológica horaria de estaciones climatológicas pertenecientes a la red de la Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB.

En general se encontró una deficiencia en la recolección de la información climatológica evidenciada en los resultados, el régimen de evapotranspiración medio anual de la Microcuenca se consideró sobreestimado dado que las estaciones trabajadas se ubicaban en la parte baja de la Microcuenca y además fuera de ella, situación que igualmente afecta la precipitación subestimando su valor real.

El valor de caudal estimado fue validado con el caudal promedio arrojado por aforos puntuales realizados en la estación PROANDES, de donde se obtuvo una diferencia producida por problemas en el error sistemático de las series puras de las variables estudiadas, precisión en la medición de caudales dados por la estación y estimación real del caudal concesionado por la CDMB.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil, Director: Jorge Alberto Guzmán.



ABSTRACT

TITLE: DETERMINATION OF THE AVERAGE RUNOFF OF THE MICROBASIN OF THE LATO OR HATO RIVER LEAVING OF ITS WATER BALANCE. *

AUTHORS:

Diego Antonio López Santamaría.
Adriana Fernanda Ojeda Salinas**

KEY WORDS: Water Balance, Evapotranspiration, Precipitation, Human Consumption, Lato River Micro-basin.

DESCRIPTION: In the present study the behavior of the Hydrologic Offer was analyzed on the Micro-basin of the Lato River, it belongs to the Oro River sub-basin and the upper Lebrija river basin, located to the south of the Metropolitan Area of Bucaramanga, which has an area of 46.48 Km². It left of the application of the water balance to long term calculating each one of the necessary components for their estimate, using a procedure of specialization of the Evapotranspiración and precipitation and estimating for investigation the effects of the human consumption. To carry out the methodology it uses horary hydrological information of climatological stations belonging to the net of the “Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB”.

In general, it was found a deficiency in the gathering of the climatological information evidenced in the results, the regime of half annual evapotranspiración of the Micro-basin was considered overestimated since the worked stations were located in the low part of the Micro-basin and also outside of it, situation that equally affects the precipitation underestimating their real value.

The value of runoff dear was validated with the average runoff hurtled by punctual seating carried out in the station PROANDES, of where a difference was obtained by problems in the systematic error of the pure series of the studied variables, precision in the mensuration of runoff given by the station and real estimate of the runoff given by the CDMB.

* Graduation Project

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering's, School of Civil Engineering, Director: Jorge Alberto Guzman.

INTRODUCCIÓN

El inventario y evaluación de los recursos naturales especialmente el hídrico en nuestro país serviría como herramienta fundamental en la comprensión de los fenómenos de transformación y aprovechamientos de estos y su posible afectación al curso natural de su evolución o proceso y el ordenamiento de sus usos.

Colombia tiene la urgente necesidad de contar con información actualizada y cada vez más precisa sobre la distribución regional y local de sus disponibilidades de agua y la distribución territorial de sus usos, a fin de precisar y ordenar las áreas con mayores peligros de desabastecimiento, y adelantar las acciones de planificación y regulación del uso del recurso.

El Ciclo Hidrológico esta considerado como el concepto más importante y fundamental en la base de la Hidrología y del manejo del recurso hídrico, este no tiene ni principio ni fin y su descripción pudiese comenzar en cualquier punto. De este concepto se desprende la cuenca hidrológica como su unidad básica de estudio. Visto el Ciclo Hidrológico a través de una cuenca, se puede esquematizar como un estímulo, constituido por la precipitación, al que la cuenca responde mediante el escurrimiento en su salida. Entre el estímulo y la respuesta ocurren varios fenómenos que condicionan la relación entre uno y el otro, y que están controlados por las características morfológicas de la cuenca y su urbanización (APARICIO, 1999).

Ante la necesidad creciente de evaluar la disponibilidad y el estado actual del recurso hídrico en el país en sus diferentes regiones y municipios y de estimar las condiciones de presión por su uso y las limitaciones de su oferta por efectos de la alteración cada vez mayor de la calidad del agua, es de gran importancia la realización del Balance Hídrico de las zonas para conocer a fondo cada uno de los puntos anteriormente mencionados.

En este aspecto se desea contribuir con el análisis de la Cuenca Superior de Río Lebrija, balanceando hídricamente la Microcuenca del Río Lato o Hato, perteneciente a ésta, a una escala anual y mensual. Esta cuenca esta localizada al sur del Área Metropolitana de Bucaramanga, entre los municipios de Floridablanca y Piedecuesta, y cuenta con una extensión aproximada de 46.48 km².

Actualmente la Microcuenca del Río Lato, no posee mediciones sistemáticas de caudales; solamente se realizaron algunos aforos puntuales, es por esto que, para conocer su potencial hídrico, se cuenta con los datos de precipitaciones diarias de las estaciones por veinte años en forma sistemática y continúa. Dentro del estudio, el balance hídrico se basará en el principio de conservación de la masa, en el cual el agua entrante menos el agua saliente es igual al volumen de agua almacenada, la cual se supondrá permanente en el tiempo. Este se efectuará para ciertos puntos convenientes como posibles salientes de agua.

Nos referimos a sitios puntuales como opción de abastecimiento para el desarrollo del futuro proyecto propuesto en el Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Piedecuesta del “Diseño y Construcción de una Planta de Tratamiento” (POT PIEDECUESTA) con ubicación en esta microcuenca, para la solución de problemas de déficit de aguas en las comunidades aledañas a la región.

En Colombia, donde las condiciones climáticas, hidrológicas y topográficas garantizan en la mayoría del territorio una buena oferta de agua y una densa red hidrográfica, no hay suficiente ordenamiento para el uso de los recursos hídricos. Lo anterior determina que los aprovechamientos del recurso para los acueductos urbanos, que se abastecen en general (más del 80%) de ríos pequeños, quebradas y arroyos cercanos, no cuentan en su mayoría con programas de conservación de cuencas, sistemas de regulación y almacenamiento, transporte y tratamiento, ni con previsiones económicas para realizarlas.



1. DESCRIPCIÓN GENERAL

1.1. CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS

1.1.1 LOCALIZACIÓN Y SUPERFICIE:

La Microcuenca del Río Lato esta ubicada al sur del Área Metropolitana de Bucaramanga, entre los municipios de Floridablanca y Piedecuesta. El Río Lato nace en el Cerro La Judía a una altura de 2800 msnm. El curso principal del río corre en sentido Este-Oeste, desde el borde occidental del macizo de Santander a la parte alta y media del Valle de Guatiguará, formado entre las mesas de Ruitoque y los Santos; este drenaje es uno de los principales afluentes de la cuenca del Río de Oro.

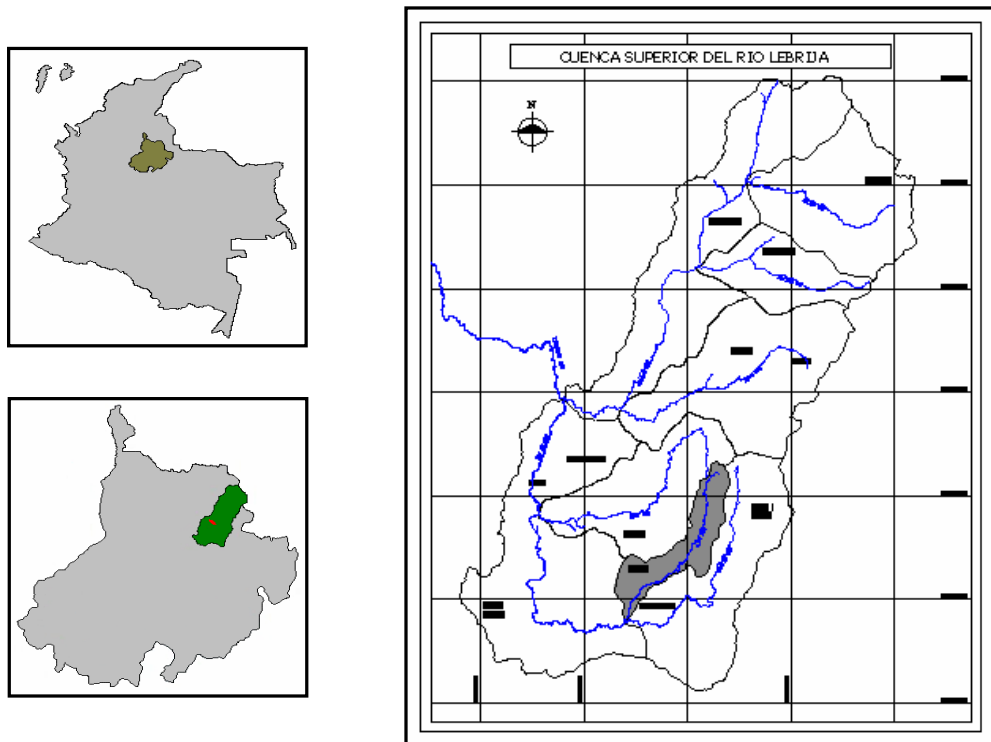


FIGURA 1. Ubicación Microcuenca Río Lato

El área cuenta con muy buenas vías de acceso en su parte baja; hacia la parte media y alta, solamente existen carretables para campero y caminos de herradura y penetración. La cuenca tiene una extensión aproximada de 46.48 km² de los cuales el 30% está localizado sobre el Valle de Guatiguará, un área plana fértil y de buenas condiciones geotécnicas sobre la que se ha proyectado el futuro urbanístico de la ciudad de Bucaramanga. La Microcuenca del Río Lato es, además, considerada un área estratégica como fuente del abastecimiento de agua potable para la Mesa de Ruitoque y el Valle de Guatiguará y una gran fuente potencial de agua subterránea (Prada, 1995).

Las veredas pertenecientes a la Microcuenca del Río Lato son:

TABLA 1. Veredas de la Microcuenca del Río Lato

VEREDAS	AREA (has)
CRISTALES	71.47
FALTRIQUERA	634.91
GRANADILLO	102.46
GUATIGUARA	927.69
LA MATA	602.3
LA NEVERA	1176.42
MENSULY	26.77
RUITOQUE	0.03
SANTA RITA	69.91

Fuente: POAT Piedecuesta

1.1.2 ASPECTOS MORFOGRAFICOS: PAISAJE Y RELIEVE

A. PAISAJE MONTAÑOSO

Está comprendido por el sector entre los depósitos cuaternarios, inmediatamente arriba de la sede del ICP, y la parte más alta de la cuenca. Su posición relativa es de media a alta con desnivelaciones que en la parte baja son del orden de 400 m y aumentan hacia la parte alta hasta 800 m. Este paisaje domina principalmente al Valle de Guatiguará.

Este paisaje presenta varios tipos de relieve a saber:

- **Relieve de Crestas:**

En la parte baja y media hacia el límite norte, la cresta presenta un perfil de topografía convexo a ligeramente rectilíneo, una configuración alargada, masiva y con contornos ligeramente arqueados. En la parte alta, hacia el límite norte, el perfil de la topografía de la cresta es cóncavo, muestra configuración masiva y el trazado de los contornos es sinuoso a ligeramente arqueado. En el límite sur el relieve de crestas posee un perfil de topografía convexo, su configuración es alargada y masiva, los contornos varían desde ligeramente arqueados a arqueados.

- **Relieve de Lomas:**

Se presenta en la parte baja del paisaje de montaña, hacia el límite sur. Se caracteriza por tener un perfil de topografía plano-convexo, configuración estrecha, con un trazado de contornos de rectilíneo a ligeramente sinuoso.

- **Relieve de Colinas:**

Se presenta hacia la parte central, adyacente al río en su margen derecha. Posee un perfil de topografía convexo, su configuración es masiva y ocasionalmente masiva alargada, con un trazado de contornos arqueado a sinuoso. En la parte alta de este paisaje, que corresponde a la parte alta de la cuenca, presenta un perfil de topografía convexa a convexo-cóncava, con colinas masivas de contornos arqueados.

- **Relieve de Vigas:**

Se presenta en la parte media del paisaje montañoso, a ambos lados del Río lato. Las vigas de la margen izquierda en el sector de la Quebrada Faltriquera, hasta la parte media, muestran un perfil de topografía cóncavo, configuración ancha y contornos sinuosos.

B. PAISAJE DE VALLE ALUVIAL

Este se presenta en la parte media de la cuenca, que corresponde a la parte de menor pendiente. Tiene una forma de topografía que varía entre suavemente ondulada a fuertemente ondulada, posición relativa baja, con desnivelaciones del orden de 25 m. Este lo constituye principalmente relictos de conos, terrazas y un abanico.

C. PAISAJE DE ALTIPLANO

Esta representado por la ladera erosional de la Mesa de Ruitoque. La forma de la topografía es empinada disectada, también llamada colinada, este paisaje esta en una posición relativa media, con desnivelaciones del orden de 200 m, orientado hacia el noreste y conforma una vertiente recortando las capas.

Dentro de este paisaje se observan los siguientes relieves:

- **Relieve de Colinas:**

Domina a los relieves del valle aluvial y es vecino del relieve de lomas, presenta un perfil de topografía convexo, configuración masiva y el trazado de contornos es arqueado.

- **Relieve de Lomas:**

Domina a los relieves del valle aluvial y es vecino del relieve de colinas, muestra un perfil de topografía convexo, configuración ancha y el trazado de contornos es arqueado.

- **Cono de Deyección:**

A diferencia de los otros dos relieves, presenta una posición media baja, muestra un perfil de topografía plano-convexo, la configuración de este relieve es estrecha en el ápice y ancho en la base con contornos con contornos alargados y arqueados.

1.1.3 ASPECTOS MORFOCLIMATICOS

Se presentan dos unidades climáticas dentro de la microcuenca:

A. SELVA NUBLADA

Esta unidad equivale a las zonas denominadas por Holdridge como Bosque Muy Húmedo Montano a Bosque Húmedo Montano. Entre los 1500 y 3400 m, es relativamente fría pero de intensidad moderada, y alta pluviosidad. Como su nombre lo indica la neblina es muy frecuente y la humedad es alta y constante. “La selva de neblina, “selva nublada” es característica de este piso, donde su vegetación muy densa con un tapiz de musgos y de algas, frena y suprime la acción de la escorrentía”, Tricart et al, 1967.

El régimen pluvial acentuado presenta una disminución en los meses de diciembre, enero y febrero; la alta humedad del piso se manifiesta en la aparición de muchas epífitas. En la parte más alta de este piso a su vez comienzan a suceder fenómenos de precipitación horizontal.

El piso de Selva Nublada, húmeda, es esencialmente el dominio de los deslizamientos crónicos del terreno. La morfogénesis de este piso esta regida por las entalladuras de las corrientes de agua y por la acción de la soliflucción sobre las vertientes.

B. BOSQUE PREMONTANO

Corresponde a las zonas Bajas, las cuales son esencialmente más secas. Esta característica de menor humedad unida a las pendientes moderadas, provocan la desaparición total de la soliflucción para dar paso a la erosión por acción de la escorrentía difusa en casi toda el área, con muy pocos sectores donde pasa a cárcavas.

1.1.4 ACTIVIDADES Y USOS DEL SUELO

Las principales actividades humanas que se están desarrollando actualmente sobre la microcuenca son: explotación agrícola y pecuaria sobre el Valle de Guatiguará y parte media de la cuenca (veredas Granadillo y Faltriquera); explotación forestal de bosques naturales en la parte alta de la cuenca y actualmente expansión urbana sobre el Valle de Guatiguará. La cuenca además surte de agua para riego y consumo humano y animal a toda la población campesina asentada y otros entes como el Instituto Colombiano de Petróleo, Monasterios y casas de campo situadas en el Valle de Guatiguará.

Como especificación más profunda de lo tratado anteriormente, según el POT de Piedecuesta, se puede decir que el cauce principal de este río tiene un recorrido por suelos de diferentes características al igual que zonas de vida diferentes en donde se encuentran usos variados, 1108 has en bosque primario especialmente en las veredas La Nevera, Santa Rita, y Cristales, equivalentes al 30% de esta unidad; 237 has en bosque secundario localizadas en la Vereda La Palma, equivalente al 6% de la unidad; 118.8 has con cultivos como hortalizas, tomate, yuca y habichuela, equivalentes al 3% de la unidad localizados entre los 1400 msnm y los 1800 msnm en las veredas Faltriquera y La Mata; 324 has en cultivos semiperennes como arveja, maíz,

fríjol y mora, equivalentes al 8% de la unidad localizados entre los 1800 msnm y los 2000 msnm en las veredas La Mata y La Palma; 496 has con caña y pastos mejorados, equivalentes al 13% de la unidad, localizados en el Valle de Guatiguará, Barroblanco y Tablanca, 312.5 has se encuentran con pajonales erosionados, equivalente al 8% de la unidad, localizados en la parte baja entre la Mesa de Ruitoque y las veredas de Guatiguará, Monterredondo y Pajonal; 458 has de pastos naturales equivalentes al 12% de la unidad, se localizan principalmente en La Nevera, Mensuly, La Mata y Cristales; 211 has con pastos naturales mezclados con cultivos semiperennes, equivalentes al 5% de la unidad, principalmente en las veredas La Nevera, Santa Rita y Cristales; 396 has de pastos naturales con rastrojos altos y bajos dedicados a la ganadería extensiva, equivalente al 11% de la unidad, se localizan principalmente en La Mata, Faltriqueras y La Palma; 105 has reforestadas sobre los 2400 msnm en la Vereda Cristales, equivalente al 2.8% de la totalidad de la unidad; 157 has que incluyen la parte del casco urbano del municipio, zonas construidas como áreas con agroindustria, infraestructura, avícolas y se localizan principalmente desde los 1200 msnm hasta la desembocadura en el Río de Oro, equivale al 4.2% de la totalidad de la unidad. El resto del territorio tiene usos variados como pastos mezclados con cultivos perennes, pastos naturales erosionados, piña y rastrojos.

El deterioro ambiental producido por estas actividades se puede clasificar como erosión del suelo, contaminación del agua, disminución de la cantidad de agua y deterioro del paisaje.

1.1.5 AGUA

A. HIDROLOGIA

Esta microcuenca no cuenta con mediciones sistemáticas de caudales, solamente algunos aforos puntuales realizados por la CDMB y el ICP; por lo tanto, se cuentan con los datos de precipitaciones de las estaciones pluviométricas para generar caudales en la cuenca del río Lato.

La microcuenca cuenta, como valores estimativos, con un registro pluviométrico de veinte años, llevado en forma sistemática y continua por entidades como la CDMB, el HIMAT y el Acueducto de Bucaramanga, sobre la Subcuenca del Río de Oro a la cual pertenece (Caballero et al, 1995).

- **Servicio De Acueductos Veredales**

El sector rural del municipio de Piedecuesta presenta una condición generalizada de no tener sistemas de acueductos propiamente implantados, esto es con plantas de tratamiento, domiciliarias en tubería p.v.c. y con estructura tarifaria que permita el autosostenimiento del sistema. Existen unas captaciones de agua de las mismas fuentes que ofrece el sistema hídrico, conocidos como acueductos veredales, los cuales no tienen las condiciones salubres para la población por no tener planta de tratamiento para su potabilización. Los acueductos veredales Tablanca, La Mata Alta (actualmente fuera de funcionamiento) y La Mata Baja tienen como fuente de abastecimiento el Río Lato, llevando el servicio a 110 familias con un caudal de captación de 0.81, 0.65 y 0.98 lps respectivamente.

B. ANALISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA

Interpretando los informes de laboratorio correspondientes a los análisis Físico-Químicos y Bacteriológicos efectuados por los laboratorios de la Universidad Industrial de Santander y la Compañía de Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, el agua del Río Lato, presenta en sus características Físico-Químicas niveles de turbiedad, color, pH, alcalinidad y sólidos totales muy por encima de los valores mínimos permisibles dentro de las normas del Decreto 2105 del Ministerio de Salud, por lo tanto, para uso de estas aguas en consumo humano, se requiere tratamiento.

En todas las muestras analizadas por el laboratorio bacteriológico, se encontraron niveles altos de Coniformes Totales, por lo tanto requiere desinfección para su uso en consumo humano.

C. AGUAS SUBTERRANEAS

De acuerdo a estudios geomorfológicos, la cuenca presenta tres paisajes, de los cuales los paisajes montañosos y de valle don de relevancia en el análisis del sistema hidrogeológico.

El paisaje montañoso, presenta una litología correspondiente a rocas metamórficas e ígneas, de pendiente alta, cañadas angostas y profundas, desarrollo de suelos y localmente preservada, configura la zona de recarga del sistema hidrogeológico. El paisaje de valle, un deposito coluvio-aluvial compuesto de grandes cantos de roca desprendidos de la parte alta y embebidos en una matriz areno arcillosa y arcillo arenosa, constituye la zona de acumulación del recurso hídrico subterráneo que serán muy importantes en el futuro desarrollo de la región.

Los dos territorios tienen comportamiento hidrológico y climático diferente; especialmente en los aspectos de temperatura, humedad relativa, brillo solar, nubosidad, velocidad del viento, factores netamente influyentes en la evaporación, transpiración y por lo tanto en la evapotranspiración.

1.2. MARCO TEORICO

Colombia es reconocido internacionalmente como uno de los países con mayor riqueza en recursos hídricos del mundo, sin embargo la variabilidad de las condiciones hidroclimáticas, cuya consecuencia es la presencia de eventos extremos muy acentuados de déficit y excesos de agua, la distribución desigual del recurso, población y actividades económicas hacen que esta riqueza hídrica sea menos favorable en la medida en que se consideren exclusivamente las zonas donde se concentra la mayor parte de su población.

El IDEAM realizó el Estudio Nacional del Agua para la planificación y ordenamiento del recurso hídrico con base en las demandas y usos de los diferentes sectores usuarios tales como abastecimiento de la población, industria, agricultura, etc. Con base en la evaluación de los rendimientos hídricos de las 45 unidades hidrográficas del territorio nacional, la oferta hídrica total supera los dos mil kilómetros cúbicos al año correspondientes a 57.000 metros cúbicos anuales por habitante.

Nuestro país tiene la necesidad primaria de contar con información actualizada y cada vez más precisa sobre la distribución regional y local de su disponibilidad en recurso hídrico y de sus usos, esto a fin de clasificar y ordenar las zonas con mayores peligros de desabastecimiento, y así adelantar campañas de planificación y regulación del uso del recurso hídrico.

Para ello es necesario un estudio exhaustivo del comportamiento temporal de la cuenca en análisis a través de los datos proporcionados por las entidades encargadas de realizar la toma de estos, que después sirvan para poder realizar las acciones pertinentes encaminadas a caracterizar su comportamiento. En el análisis de las cuencas debemos manejar conceptos hidrológicos que nos permitan evaluar el rendimiento hídrico, demandas, usos, potencial o

déficit y cualquier parámetro mensurable que nos pueda servir para optimizar y planificar las acciones pertinentes del manejo de la cuenca.

1.2.1 CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico comprende una serie de procesos continuos e interdependientes, de movimiento y transferencia de agua en la tierra, el océano, cuerpos de agua y en la atmósfera. Por ser un ciclo, no tiene punto de partida, sin embargo para explicarlo, se puede comenzar por la evaporación que se produce en el océano, en lagos, embalses, y todo tipo de cuerpos de agua, y la evapotranspiración de las plantas, la cual es la combinación del agua que se pierde por evaporación en el suelo y transpiración en el material vegetal. Esta evaporación y evapotranspiración, son producidas por la energía suministrada por el sol e influenciadas por las condiciones climáticas e hídricas de temperatura, radiación, viento y humedad. De esta forma, el agua cambia de un estado líquido a un estado gaseoso.



FIGURA 2. Ciclo Hidrológico

El agua en forma de vapor pasa a la atmósfera, y en este ascenso, pierde calor y se produce el proceso de condensación alrededor de núcleos de condensación (los cuales pueden ser partículas de polvo que flotan en el aire), creando pequeñas gotas de agua.

Estas pequeñas gotas de agua, crean nubes, y en su circulación se van uniendo entre ellas, creando gotas más grandes, las cuales por su peso, se precipitan finalmente en forma de lluvia (nieve o granizo). Parte de la precipitación es interceptada por la vegetación, otra parte cae al suelo y dependiendo de las condiciones de cobertura del suelo, del tipo de suelo y de la pendiente del terreno, esta agua puede quedar encharcada, escurrir superficialmente o infiltrarse.

El agua que escurre superficialmente corre hacia los cuerpos de agua y finalmente al mar. Una parte del agua que se infiltra es retenida por el suelo, cuya capacidad de retención depende de su textura y estructura (porosidad); otra parte del agua infiltrada se convierte también en escorrentía superficial al ser saturada la capacidad de almacenamiento del suelo; otra parte se convierte en flujo subsuperficial, y por último otra parte percola, hacia capas inferiores produciendo la recarga de aguas subterráneas. El agua que se infiltra, viaja lentamente y llega a alimentar a ríos y manantiales, y finalmente al mar.

1.2.2 BALANCE HIDRICO

Un balance hídrico es la cuantificación tanto de los parámetros involucrados en el ciclo hidrológico, como de los consumos de agua de los diferentes sectores de usuarios, en un área determinada, cuenca, y la interrelación entre ellos, dando como resultado un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en cuanto a su oferta, disponibilidad y demanda en dicha área. Dado que el Balance Hídrico presenta un diagnóstico de las condiciones reales del recurso hídrico en un área en particular, permite tomar medidas y establecer lineamientos y estrategias para su protección y utilización de una manera integrada, de tal forma que se garantice su disponibilidad tanto en cantidad como en calidad.

Este a su vez es la interrelación de las diferentes variables que conforman la ecuación general, la cual constituye la base del modelo del ciclo hidrológico, a partir de la evaluación de precipitación, evapotranspiración potencial, temperatura, escorrentía superficial,

evapotranspiración real y Consumo Humano. Esta ecuación es también conocida como de continuidad y es la aplicación del principio de conservación de masa, en donde se establece que para cualquier volumen arbitrario y durante un determinado tiempo, la diferencia entre las entradas y las salidas está condicionada por la variación del volumen de agua almacenado.

Para un lugar y un período de tiempo determinados, el balance hídrico es la diferencia entre las aportaciones naturales de humedad (lluvias, nieve, rocío, condensaciones ocultas en el suelo), que representan el aspecto positivo, y el consumo de las plantas, representado por la evapotranspiración potencial.

A. MOVIMIENTO DEL BALANCE HÍDRICO A NIVEL ORGANIZACIONAL

En términos de preparación y desarrollo, la realización de un Balance Hídrico requiere de la elaboración de un inventario inicial de datos Hidrológicos e Hidrogeológicos existentes, más los datos auxiliares necesarios para su interpolación en todos los puntos del área a analizar, y posteriormente la integración de la información recolectada, para de este modo desarrollar técnicas de evaluación zonal del recurso hídrico y apoyar los planes nacionales o regionales a largo plazo para el desarrollo general del mismo, con fines de satisfacer las necesidades de agua presentes y futuras de la región en estudio.

Lo anterior se puede ver reflejado en el esquema de Evaluación del Recurso Hídrico, elaborado por LA UNESCO y LA ORGANIZACIÓN METEOROLOGICA MUNDIAL (OMM) en el **“MANUAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS CAPACIDADES NACIONALES, EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS”** (ver FIGURA 3).

Como planteamiento seguido para la implementación de programas totales de Balance Hídrico se debe tener en cuenta la extensión de redes e investigaciones más detalladas para cumplir con los requerimientos del desarrollo de proyectos de recursos hídricos y la provisión de datos e información requerida por la administración integrada de los recursos hídricos, dependiendo de la magnitud de la región en estudio y de la complejidad de las necesidades a suplir. Esto se debe a las características que definen a un país o región, entre las cuales las más determinantes son el factor climático y el factor geológico; en el primer caso se clasifican en clima árido, el cual se define como aquel en el que la precipitación media anual es inferior a la evaporación potencial media anual, y el clima húmedo que a la inversa presenta una evaporación potencial media anual inferior a la precipitación media anual. Por lo tanto es

evidente que las características hidrológicas de cada clima son diferentes. Con respecto al factor geológico también se puede encontrar gran variabilidad de una región a otra en la superficie de la misma, es decir, cuando existen depósitos sedimentarios superficiales importantes se puede esperar recursos importantes de agua subterránea, mientras que cuando esos depósitos no existen, la importancia de dichas reservas hídricas suele ser inferior.

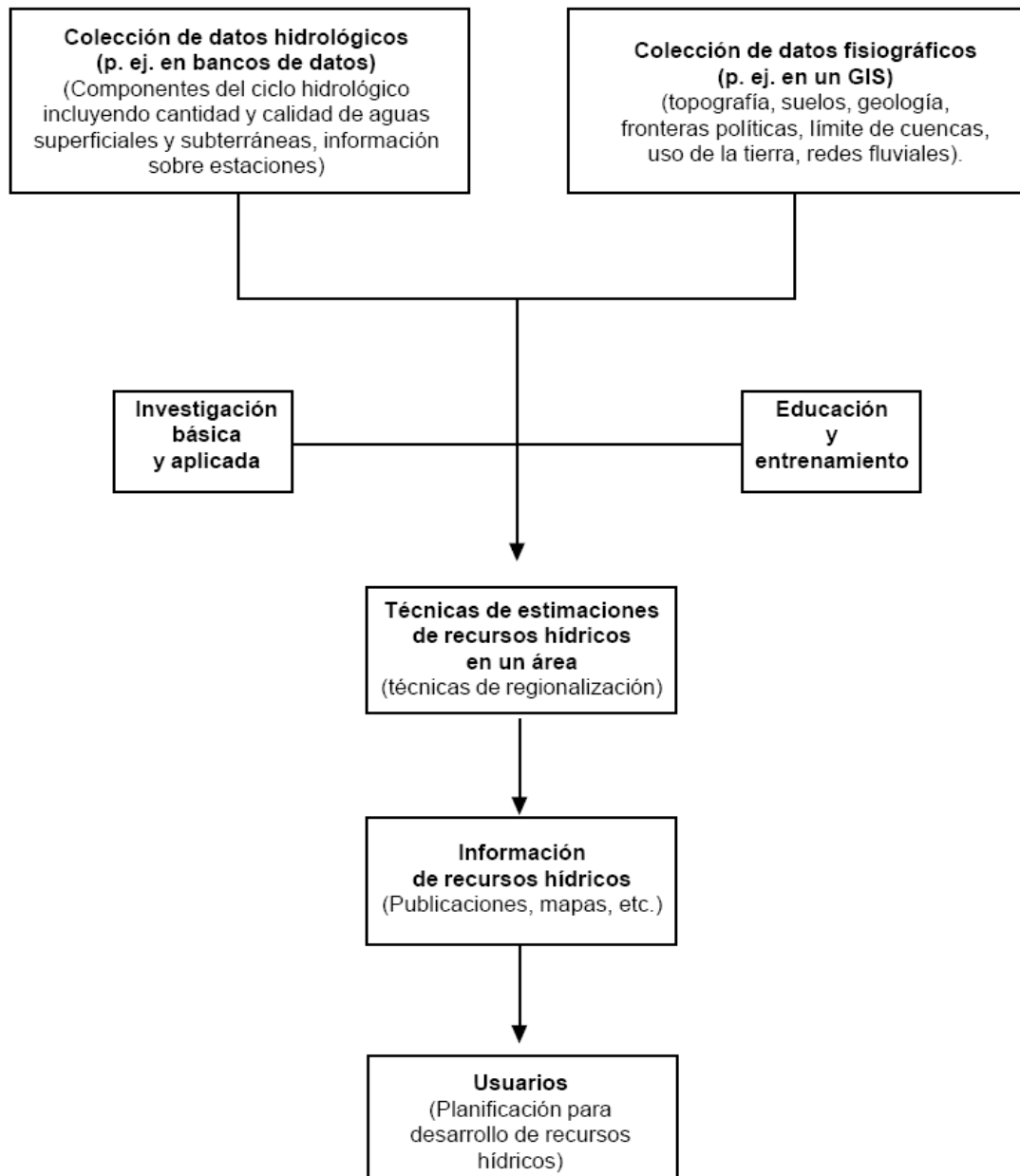


FIGURA 3. Componentes de un Programa de Evaluación Básica de los Recursos Hídricos.

Lo anterior se tiene en cuenta para el momento de definir el marco geográfico sobre el cual se va a llevar a cabo la evaluación. Según el “MANUAL PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS CAPACIDADES NACIONALES”, al establecer dicho marco han de tenerse en cuenta tres tipos de zonas:

- **La Primera** está limitada por la cuenca del río (o acuífero) es decir los límites de la zona drenada por el río (acuífero) en cuestión.
- **La segunda** es la región jurisdiccional, se trata de la región en la que el mismo gobierno o propietario de los recursos hídricos tiene autoridad sobre la utilización básica de los mismos.
- **La tercera** es la región económica, es decir la región en la que el movimiento de personas y de bienes no está limitado por barreras fiscales.

Todo el análisis del Balance hídrico gira alrededor de los datos con los que se cuenta, mostrando que el manejo adecuado de éstos genera resultados exactos del movimiento hídrico de la región. Para esto se necesitan datos sobre la variación temporal y espacial de los flujos del ciclo hidrológico, los cuales pueden separarse en tres grandes grupos:

- **Datos históricos** son los que se concentran para obtener la serie espacio-temporal sobre los elementos del ciclo hidrológico para determinarlos a largo plazo.
- **Datos en tiempo real** son los que se transmiten tal como se han registrado a los centros de concentración, proceso y difusión de datos para controlar y predecir los fenómenos relacionados con el agua para diversos fines prácticos.
- **Datos de relevamientos especiales** son datos concentrados instantáneamente, o durante cortos períodos en determinadas zonas en el marco de estudios referentes a fenómenos raros o de estudios especiales o con objeto de realizar un examen preliminar, por ejemplo, antes de instalar las estaciones permanentes o para interpolar datos.

Además se debe disponer de datos sobre los cambios introducidos por el hombre en la variación espacio-tiempo de dichos componentes, y de los datos fisiográficos que son los relacionados indirectamente con los recursos hídricos los cuales deberían utilizarse junto con los datos hidrometeorológicos. Estos tratan principalmente de la topografía, de la geología, (incluida la geomorfología), la pedología, la utilización de la tierra y la capa vegetal.

Se puede considerar que todos los datos antes mencionados son invariables en el tiempo, excepto los datos sobre la utilización de la tierra y la capa vegetal, cuya variación temporal afecta directamente la variación temporal de la escorrentía y de otros elementos del ciclo hidrológico conexos. Además, para predecir los cambios temporales de las características de los recursos hídricos es necesario disponer de los datos sobre los proyectos de uso de agua (existentes o que se están realizando).

Concentrando de forma completa todos los datos anteriores, se adecuan según el tamaño del proyecto de Balance o Evaluación que se va a realizar, este puede ir desde un sistema sencillo de pozo que extrae una pequeña cantidad de agua subterránea, hasta grandes proyectos de almacenamiento, de extracción y de desviación que pueden cambiar completamente el régimen hidrológico de los ríos más grandes de la región en cuestión.

B. CARACTERIZACIÓN HIDROLOGICA DEL BALANCE HÍDRICO

Dos de los principios básicos de la física, la conservación de la masa y la conservación de la energía se aplican para medir y entender el flujo de agua a través del ciclo hidrológico. El principal de éstos, la ecuación de la conservación de la masa, es en efecto el Balance Hídrico.

Por ejemplo, una forma de esta ecuación: $Q=AV$ a menudo sirve de base para la determinación del caudal en un arroyo o canal. En esta ecuación, Q es la cantidad instantánea de flujo a través de una sección transversal de canal con el área, A , y la velocidad promedio de flujo, V . Tradicionalmente, la cantidad de flujo, también conocida como caudal, no podía ser medida directamente en arroyos aún de modestas dimensiones. Por otro lado, el área de la sección transversal puede ser determinada midiendo sus dimensiones espaciales, y las velocidades pueden ser medidas con el uso de molinetes hidrométricos. De esta manera, el uso de la ecuación permitió el cálculo del caudal aún para los mayores ríos en el mundo.

Otro ejemplo del rol de la ecuación de conservación de masa puede encontrarse en la observación de la evaporación del agua de una superficie de un lago. En este ejemplo, la ecuación toma la forma: $P+I-O-E=\Delta S$, donde P es la cantidad de precipitación que cae sobre la superficie del lago durante un período de observación, I es el caudal afluente de agua superficial y subterránea durante el período, O es el caudal efluente de agua superficial y

subterránea, E es la cantidad de agua evaporada desde la superficie del lago durante el período, y ΔS es el cambio de volumen de agua en el lago durante el período.

Como análisis detallado del Balance Hídrico y para conocer la aplicación de éste en una Cuenca es necesario entender su manejo hidrológicamente hablando, es por esto que debemos diferenciar y conocer sus distintas categorías:

- **Cuenca Hidrográfica**, es la definida por la topografía, fácilmente delimitable sobre un mapa topográfico, referida directamente a la Escorrentía Superficial.
- **Cuenca hidrogeológica o hidrológica**, es un concepto que engloba también a las aguas subterráneas. Una cuenca hidrográfica constituirá también una cuenca hidrogeológica cuando no existan trasvases apreciables de aguas subterráneas de una cuenca a otra, es decir, que podamos considerar que las divisorias topográficas que dividen a la escorrentía superficial constituyen también divisorias de la escorrentía subterránea entre cuencas adyacentes. Esto se cumple en general para cuencas grandes de más de 1000 o 2000 km². Para cuencas pequeñas habría que considerar la hidrogeología de la zona con cuidado.

Actualmente es de mayor manejo establecer el balance hídrico de forma mensual como análisis más específico teniendo en cuenta varios hechos: Una parte de la precipitación puede ser interceptada por la vegetación y evaporarse desde el follaje sin llegar al suelo; otra parte no penetra en el suelo, sino que va a los cursos de agua (escorrentía superficial).

De la parte que llega al suelo y penetra en él, una fracción quedará retenida por las partículas del suelo (agua microscópica y agua capilar), y el exceso que supere su capacidad de retención pasará a horizontes profundos en forma de agua de percolación (agua gravitacional).

La porción de agua que se evapotranspira, es independiente del tipo de vegetación que ocupa el suelo, siendo hasta cierto punto constante, y no depende más que de los factores climáticos. Así pues, existe una compensación entre los fenómenos de evaporación y transpiración, de forma que cuando el suelo esté poblado por una vegetación muy desarrollada, con gran superficie transpirante, la evaporación es mínima, mientras que en suelos con vegetación rala tiene escasa transpiración, pero la evaporación es mayor.

B.1 BALANCE HÍDRICO A LARGO PLAZO:

Dos de los principios básicos de la física, la conservación de la masa y la conservación de la energía se aplican para medir y entender el flujo de agua a través del ciclo hidrológico. El principal de éstos, la ecuación de la conservación de la masa, es en efecto el Balance Hídrico a largo plazo. La ecuación se expresa de la siguiente forma:

$$\text{ENTRADAS} = \text{SALIDAS} + \Delta \text{ALMACENAMIENTO} \quad (1.1)$$

Este balance a largo plazo se determina para volúmenes de control en columnas de atmósfera, suelo y la unión entre ellas.

La FIGURA 4 muestra el volumen de control utilizado, en donde los límites horizontales son la divisoria de aguas de la microcuenca en estudio, prolongándose líneas infinitas verticalmente hacia arriba y hacia abajo. El borde inferior correspondiente a la columna del suelo es un estrato impermeable y el borde superior de la columna atmosférica es su tapa.

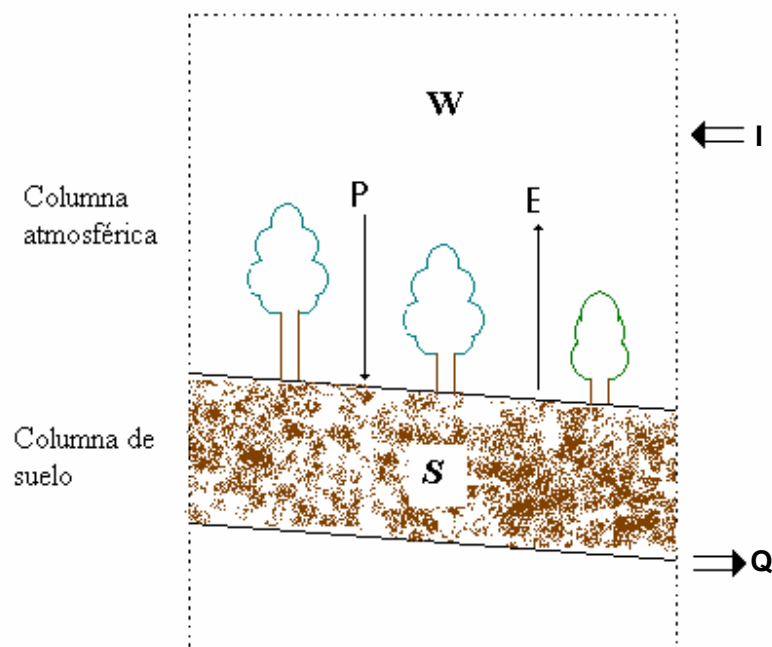


FIGURA 4. Conservación de la masa de agua en la columna del sistema suelo-atmósfera

Del sistema suelo-atmósfera se puede determinar el balance de agua de la atmósfera que involucra la acción de la precipitación (P), la evapotranspiración, el flujo neto de humedad en la atmósfera (I) y el almacenamiento del agua en la atmósfera o agua precipitable (W) en unidades de longitud (volumen por unidad de área), dado por la siguiente ecuación:

$$I + E - P = \frac{dW}{dt} \quad (1.2)$$

El balance de agua del suelo también se puede determinar del sistema anterior, involucrando los parámetros anteriores, con la diferencia de la acción del almacenamiento del agua en el suelo (S) en unidades de longitud y el flujo de agua hacia fuera de la columna del suelo (Q) constituido por la escorrentía superficial y/o subterránea. Este balance está dado por la ecuación:

$$P - E - Q = \frac{dS}{dt} \quad (1.3)$$

Combinando las ecuaciones anteriores se obtiene el balance hídrico del volumen de control de la FIGURA 4:

$$I - Q = \frac{d(W + S)}{dt} \quad (1.4)$$

Para la aplicación del balance en la Microcuenca del Río Lato se asumió un almacenamiento de agua permanente, es decir que los cambios en las cantidades almacenadas W y S son despreciables, determinándose finalmente que el promedio a largo plazo del influjo atmosférico neto (I) debe ser igual al promedio de largo plazo de la escorrentía neta (Q).

$$Q = I \quad (1.5)$$

A la vez ambos son iguales a la diferencia entre los respectivos promedios de precipitación y evapotranspiración, quedando definida la ecuación para el sistema suelo-atmósfera de la siguiente forma:

$$Q = P - E \quad (1.6)$$

En el análisis anterior las ecuaciones (1.3) a (1.4) son exactas, es decir, no hay en ellas ninguna aproximación. La ecuación (1.6) es una aproximación que supone que el cambio en la cantidad almacenada en el suelo (o en la atmósfera) en el largo plazo es despreciable respecto a los demás términos. Esta aproximación es muy buena para el cálculo de los promedios de largo plazo. La suposición adicional que se hace en este estudio es la identificación de Q con la escorrentía superficial. La imposibilidad de observar, medir o estimar la componente subterránea justifica esta segunda aproximación. En algunas zonas esta suposición puede llevar a errores considerables. Sin embargo, por motivos prácticos, para el cálculo de los promedios de largo plazo se asume la ecuación (1.6) como la base del estudio. Es decir, la suma de la escorrentía y la evaporación debe ser igual a la precipitación. La ecuación (1.6) se usa de manera directa como herramienta para estimar la escorrentía (incluye la superficial y la subterránea). Esto requiere entonces la estimación de la lluvia y la evaporación. La precipitación es una variable más o menos bien medida y que se puede estimar aceptablemente. La evaporación es una variable no observable directamente y de difícil estimación. Sin embargo la posibilidad de medir la escorrentía (caudal) en algunas cuencas permite validar los métodos de estimación de la evaporación despejándola en la ecuación (1.6).

Adicionalmente como un componente de vital importancia en el movimiento del recurso hídrico en una cuenca, se incluye el factor antrópico como elemento de salida, reflejado en el consumo humano (A), quedando modificada la ecuación (1.6) de la siguiente forma:

$$Q = P - E - A \quad (1.7)$$

Donde A se determina de la siguiente forma:

$$A = I_s + I_g - D \quad (1.8)$$

I_s = Concesiones (Captación Superficial)

I_g = Captación Subterránea

D = Retorno

Estos procesos requieren de un estudio propio para su cálculo, basado en el análisis de una serie de datos tomados en estaciones, ubicadas en ciertos puntos del área de la microcuenca, y por entidades encargadas de la recolección de información hidrológica. Por tal motivo es de vital importancia conocer e identificar los conceptos de cada tópico para el manejo adecuado de su determinación.

2. LLENADO DE DATOS Y MODELAMIENTO DE LAS VARIABLES

2.1. SIERIES DE TIEMPO

Manejar series de datos históricos y aplicarles un análisis estadístico para estudiar su comportamiento es una herramienta que para la hidrología resulta imprescindible y de gran ayuda, tratar de entenderlos y representar los fenómenos que están ocurriendo históricamente es una buena forma de estudiar y mantener un inventario de los recursos hídricos de cualquier lugar; derivando ello en la toma de decisiones a futuro que podrían mejorar las condiciones de estos. Estas series de tiempo están consideradas como una secuencia de valores observados para una variable organizada en una estructura de tiempo con intervalos ya sean variables o constantes. Estas variables dependen del tiempo, se organizan secuencialmente o mediante una marca de tiempo que significa que están referenciados a un horario y fecha exacta.

Las series pueden ser descritas en diferentes periodos de tiempo ya sean segundos, minutos, horas, días, meses, años, etc. De acuerdo con la resolución (escala de tiempo) que estas poseen, a mayor resolución se evidenciarán en más detalle las características estocásticas o determinísticas que dan origen al comportamiento general de las series. De la misma manera, a menor resolución las series también pueden mostrar estos comportamientos, inclusive aquellos que se hacían imperceptibles a mayor resolución, dando origen a una nueva serie de datos con características distintas a la original; por tal motivo, sería erróneo pretender comparar series hidrológicas de una misma variable con diferentes resoluciones para encontrar en ellas alguna similitud. El análisis de la serie de tiempo se relaciona de varias maneras con el intervalo seleccionado del tiempo. Dependiendo del propósito del análisis, el intervalo de tiempo de las variables se debe elegir con precaución. (Guzmán et al, 2005).

En el presente capítulo se expone el procedimiento seguido para el tratamiento de las variables necesarias en el cálculo de la Evapotranspiración. La información manejada fue proporcionada por la Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB que ha sido la entidad encargada, por medio de su red de estaciones, de recolectarlos a través de los

periodos Enero del año 2001 a Diciembre del Año 2005 con una escala de resolución temporal horaria.

TABLA 2. Red de Estaciones Meteorológicas de la C.D.M.B utilizadas para realizar el Balance Hídrico en la Microcuenca del Río Lato.

	NOMBRE ESTACION	LATITUD (NORTE)	LONGITUD (SUR)	ELEVACION (MSNM)	COORDENADAS	
					X	Y
CDMB	CENTRO	07°07'	73°07'	980	1105857	1279070
	CHIMITA	07°05'	73°11'	686	1100617	1276796
	PTAR	07°04'	73°08'	750	1104803	1273129
	UIS	07°08'	73°07'	1018	1105545	1281485

Fuente: Autores.

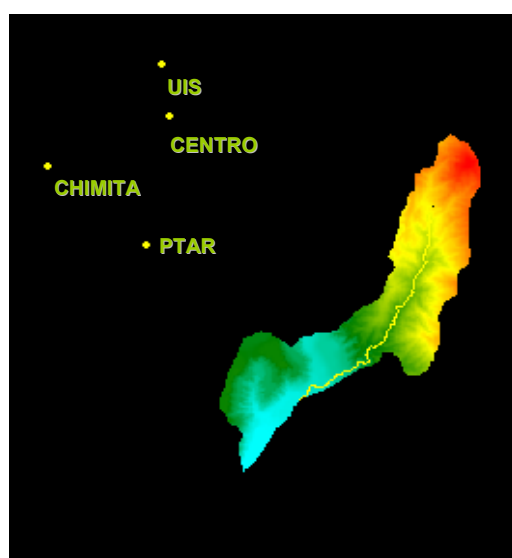


FIGURA 5. Ubicación de las Estaciones respecto a la Microcuenca.

Es evidente que las estaciones no se encuentran dentro de los límites que comprenden la microcuenca, esto se puede explicar desde el punto de vista de la información dado que no se tienen estaciones climatológicas de alta confiabilidad y registro temporal horario que se pudieran haber adicionado al estudio para simular un mejor comportamiento. En lo posible cuando se quiere obtener una confiabilidad alta del estudio, los datos que debemos tener para las estaciones que trabajamos y las variables necesarias para el calculo de la Evapotranspiración deben poseer imperiosamente registros completos, esto con el fin de manipular y mantener la originalidad de los datos puros que idealmente se debería tener para representar el comportamiento de los fenómenos hidrológicos de la cuenca.

En las TABLAS 3, 4, 5 Y 6 se presenta un resumen de las características originales de la información, es decir los datos puros proporcionados

TABLA 3. Estación de Medición CENTRO, porcentaje de datos faltantes para las variables utilizadas en estimar la ETR.

AÑO	DATO	TEMP (°C)	PRECIP (mm)	HUMR (%)	SOLAR (W/m2)	PRESION (mmHg)	VEL VIENTO (m/s)	DIR VIENTO (Grados)
2001	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	161	146	161	163	161	161	161
	% FALTANTES	1.84	1.67	1.84	1.86	1.84	1.84	1.84
	MAX	28.1	486.4	100.06	1229	674.72	5.33	359
	MIN	-2	0	40.93	0	662.72	0	0
2002	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	17	0	10	9	9	14	14
	% FALTANTES	0.19	0.00	0.11	0.10	0.10	0.16	0.16
	MAX	28.8	32737.5	100.1	2277	667.77	5.5	391
	MIN	-41.7	0	10.6	-170	659.21	0	0
2003	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	175	243	185	581	155	159	159
	% FALTANTES	2.00	2.77	2.11	6.63	1.77	1.82	1.82
	MAX	28.2	63.57	671.1	29437	681.88	5.3	359
	MIN	-127.3	0	-26.7	55415	0	0	0
2004	OBSERVADOS	8784	8784	8784	8784	8784	8784	8784
	FALTANTES	215	191	215	215	215	215	215
	% FALTANTES	2.45	2.17	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
	MAX	28.9	68	100.1	1191	665.02	4.88	359
	MIN	15.6	0	46.1	0	663.42	0	0
2005	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	19	58	18	90	1374	18	18
	% FALTANTES	0.22	0.66	0.21	1.03	15.68	0.21	0.21
	MAX	29.4	47.5	100	1255	665.59	4.96	359
	MIN	16.1	0	45.8	0	663.4	0	0

TABLA 4. Estación de Medición CHIMITA, porcentaje de datos faltantes para las variables utilizadas en estimar la ETR.

AÑO	DATO	TEMP (°C)	PRECIP (mm)	HUMR (%)	SOLAR (W/m2)	PRESION (mmHg)	VEL VIENTO (m/s)	DIR VIENTO (Grados)
2001	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	139	121	139	385	802	1282	1282
	% FALTANTES	1.59	1.38	1.59	4.39	9.16	14.63	14.63
	MAX	34.1	6716.2	105.2	1272	710.35	7.41	359
	MIN	10.1	0	33.6	-267	597.99	0	0
2002	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	68	0	69	2	3	104	105
	% FALTANTES	0.78	0.00	0.79	0.02	0.03	1.19	1.20
	MAX	34.5	2937.6	1014	1365	703.77	62	360
	MIN	0	0	21.4	-1	0.9	0	0
2003	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	165	162	165	165	165	165	165
	% FALTANTES	1.88	1.85	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88
	MAX	34.5	53.1	104	1317	704.67	3.8	359
	MIN	19.5	0	33.3	0	695.27	0	0
2004	OBSERVADOS	8784	8784	8784	8784	8784	8784	8784
	FALTANTES	21	16	27	24	189	25	25
	% FALTANTES	0.24	0.18	0.31	0.27	2.15	0.28	0.28
	MAX	34.5	27.4	100	1254	705.69	4.15	359
	MIN	18.3	0	36.8	0	696.51	0	0
2005	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	89	83	92	84	83	188	188
	% FALTANTES	1.02	0.95	1.05	0.96	0.95	2.15	2.15
	MAX	36.3	60.7	100	1173	705.79	4.46	359
	MIN	19	0	38.4	0	696.31	0	0

TABLA 5. Estación de Medición UIS, porcentaje de datos faltantes para las variables utilizadas en estimar la ETR.

AÑO	DATO	TEMP (°C)	PRECIP (mm)	HUMR (%)	SOLAR (W/m2)	PRESION (mmHg)	VEL VIENTO (m/s)	DIR VIENTO (Grados)
2001	PARA ESTE AÑO NO EXISTE REGISTRO DE ESTA ESTACION							
2002	OBSERVADOS	8016	8016	8016	8016	8016	8016	8016
	FALTANTES	809	797	809	807	828	830	830
	% FALTANTES	10.09	9.94	10.09	10.07	10.33	10.35	10.35
	MAX	30.5	3166.6	114.3	1200	681.58	5.4	359
	MIN	15.2	0	35.8	0	592.69	0	0
2003	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	68	52	68	68	68	68	68
	% FALTANTES	0.78	0.59	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78
	MAX	30.6	130.6	112.5	1182	682.62	4.5	359
	MIN	17.8	0	24.3	0	673.82	0	0
2004	OBSERVADOS	8784	8784	8784	8784	8784	8784	8784
	FALTANTES	467	460	480	467	485	4499	4499
	% FALTANTES	5.32	5.24	5.46	5.32	5.52	51.22	51.22
	MAX	30.1	32.1	100	1207	682.33	4	359
	MIN	17.4	0	30	0	673.82	0	0
2005	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	1066	980	1065	1065	1066	1066	1065
	% FALTANTES	12.17	11.19	12.16	12.16	12.17	12.17	12.16
	MAX	30.3	48.9	94.6	1185	684.19	5.57	359
	MIN	18	0	31.3	0	675.06	0	0

TABLA 6. Estación de Medición PTAR, porcentaje de datos faltantes para las variables utilizadas en estimar la ETR.

AÑO	DATO	TEMP (°C)	PRECIP (mm)	HUMR (%)	SOLAR (W/m2)	PRESION (mmHg)	VEL VIENTO (m/s)	DIR VIENTO (Grados)
2001	PARA ESTE AÑO NO EXISTE REGISTRO DE ESTA ESTACION							
2002	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	2458	1343	1612	5073	1349	1354	3044
	% FALTANTES	28.06	15.33	18.40	57.91	15.40	15.46	34.75
	MAX	51.3	52428.8	128.4	130070	682.5	4.6	424
	MIN	-53.5	0	-33.9	-1220	642.92	0	0
2003	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	229	225	229	229	229	229	229
	% FALTANTES	2.61	2.57	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61
	MAX	33.8	3266	1101	4131	681.97	18.3	359
	MIN	10.8	0	0	0	665.71	0	0
2004	OBSERVADOS	8784	8784	8784	8784	8784	8784	8784
	FALTANTES	135	179	6432	136	148	135	135
	% FALTANTES	1.54	2.04	73.22	1.55	1.68	1.54	1.54
	MAX	33.5	34.8	100	998	683.96	4.5	358
	MIN	15.3	0	30.2	0	676.17	0	0
2005	OBSERVADOS	8760	8760	8760	8760	8760	8760	8760
	FALTANTES	3333	2915	3672	2952	3000	3002	3033
	% FALTANTES	38.05	33.28	41.92	33.70	34.25	34.27	34.62
	MAX	31	52.8	94.6	999	683.91	3.68	359
	MIN	15.3	0	30.3	0	676.01	0	0

Como se puede observar en los cuadros de resumen, la calidad de la información no es la mejor, si bien en algunos años la cantidad de datos faltantes es baja con respecto a los datos recogidos, en otros, la cantidad de datos faltantes es muy alta como para considerar una población representativa de la variable. Se presentan inconsistencias apreciables en cuanto a los valores de los datos recolectados como valores muy por encima de los normales para las variables y en algunos datos variables negativos que no pueden existir para estas variables; por esto se dieron tratamientos estadísticos preliminares así como también un filtrado que puedan mejorar o predecir de una manera mas acertada el comportamiento de las series puras en correlación con las otras y que representen la tendencia característica de estas.

2.2. ANALISIS PRELIMINAR DE LAS SERIES HISTORICAS

Para el análisis preliminar de datos se utilizo primero la diagramación de estos por medio del programa Spell-Stat, del cual por verificación se observó como primer parámetro la no-homogeneidad e inconsistencia de los datos, propiedades que están relacionadas con la no estacionalidad de los datos sin ningún tipo de tratamiento por la parte responsable de la recolección.

Las series Hidrológicas tienen como características dos parámetros primordiales: El Componente Determinístico y el componente Estocástico. El primero de estos se reconoce por la presencia de tendencia y periodicidad de los datos (variaciones estacionales y cíclicas). La tendencia es causada por inconsistencias o presencia de no-homogeneidad en la serie. En cuanto a esto ultimo, se refiere a cuando la serie presenta un comportamiento no uniforme de ellos, como saltos en la media y cambios en la varianza, por otro lado cuando se presentan inconsistencias estas se pueden relacionar con la cantidad de errores sistemáticos durante el registro de los datos en los periodos o en el periodo de análisis (Hall, 2002), los cuales son los inducidos por el hombre o los relacionados por el aparato de medición, errores por cambio de localización o calibración del mismo. Los cambios climáticos y usos del suelo también pueden causar no-homogeneidad.

En cuanto a la periodicidad esta es causada esencialmente por los ciclos astronómicos, estos ciclos principales son el día (rotación de la Tierra alrededor de su propio eje), el año (rotación de

la Tierra alrededor del Sol) y el mes (rotación de la Luna alrededor de la Tierra). (García y Otero, 2005).

El componente estocástico incluye variaciones aleatorias y residuales del ciclo hidrológico debido a que este depende de otros sistemas (atmósfera, biosfera y litosfera). La aleatoriedad depende de procesos que se generan por el medio ambiente terrestre como turbulencia, vorticidad a gran escala, conversión de calor, opacidad atmosféricas para las ondas radiativas incidentes y emitidas, etc. (Salas, 1980)

Se debe observar la totalidad de la serie antes del llenado, con los datos originales proporcionados para poder determinar comportamientos anormales o inconsistentes, datos faltantes, tendencias y de ahí pasar a realizar el “screening of the data” que consiste en, como su nombre lo indica, un tratamiento preliminar de lo datos, donde se puede detectar por inspección la no-homogeneidad de los datos e inconsistencias que se presenten. Esto es de gran importancia para la confiabilidad de la investigación, que si bien al modificar los datos ésta se va reduciendo, no se puede dejar de efectuar un tratamiento preliminar de limpieza y filtrado de la información suministrada.

Las características a continuación mencionadas son las principales para las series de datos estacionarias las cuales se definen por un equilibrio de sus propiedades estadísticas. De las variables proporcionadas por la CDMB, se encontraron inconsistencias y problemas en casi todas, en donde los principales problemas para estas series pudieron ser:

- Cambio de aparato en algunos periodos de tiempo.
- Datos faltantes por falta de registro del operario.
- Calibración del aparato.
- Marca del aparato.

En cuanto a la calidad de la recolección de la información se busco mediante la CDMB registros para encontrar anomalías en el proceso de reducción pero lo único que se nos proporciono, fue unos documentos utilizados a manera de bitácora en el cual no se encuentran las anomalías presentadas en las series de tiempo. Se dará una breve explicación para cada estación y

variable que presente problemas y en lo posible el motivo de origen. Cabe anotar que por extensión solo se muestran algunas variables, en algunos años y a su vez en algunas estaciones, no se muestra la totalidad de ellas.

2.2.1 ESTACION CENTRO:

Para la Estación Centro se tomaron datos dentro de los periodos comprendidos entre Enero de 2001 a Diciembre de 2005 para un total de 5 años de metadatos a una escala temporal horaria.

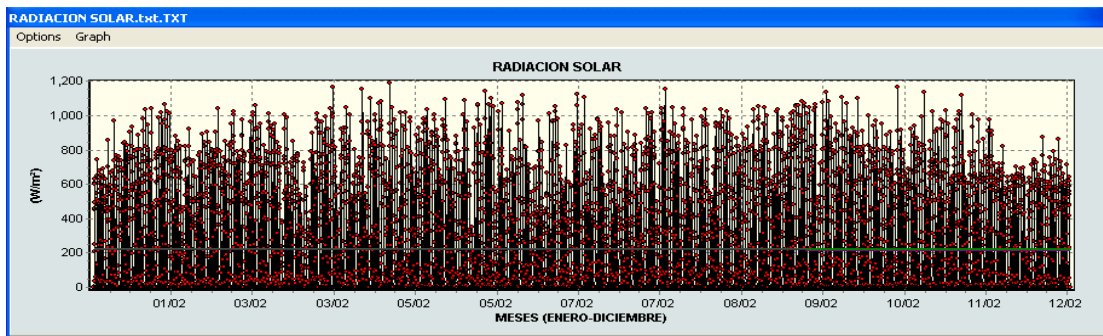


FIGURA 6. Radiación Solar Año 2002 Datos Puros

La FIGURA 6 presenta una serie donde no se observan anomalías, presenta normalidad en su estacionalidad y ciclicidad.

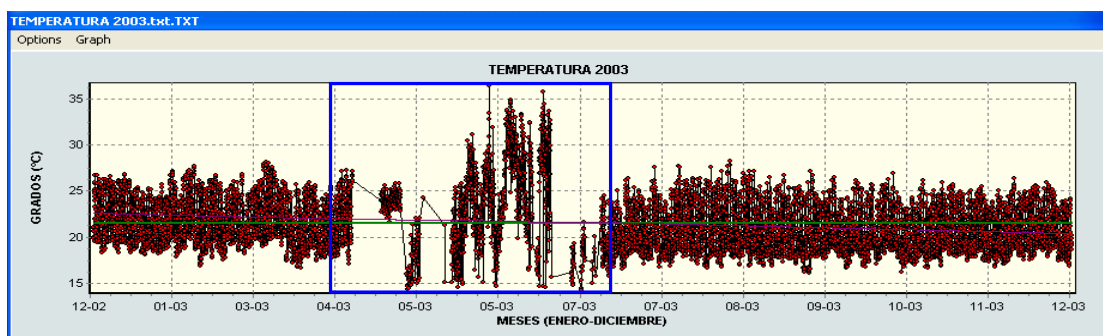


FIGURA 7. Temperatura Año 2003 Datos Puros.

Se observa de la FIGURA 7 en el periodo comprendido entre los meses de Abril a Julio un comportamiento anormal de la serie, representado en cambio de varianza y tendencia, valores extremos no propios de la zona y algunos periodos de datos faltantes.

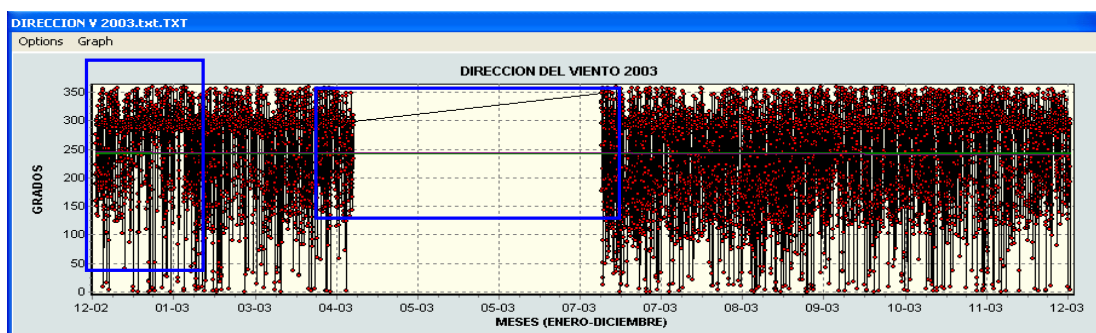


FIGURA 8. Dirección del Viento Año 2003 Datos Puros

En la FIGURA 8 se puede observar al comienzo del periodo entre los meses de Enero y Febrero un cambio de tendencia representando en su varianza, en el periodo comprendido entre los meses de Abril a Julio se presentan datos faltantes representados por la línea oblicua, esta anotación será válida para todas las series de las estaciones; a parte de esto la serie se muestra normal sin presentar ninguna tendencia.

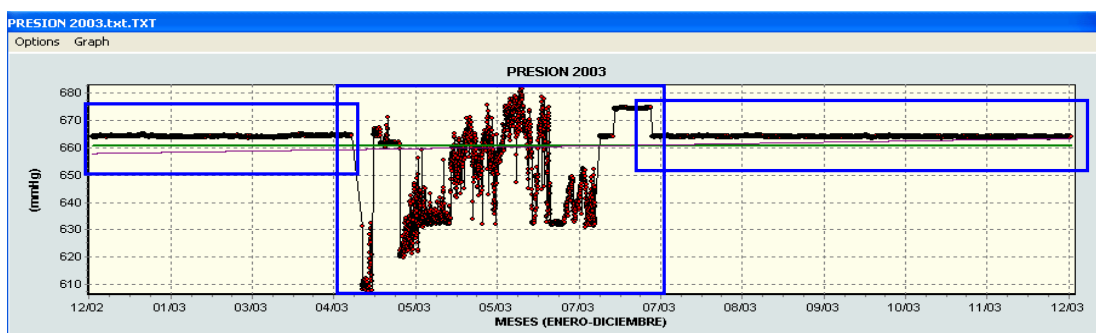


FIGURA 9. Presión Año 2003 Datos Puros

En la FIGURA 9 se aprecian tres periodos claramente definidos, el periodo medio comprendido entre los meses de Abril y Julio, se observa sin tendencia definida con cambios de varianza, con un comportamiento anormal, sin ninguna estacionalidad, ni ciclicidad. En cuanto a los otros dos periodos comprendidos entre los meses de Enero a Abril y de Agosto a Diciembre aparentemente tienen un comportamiento normal con una leve tendencia creciente, la apreciación de estos periodos no se puede hacer de forma correcta debida a la escala que le proporciona el periodo medio de la serie.

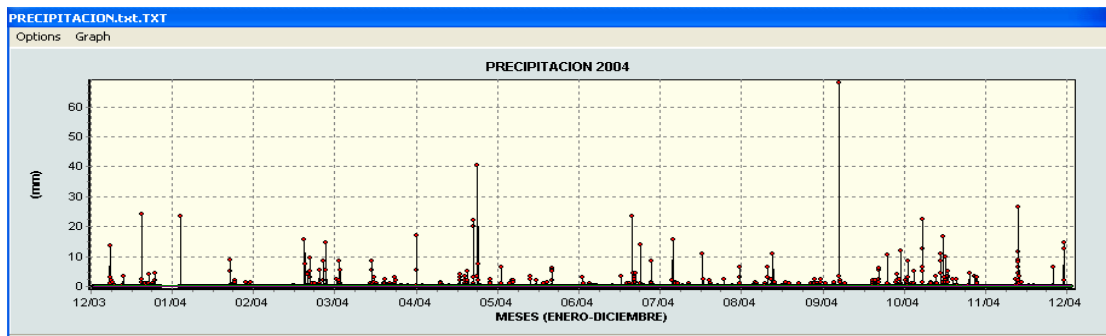


FIGURA 10. Precipitación Año 2004 Datos Puros

La FIGURA 10 presenta una serie donde no se observa ninguna anomalía, con periodicidad en los datos.

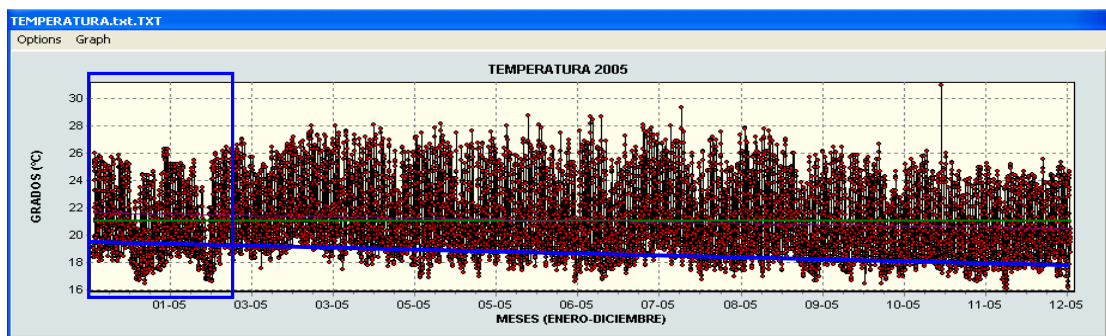


FIGURA 11. Temperatura Año 2005 Datos Puros

La serie de la FIGURA 11 presenta una tendencia decreciente representada por la línea azul, al igual que una diferencia de tendencia al comienzo del periodo entre los meses Enero a Marzo; a parte de esto la serie se ve normal y necesitará solo unos ajustes de media, procedimiento desarrollado mas adelante.

2.2.2 ESTACION CHIMITA:

Para la Estación CHIMITA se tomaron datos dentro de los periodos comprendidos entre Enero de 2001 a Diciembre de 2005 para un total de 5 años de metadatos a una escala temporal horaria.

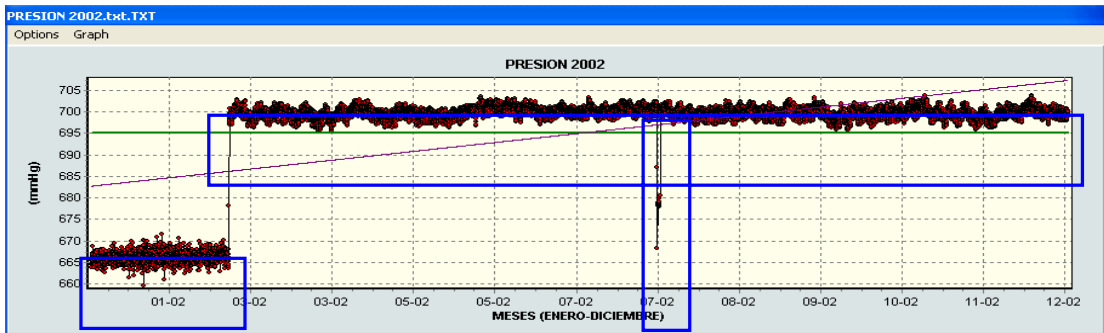


FIGURA 12. Presión Año 2002 Datos Puros

En la FIGURA 12 se observan dos periodos visiblemente determinados por no tener un normal comportamiento dentro de la misma serie. Se inicia con el periodo comprendido entre los meses Enero a Febrero el cual presenta una tendencia normal dentro de este periodo, pero que si tomamos en cuenta el total de la serie de tiempo existe otro periodo comprendido entre los meses de Marzo a Diciembre que presenta una tendencia igualmente normal pero que se mantiene en un periodo mas largo que el comienzo. Se puede decir entonces existen dos periodos con medias diferentes. Observamos también unos datos anormales a la varianza que llevaba la serie para el segundo periodo.

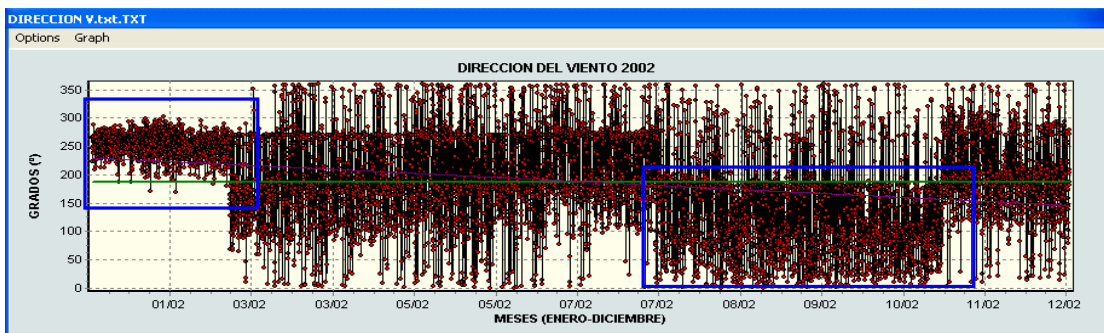


FIGURA 13. Dirección del Viento Año 2002 Datos Puros.

La serie de la FIGURA 13 presenta dos periodos en los cuales hubo un cambio fuerte en la tendencia de la serie. En el primer periodo comprendido entre los meses de Enero a Febrero se muestra una población con una media muy por encima de la presentada por la serie total de datos puros, en el segundo periodo con problemas comprendido entre los meses de Agosto a Noviembre podemos observar un cambio de varianza con respecto a la que traía la serie y donde la población cae por debajo de la media de todo el periodo.

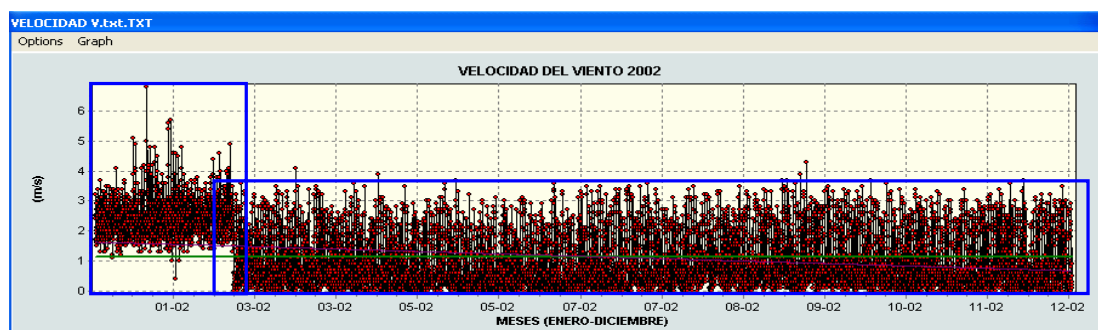


FIGURA 14. Velocidad del Viento Año 2002 Datos Puros.

La serie de la FIGURA 14 presenta en el periodo entre los meses de Enero a Febrero una media diferente, a la que estadísticamente se tiene para el segundo periodo de la serie comprendido entre los meses de Marzo a Diciembre. En general, exceptuando el fenómeno en el comienzo de la serie que se tratará adelante, se observa un comportamiento normal con periodicidad y ciclicidad, teniendo en cuenta esto para el segundo periodo que es el más representativo de la serie.

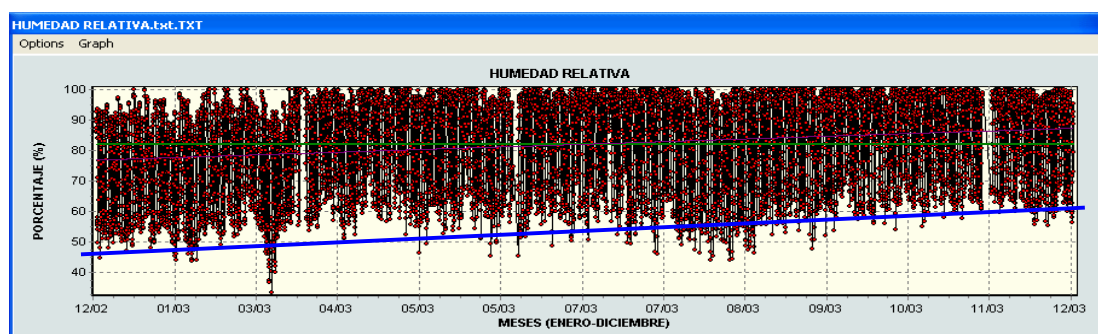


FIGURA 15. Humedad Relativa Año 2003 Datos Puros.

Según la FIGURA 15 la serie presenta una tendencia creciente desde el inicio del periodo y con unos cambios leves de varianza, por lo demás la serie presenta periodicidad y estacionalidad aceptables.

2.2.3 ESTACION PTAR:

Para la Estación PTAR se tomaron datos dentro de los periodos comprendidos entre Enero de 2002 a Diciembre de 2005 para un total de 4 años de metadatos, faltando datos para el año 2001, a una escala temporal horaria. Esta estación fue en la que se encontraron los metadatos de la menor calidad, hubo muchos problemas, se revisaron los documentos proporcionados por la CDMB pero no se encontraron respuestas a estos fenómenos, algunos de ellos se muestra a continuación.

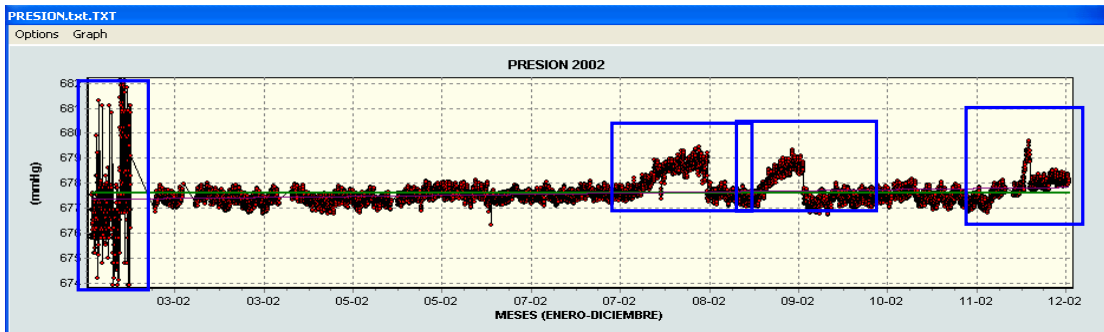


FIGURA 16. Presión Año 2002 Datos Puros.

La serie de la FIGURA 17 presenta anomalías, de las cuales se puede observar la primera al inicio del periodo, una tendencia que no se asemeja a la de la serie en el mayor periodo de tiempo, lo encontramos entre los meses de Enero a Febrero.

De otro modo encontramos tres zonas con un cambio de varianza, con tendencia ascendente entre los periodos de Agosto, parte del mes de Septiembre y al final en el mes de Diciembre. Este comportamiento irregular hace que gráficamente debido al comienzo de la serie, la escala de resolución grafica no sea adecuada para la observación de la mayor parte de la serie que es la que presenta el comportamiento mas normal, por lo cual se pensaría en la consideración de estos datos como faltantes por carecer de tendencia normal de acuerdo a la serie de tiempo.

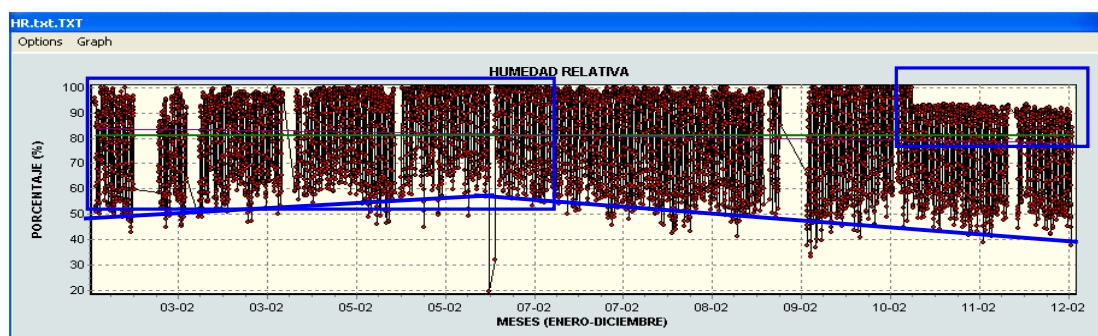


FIGURA 17. Humedad Relativa Año 2002 Datos Puros.

En la FIGURA 18 se observa una serie totalmente irregular en tendencia, estacionalidad y ciclicidad, con varios periodos de datos faltantes y dos zonas claras con tendencia ascendente y descendente. Al comienzo de la serie se tiene una gran cantidad de líneas oblicuas así como también un comportamiento irregular de la tendencia. Observamos una tendencia ascendente en el periodo comprendido entre los meses de Enero a Mayo y tendencia descendente entre Junio y Diciembre. Por otro lado al final de la serie en el periodo de Noviembre a Diciembre se aprecia una caída anormal de la tendencia en aproximadamente un 10% con respecto a la serie que traía.

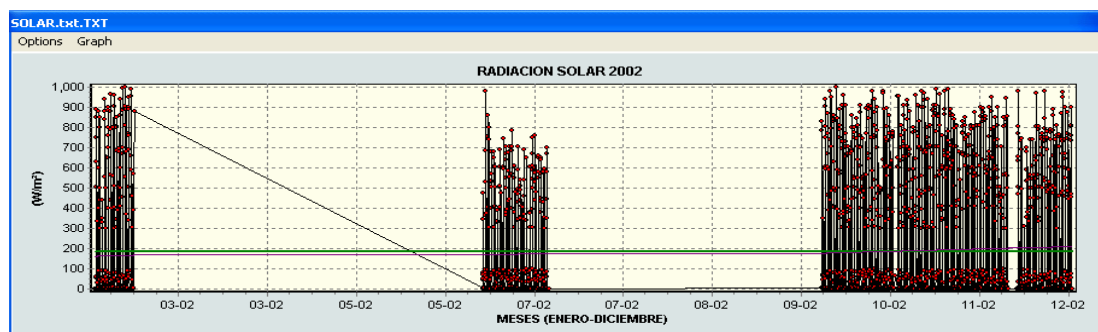


FIGURA 18. Radiación Solar Año 2002 Datos Puros.

En la serie de la FIGURA 19 se aprecian dos periodos claramente identificables de datos faltantes los cuales se llenaran mas adelante por medio de los test.

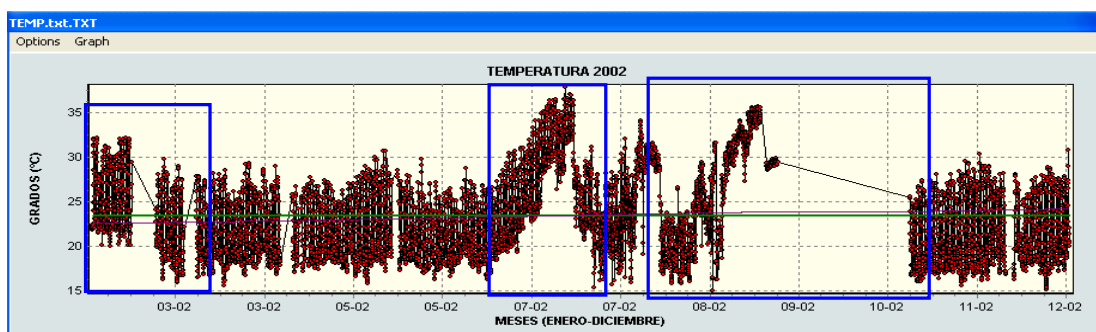


FIGURA 19. Temperatura Año 2002 Datos Puros.

Se observa en la FIGURA 20 la irregularidad de los metadatos presentada en tres periodos. El Primero comenzando la serie entre los meses de Enero a Marzo, ocurrencia de datos faltantes y un comienzo fuera de la media y la tendencia de la serie. En el segundo periodo se presenta un cambio reflejado en un ascenso de los metadatos, tendencia no propia de la serie. En el tercer periodo se observa un fenómeno muy parecido al anterior, en cuanto a la tendencia ascendente sin razón alguna. Se observan también periodos de datos faltantes.

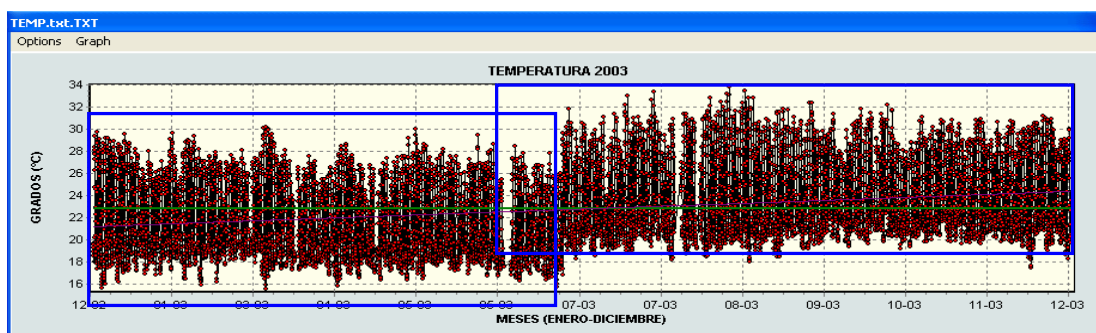


FIGURA 20. Temperatura Año 2003 Datos Puros.

En la FIGURA 21 se puede ver claramente una elevación de la temperatura en aproximadamente dos grados en el segundo periodo señalado de la serie, entre los meses de Julio a Diciembre.

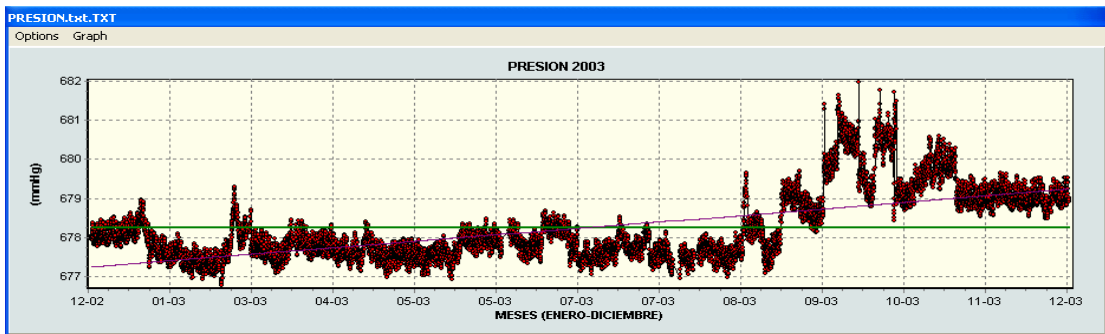


FIGURA 21. Presión Año 2003 Datos Puros

De la FIGURA 22 se observa una serie de metadatos sin tendencia, periodicidad, ni ciclicidad, con una tendencia creciente desde el comienzo hasta el final de la serie de tiempo. Como ya se mencionó los metadatos proporcionados para la estación PTAR son los de más baja calidad.

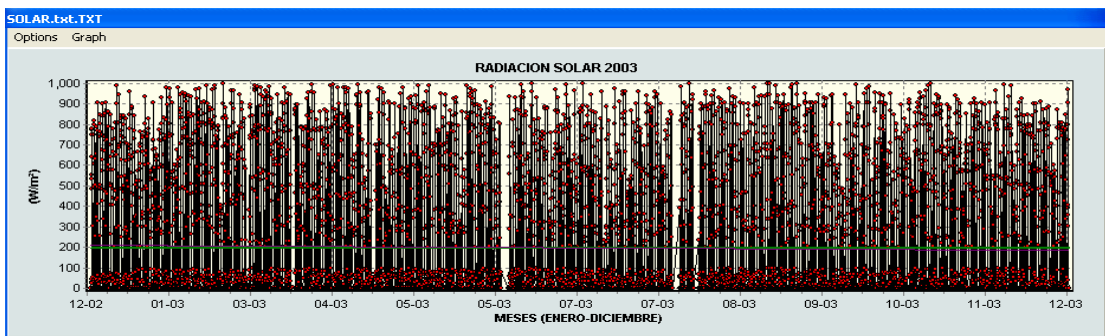


FIGURA 22. Radiación Solar Año 2003 Datos Puros

De la FIGURA 23 se aprecia una serie con un comportamiento normal y regular, sin anomalías, con tendencia, periodicidad y ciclicidad de manera correcta.

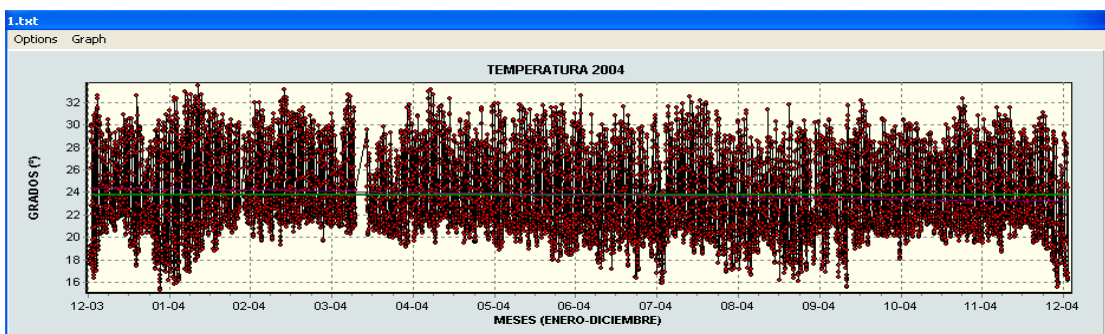


FIGURA 23. Temperatura Año 2004 Datos Puros.

En la FIGURA 24 se observa una serie con un comportamiento normal y regular, sin anomalías, con tendencia, periodicidad y ciclicidad de manera correcta.

2.2.4 ESTACION UIS:

Para la Estación UIS se tomaron datos dentro de los periodos comprendidos entre Enero de 2002 a Diciembre de 2005 para un total de 4 años de metadatos a una escala temporal horaria. Se debe resaltar que esta es la estación con la mejor información de datos de las cuatro trabajadas, esto en cuanto a cantidad, tendencia y comportamiento. Para esta estación también se encontró el año 2001 como periodo faltante, lo que indica que solo se cuenta con información para cuatro años.

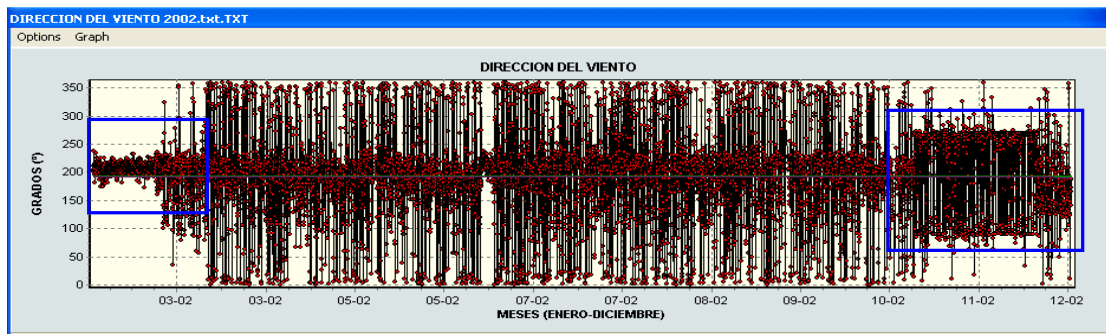


FIGURA 24. Dirección del Viento Año 2002 Datos Puros.

De la FIGURA 24 se observan dos periodos inconsistentes con la tendencia normal de la serie. En el primer periodo comprendido entre los meses de Enero a Febrero se puede observar una variación en los datos con valores menores que el resto de la series oscilando todos muy cerca a la media de la población. El segundo periodo con anomalías presenta el mismo fenómeno antes descrito pero con una amplitud de oscilación menor de los datos alrededor de la media.

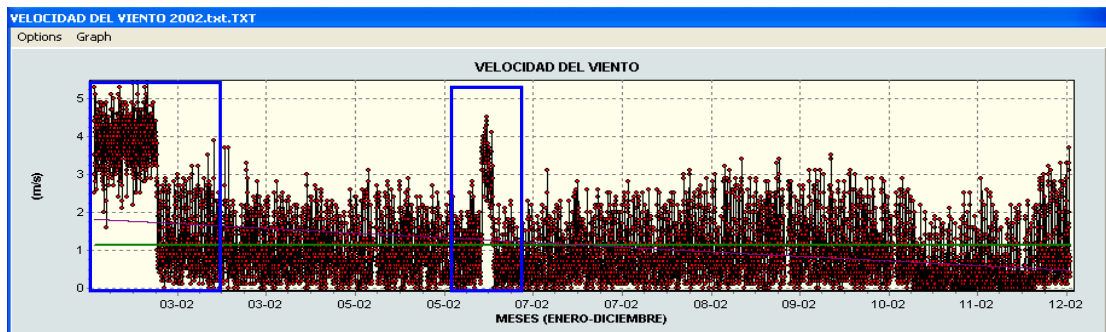


FIGURA 25. Velocidad del Viento Año 2002 Datos Puros.

En la serie de la FIGURA 25 se aprecia al comienzo en el periodo comprendido entre los meses de Enero a Febrero y en el periodo comprendido en el mes de Junio un cambio de varianza con respecto a la serie de tiempo completa, pero que después se estabiliza y termina con un comportamiento aceptablemente normal.

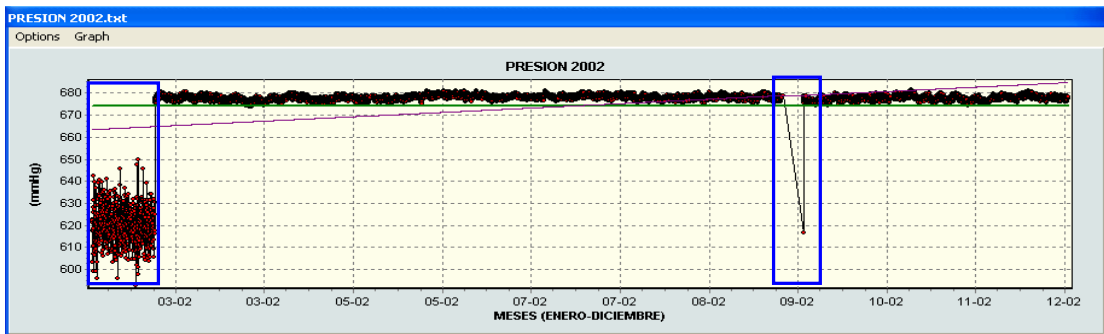


FIGURA 26. Presión Año 2002 Datos Puros.

Se aprecia en la FIGURA 26 un comportamiento anormal de la serie de tiempo en el periodo comprendido entre los meses de Enero y Febrero, esto tomando como referencia que en el periodo comprendido entre los meses de Marzo a Diciembre, que representa la mayor cantidad de metadatos, tiene una tendencia muy diferente a la del periodo inicial. No se puede ver una buena escala gráfica de la serie debido al problema mencionado y a otro dato que se salió totalmente del comportamiento esperado. Al aplicarle más adelante los test se espera encontrar una mejora sustancial tanto gráfica como estadísticamente.

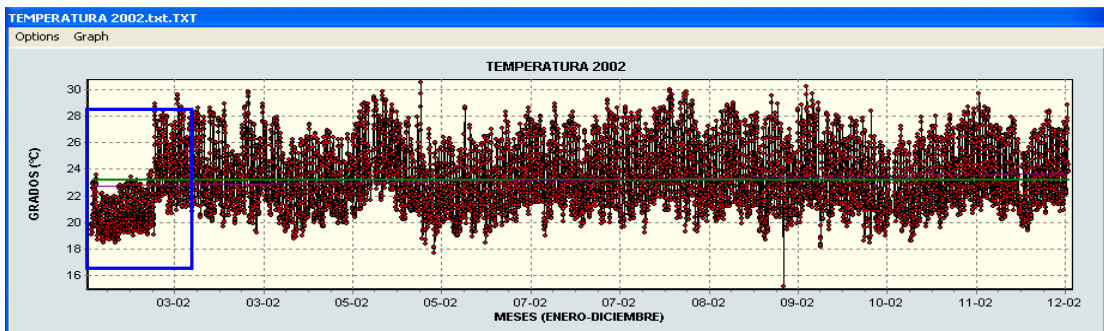


FIGURA 27. Humedad Relativa Año 2002 Datos Puros.

Según la FIGURA 28 esta serie de tiempo presenta un comportamiento anormal en el periodo comprendido en el mes de Enero, esto teniendo en cuenta que el periodo que comprende los meses de Febrero a Diciembre representa la mayor cantidad de metadatos y tiene una tendencia muy diferente a la inicial y en la cual se puede observar un buen comportamiento.

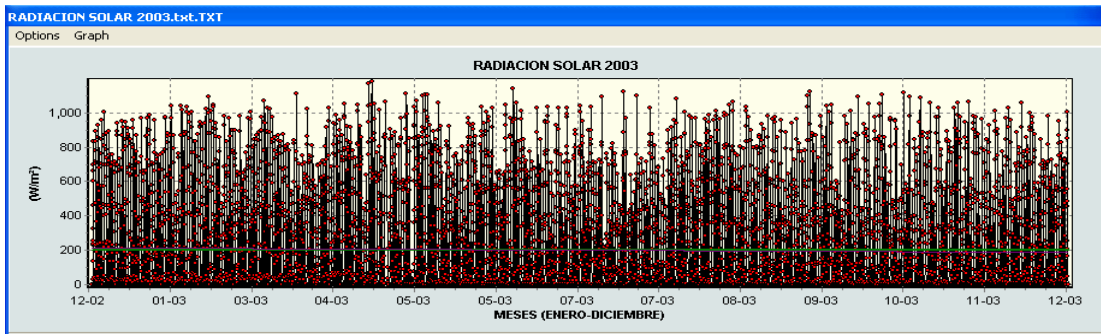


FIGURA 28. Radiación Solar Año 2003 Datos Puros

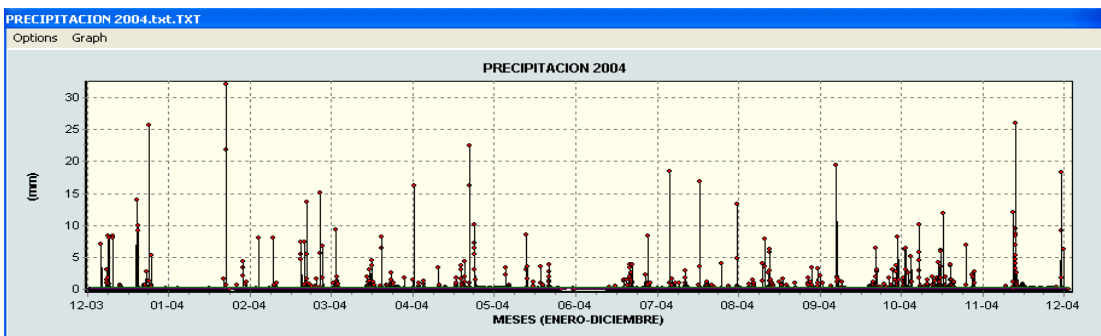


FIGURA 29. Precipitación Año 2004 Datos Puros.

Se aprecia de la FIGURA 28 y 29 un comportamiento de la serie muy regular, con periodicidad y ciclicidad definidas.

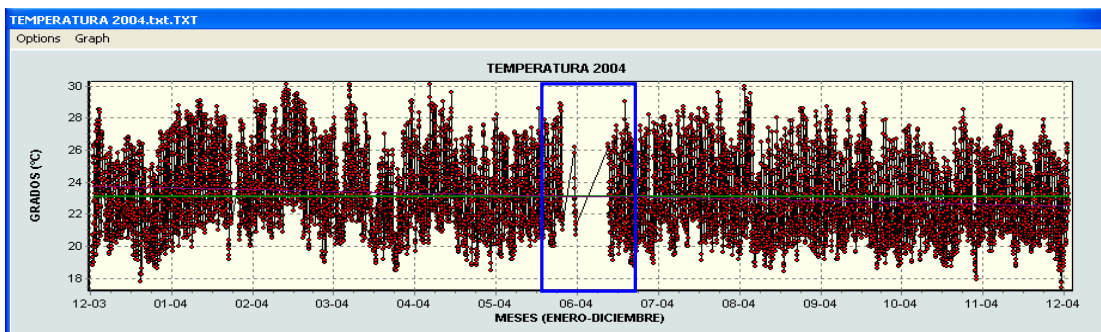


FIGURA 30. Temperatura Año 2004 Datos Puros

La serie de la FIGURA 30 presenta un periodo de datos faltantes comprendido entre los meses de Junio y Julio que mas adelante serán llenados. El resto de la serie de tiempo presenta un comportamiento normal con buena tendencia y periodicidad.

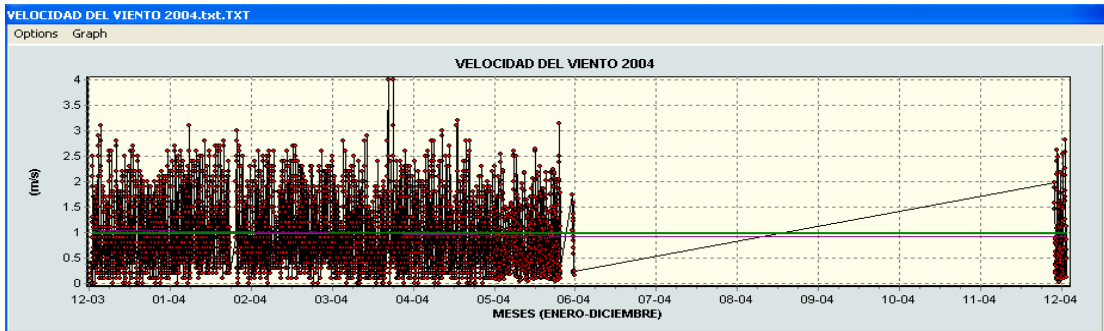


FIGURA 31. Velocidad del Viento Año 2004 Datos Puros.

En la serie de la FIGURA 31 podemos observar por medio de la línea oblicua un periodo de datos faltantes comprendido entre los meses de Junio a Diciembre siendo esto un factor representativo de la cantidad de datos con la cual no se cuenta. Por lo demás la serie desde el comienzo del periodo hasta cuando existe la interrupción por los datos faltantes presenta un comportamiento normal con tendencia y algunos picos aislados que se pueden manejar.

Hasta esta parte del presente capítulo se ha trabajado con la información de las series de datos puros y sus tendencias proporcionados para cada una de las estaciones. En adelante se explicará como estos fueron manipulados para intentar normalizar las series y de esta manera obtener resultados mucho más confiables.

2.3. TRATAMIENTO Y MODELAMIENTO DE LA VARIABLES

En el análisis de las series de tiempo, la primera verificación que se debe realizar es la detección de la no homogeneidad e inconsistencia en los datos, estas propiedades están directamente relacionadas con la no estacionariedad* que presentan las series de tiempo sin ningún tipo de tratamiento (Aza y Vargas, 2005).

* Poseer esperanza y varianza constantes en el tiempo.

El “screening of the data” o tratamiento preliminar de los datos, se encarga de la detección de la no-homogeneidad e inconsistencia de los mismos, ya que es de suma importancia, para la realización de análisis y modelamiento de las series de tiempo hidrológicas, efectuar un tratamiento preliminar de limpieza y filtrado de los datos para lograr que ellos se comporten de acuerdo a las características representativas de los modelos, (Guzmán et al, 2005).

Este procedimiento se debe realizar buscando que el comportamiento de los datos se ajuste a las características normales para estas series de datos como son:

- Los datos deben ser aleatorios e independientes
- La tendencia debe contemplar un comportamiento estable; no debe aumentar ni disminuir.
- La varianza y la media deben ser estables, a lo largo de todo el registro.
- No presentar estacionalidad (seasonal); un ciclo regular.

Se procede ahora a la corrección de la información con las inconsistencias encontradas por lo que se cuenta con diferentes test dependiendo de las características de las series. El objetivo para esta parte del proceso consiste en corregir los problemas identificados en las series de tiempo puras que permitirán depurar esta información, mejora la calidad de los datos y manejar estos errores (presencia o ausencia de tendencia, saltos en los datos) en las series.

Para comenzar en el análisis de la series de tiempo se uso la grafica preliminar como primer paso para la identificación de las inconsistencia de los datos, de ella se evaluó si la tendencia presente es significativa, si esto sucede se procede a eliminar esta tendencia con la diferencia de medias entre los sub-periodos que presenten este fenómeno.

Hasta el momento se puede observar la deficiencia en la recolección de los datos por parte de la CDMB. En reunión con la persona encargada de manejar la información se trato de buscar mas respuestas y soluciones al mejoramiento de las series puras, se hablo de los problemas encontrados en periodos y fechas puntúales para tratar de establecer eventos o fenómenos históricos ocurridos en las estaciones trabajadas, pero no se encontró solución alguna. Por ello no se pudo establecer por medio de esta información ningún otro tipo de ajuste.

Teniendo todo esto a continuación se muestra el resultado de la corrección que se llevo a cabo:

2.3.1 ESTACION CENTRO:

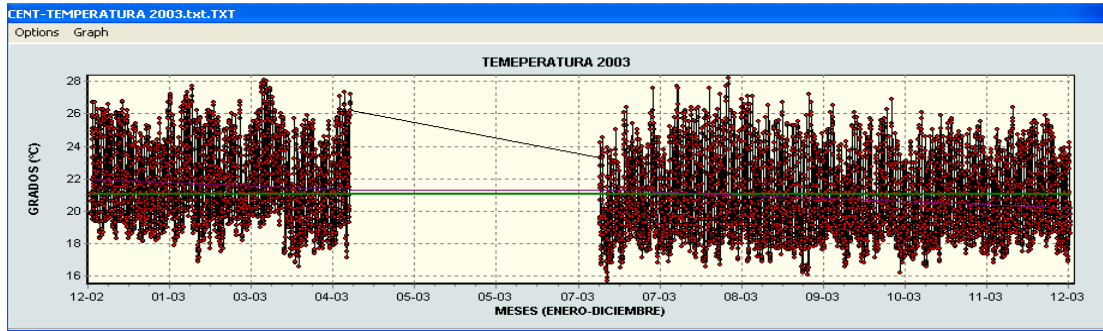


FIGURA 32. Temperatura Año 2003 Datos Puros corregidos – CENTRO.

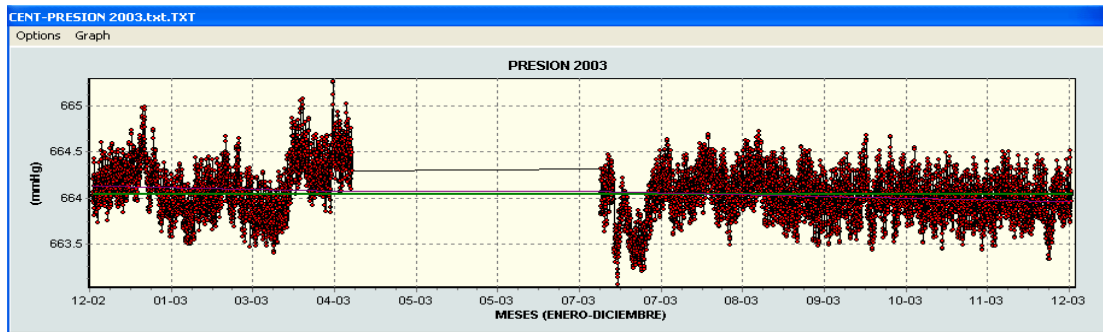


FIGURA 33. Presión Año 2003 Datos Puros corregidos – CENTRO.

Se aprecia de la FIGURA 34 el resultado del manejo de medias, comparando esta con la FIGURA 9, los cambios mas significativos y notorios se presentan en la resolución de la escala grafica, la tendencia y la serie en general, los mejores resultados de este test se encuentran dentro de la variable presión de cada una de la estaciones y cada uno de los años.

2.3.2 ESTACION CHIMITA:

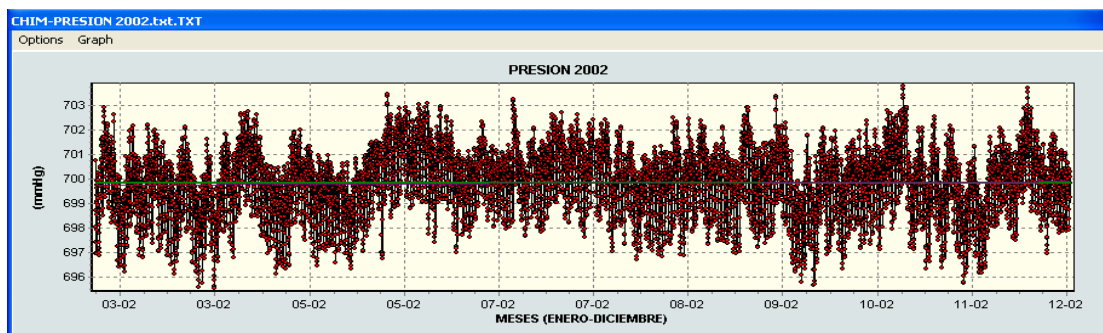


FIGURA 34. Presión Año 2002 Datos Puros corregidos – CHIMITA.

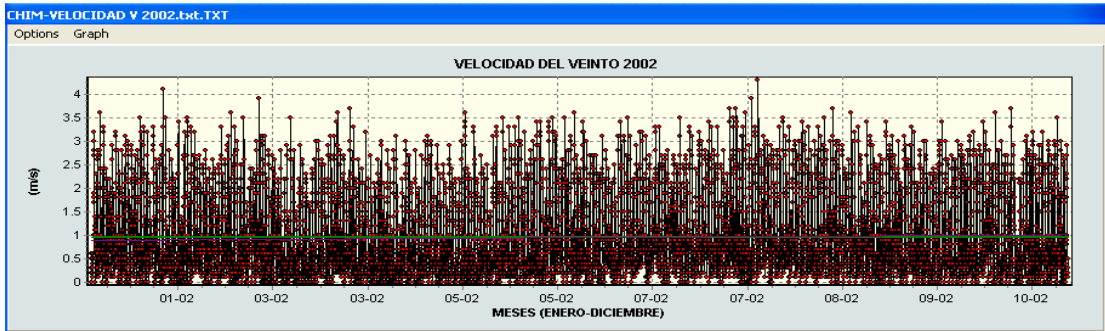


FIGURA 35. Velocidad del Viento Año 2002 Datos Puros corregidos – CHIMITA.

2.3.3 ESTACION PTAR:

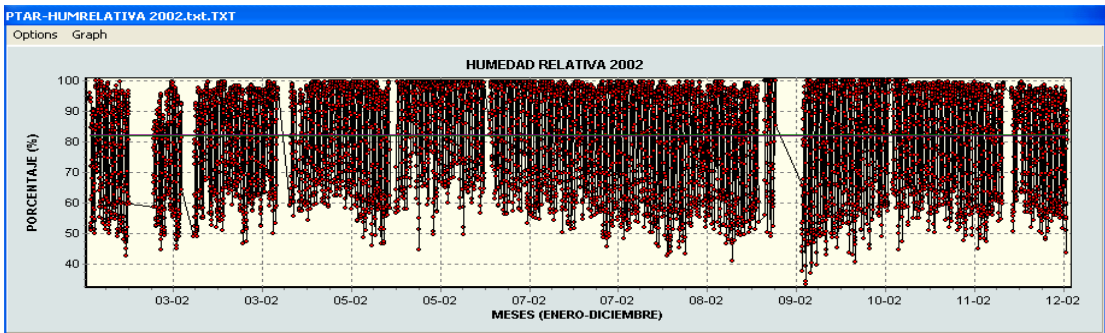


FIGURA 36. Humedad Relativa Año 2002 Datos Puros corregidos – PTAR.

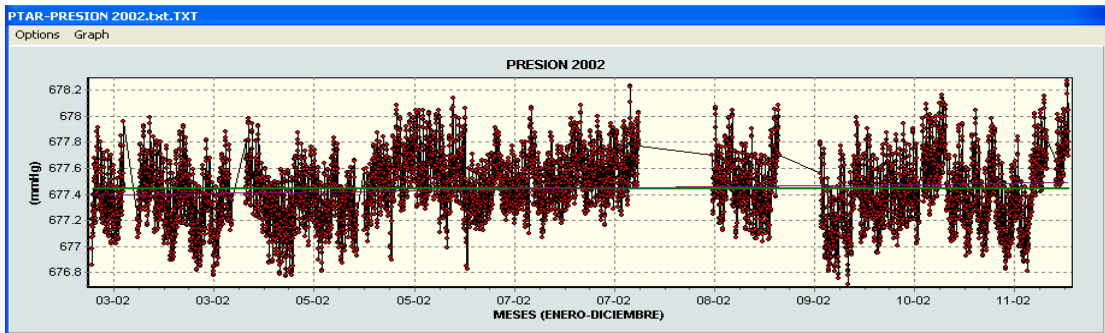


FIGURA 37. Presión Año 2002 Datos Puros corregidos – PTAR.

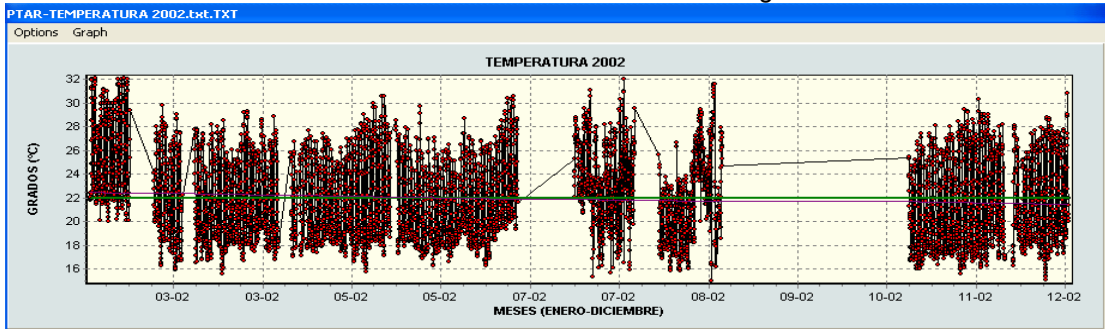


FIGURA 38. Temperatura Año 2002 Datos Puros corregidos – PTAR.

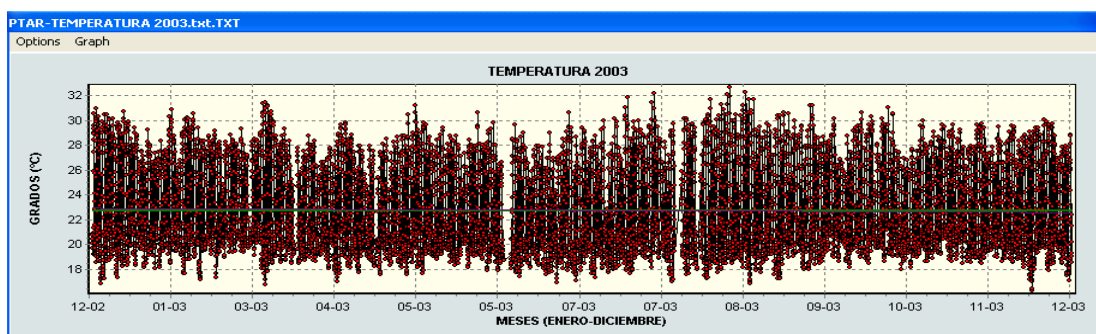


FIGURA 39. Temperatura Año 2003 Datos Puros corregidos – PTAR.

2.3.4 ESTACION UIS:

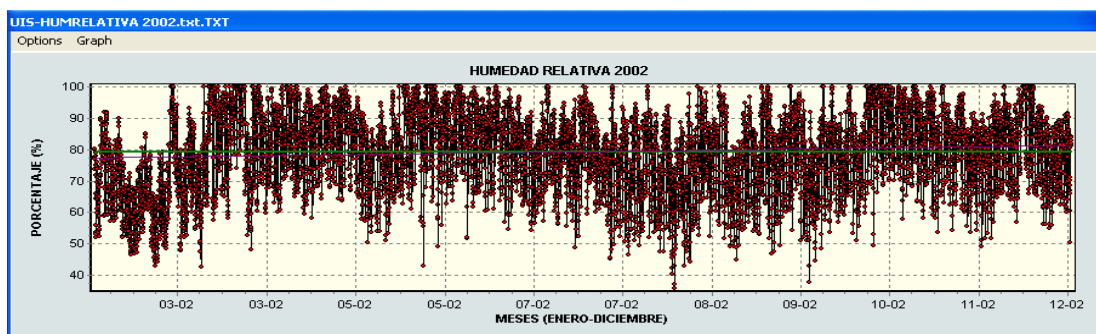


FIGURA 40. Humedad Relativa Año 2002 Datos Puros corregidos – UIS.

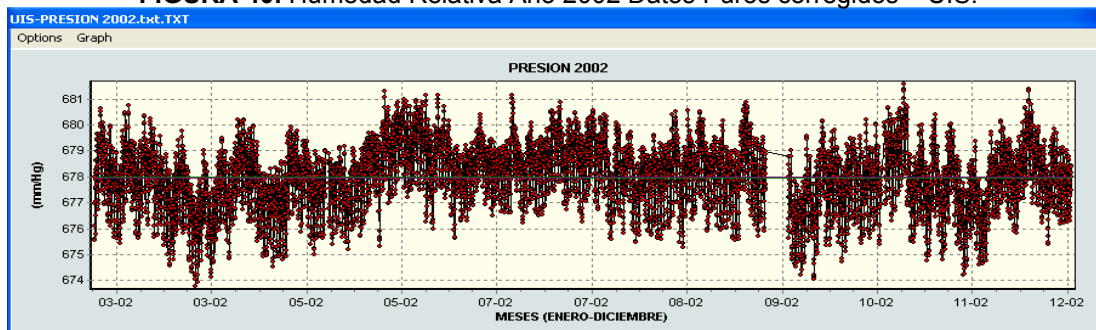


FIGURA 41. Presión Año 2002 Datos Puros corregidos – UIS.

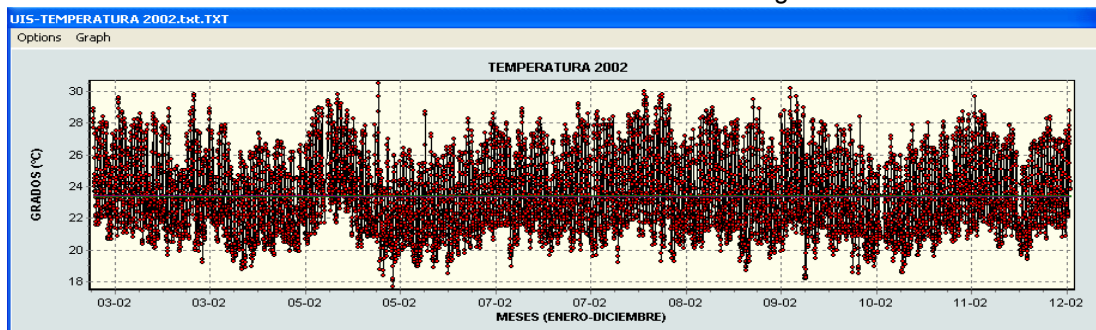


FIGURA 42. Temperatura Año 2002 Datos Puros corregidos – UIS.

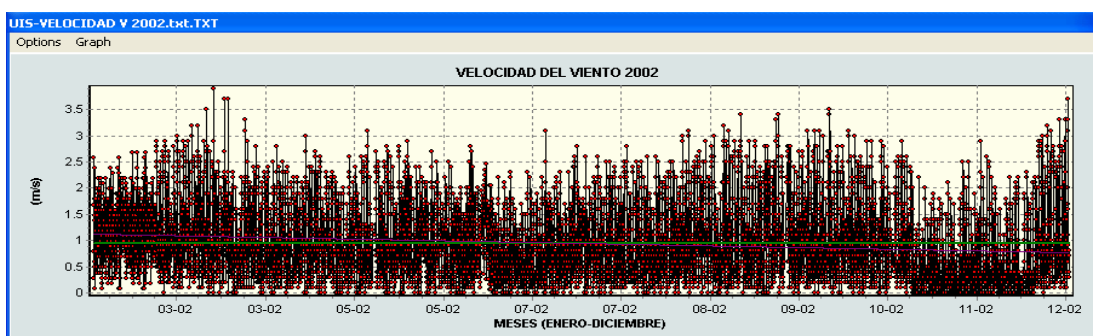


FIGURA 43. Velocidad del Viento Año 2002 Datos Puros corregidos – UIS.

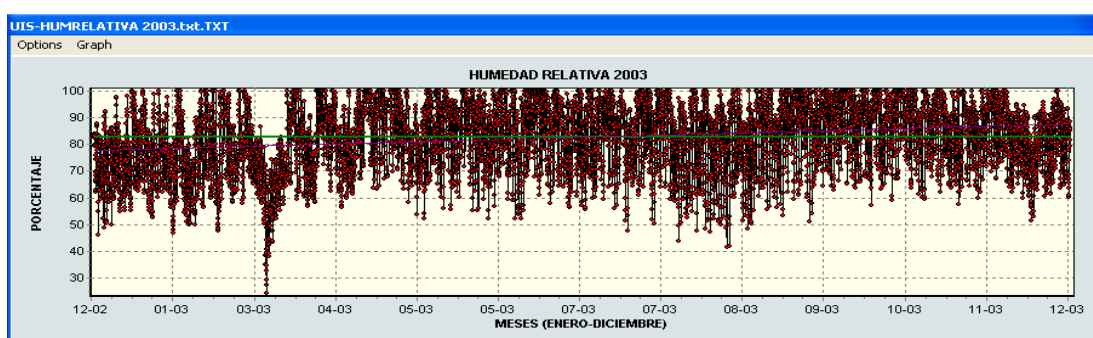


FIGURA 44. Humedad Relativa Año 2003 Datos Puros corregidos – UIS.

2.4. LLENADO DATOS Y MANEJO DE VARIABLES

Teniendo en cuenta todo lo anteriormente mostrado y evaluado se procedió a tomar los periodos de tiempo en donde se encuentran la mayor cantidad de datos antes o después de los datos ausentes o faltantes de forma tal que este periodo sea representativo y permita realizar el pronóstico dándole el mayor número de características de la serie original.

Inicialmente se contaba con una serie de datos correspondientes a las estaciones CHIMITA, CENTRO, UIS Y PTAR, proporcionados por la CDMB. Estos datos abarcaban los años 2001 al 2005 a una escala temporal horaria, y con información de las variables de Precipitación, Presión, Radiación Solar, Humedad Relativa, Temperatura, Velocidad y Dirección del Viento.

Como ya se pudo observar anteriormente, estos periodos tienen una serie de inconsistencias considerables para la obtención de resultados. Por ejemplo para el año 2001 solo se tiene información de dos estaciones completas, estas son Chimita y Centro, razón por la cual no se

consideraba contar con series de tiempo que pudieran generar a partir de ellas la tendencia original de las otras dos, en conclusión el primer año descartado, quedando cuatro. Por otro lado al observar algunas de las graficas para el año 2002 en el periodo comprendido entre los meses de Enero a Febrero se aprecian errores sistemáticos en los metadatos proporcionados, durante el desarrollo de la calibración de los datos no se encontró respuesta alguna a este fenómeno pero era evidente que tenia un fallo estadístico con respecto al resto de la series, por lo cual quedo omitido como información confiable, además de esto se encontró en el Año 2005 a partir del mes de Septiembre ausencia de datos faltantes para este periodo hasta el final del año por lo cual otra información omitida en ausencia de confiabilidad.

En común acuerdo entre los estudiantes y el director de proyecto se tomo como decisión evaluar tres periodos extraídos de las series que serian representativos y que nos permitiría un aceptable resultado del complemento de la información. Se tomaron entonces tres años Hidrológicos como periodo de evaluación y utilización de la información.

Como ya se menciona esta decisión nos dejo por fuera una serie de datos que en beneficio de obtener mejores resultados del estudio facilitaron el mejoramiento y parametrización por medio de los test de llenado de datos faltantes. Estos datos omitidos estaban totalmente fuera de contexto por lo cual también se dieron por descartados y suprimidos de la investigación. Se obtuvieron entonces tres periodos de datos que corresponden a las épocas de Marzo de 2002 a Febrero de 2003 (Año 1), Marzo de 2003 a Febrero de 2004 (Año 2) y Marzo de 2004 a Febrero de 2005 (Año 3). Al tener estos periodos de tiempo de datos se tomo una correlación múltiple como procedimiento posible para el llenado de datos faltantes. Esta correlación se llevo a cabo entre las estaciones que presentaban regímenes, tendencias y comportamientos parecidos en cada una de las variables hidrológicas.

Con el fin de evaluar este proceso de calibración de los datos se utilizaron dos tipos de medidas estadísticas, la primera propuesta por Stockle (1996), la raíz del cuadrado medio del error (RMSE) que es el grado de dispersión que hay entre los valores observados y simulados, y el coeficiente de Nash y Sutcliffe (1970, citado por Chu, 2003), por medio del cual se puede calcular el grado de correlación entre los valores que resultan de la simulación y los valores medios medidos. Las ecuaciones que rigen estas medidas estadísticas son:

- **Error Medio Cuadrático:**

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [z_i - z_j]^2}{N}} \quad (2.1)$$

Donde:

Z_i = Corresponde al valor modelado

Z_j = Corresponde al valor Real

N = Numero total de datos.

Si el RMSE tiene un valor relativamente bajo el ajuste del modelo frente a los datos originales es aceptable.

- **Nash y Sutcliffe:**

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N [z_i - z_j]^2}{\sum_{i=1}^N [z_i - \bar{z}_j]^2} \quad (2.2)$$

Donde:

Z_i = Valores medidos en la estación.

Z_j = Valores simulados.

Z_j = Valor medio observado.

Al procesar la información tratando de predecir los coeficientes utilizados para la ecuación que representa el valor para el llenado de dato faltante, se encontró que al comparar estas dos medidas estadísticas la diferencia de valores del dato modelado por cada uno no tenía una diferencia significativa; razón por lo cual se optó por seguir validando el llenado de datos faltantes con la medida inicial la RMSE, dado que la NASH se utilizó para tratar de mejorar el modelo, pero no se consiguió. Se intentó agregar a las ecuaciones de ajuste constantes y

grados a la ecuación pero no se logro mejorar los resultados para ello, por lo cual se dejo la correlación como una función con coeficientes de primer grado

Las series finales resultado del manejo de los datos fueron las siguientes:

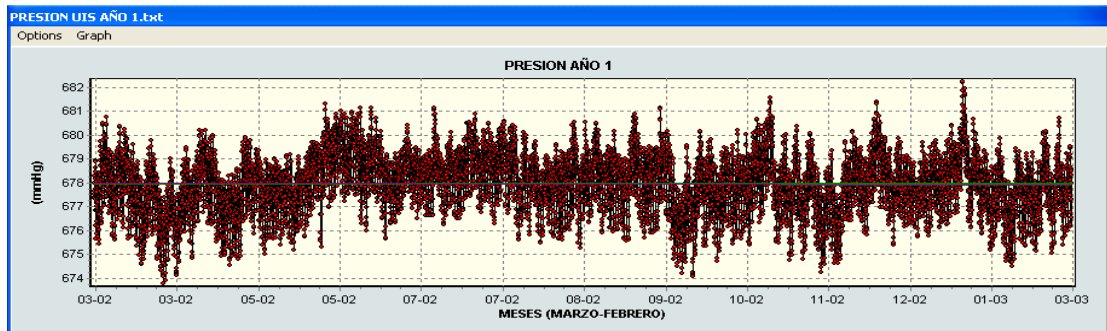


FIGURA 45. Presión AÑO 1 Serie Final – UIS.

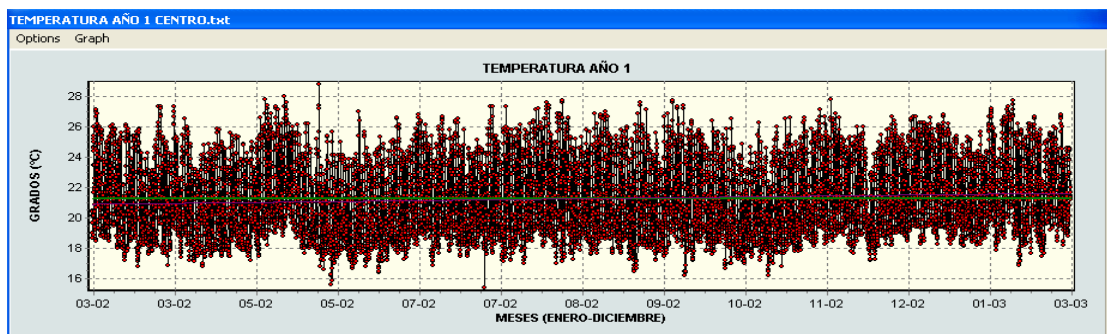


FIGURA 46. Temperatura AÑO 1 Serie Final – CENTRO.

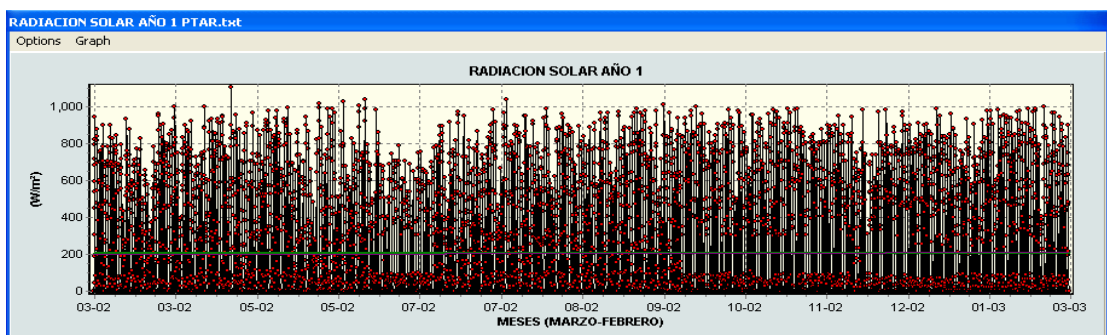


FIGURA 47. Radiación Solar AÑO 1 Serie Final – PTAR.

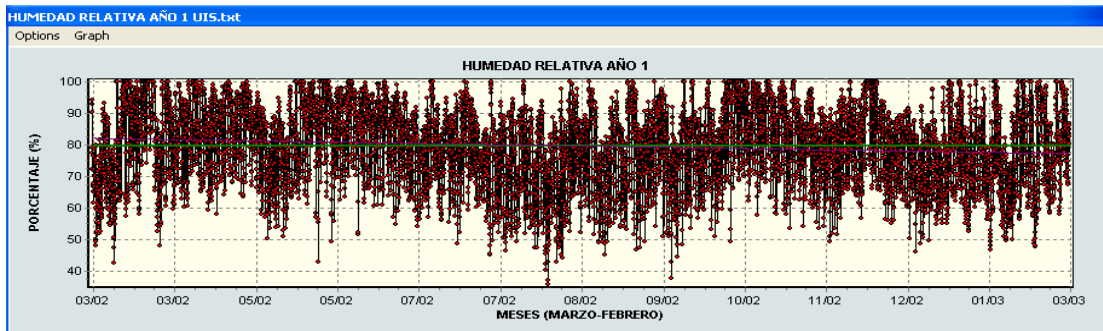


FIGURA 48. Humedad Relativa AÑO 1 Serie Final – PTAR.

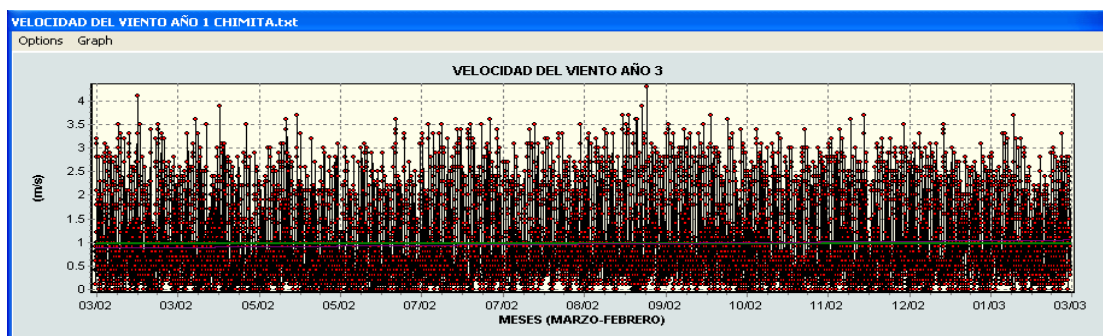


FIGURA 49. Velocidad del Viento AÑO 1 Serie Final – CHIMITA.

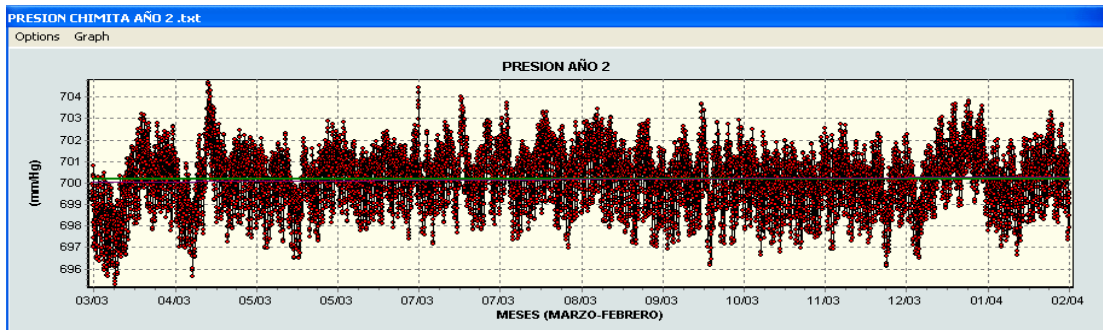


FIGURA 50. Presión AÑO 2 Serie Final – CHIMITA.

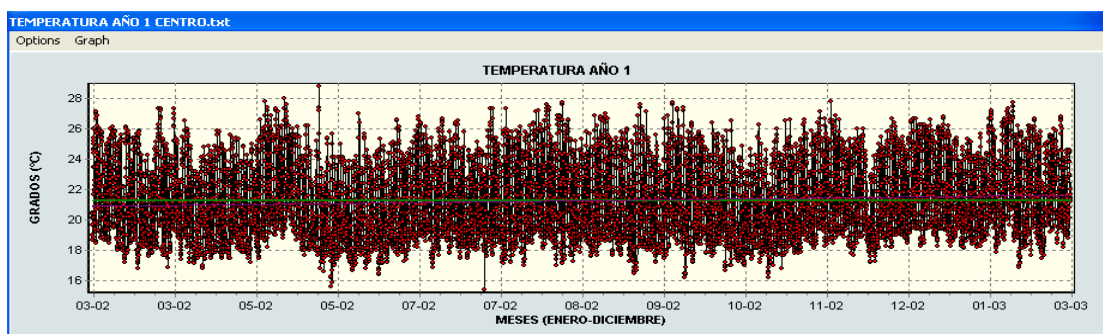


FIGURA 51. Temperatura AÑO 2 Serie Final – PTAR.

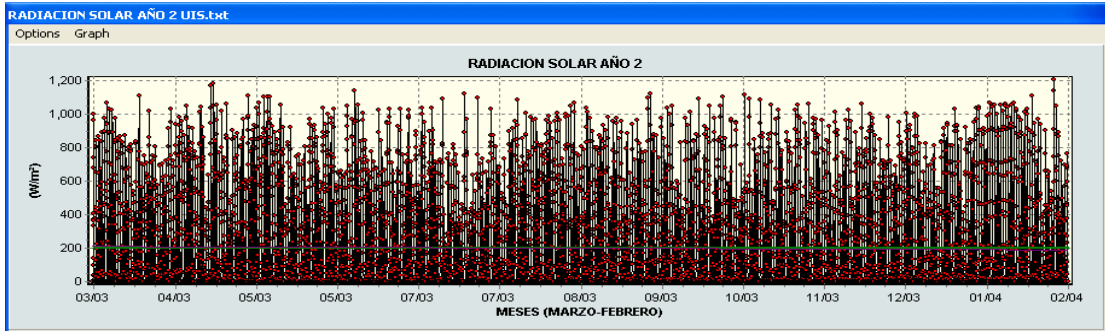


FIGURA 52. Radiación Solar AÑO 2 Serie Final – UIS.

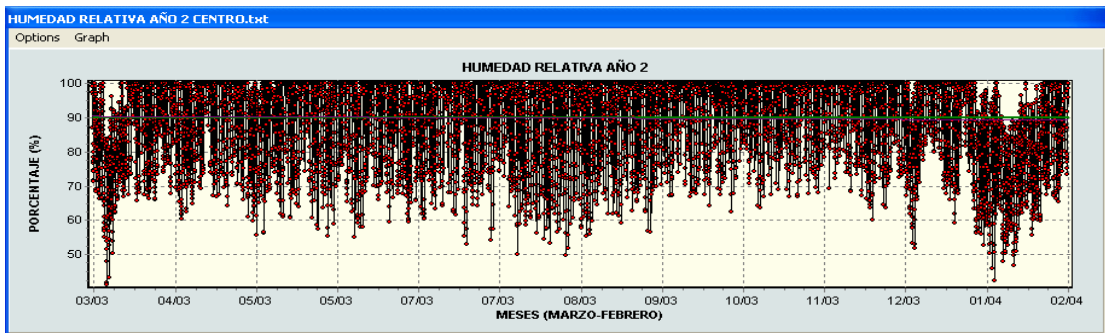


FIGURA 53. Humedad Relativa AÑO 2 Serie Final – CENTRO.

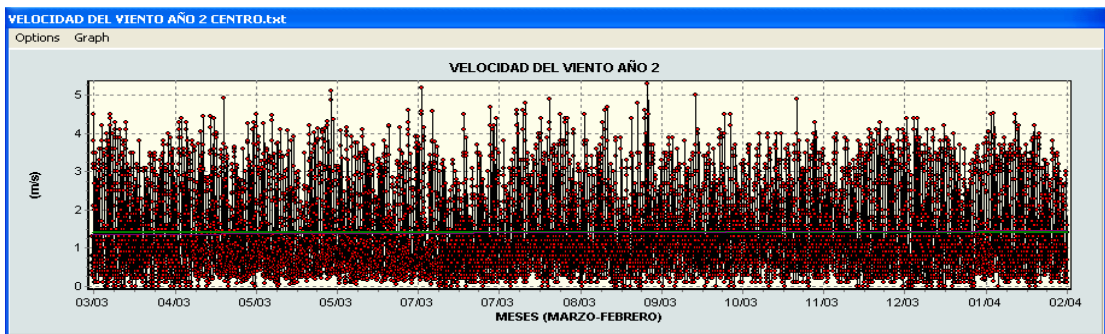


FIGURA 54. Velocidad del Viento AÑO 2 Serie Final – CENTRO.

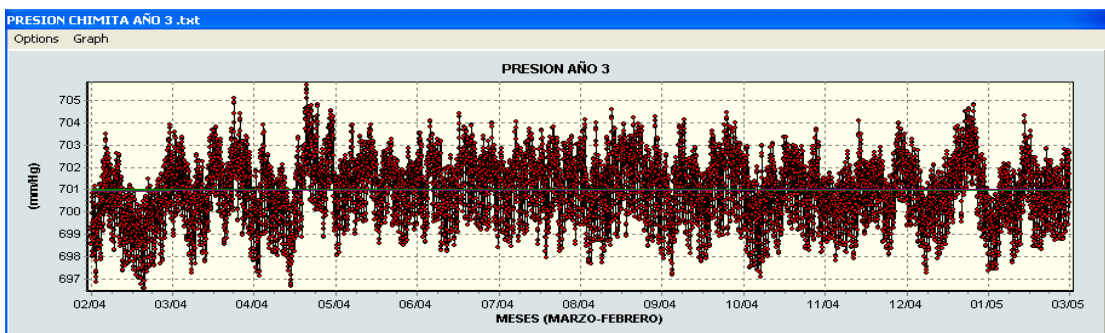


FIGURA 55. Presión AÑO 3 Serie Final – CHIMITA.

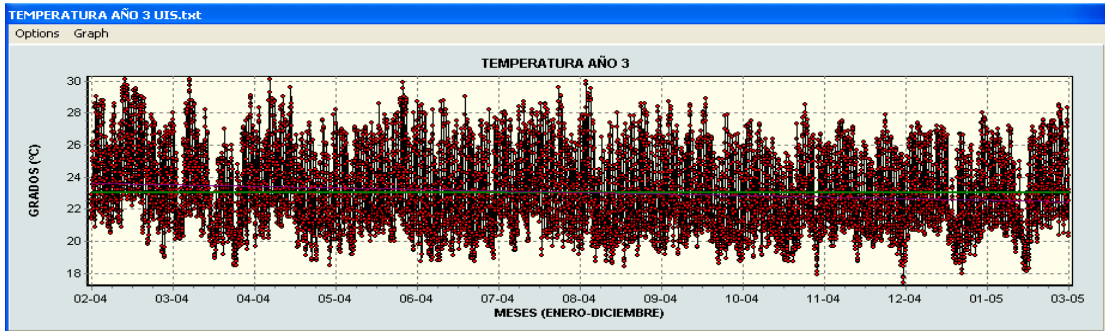


FIGURA 56. Temperatura AÑO 3 Serie Final – CHIMITA.

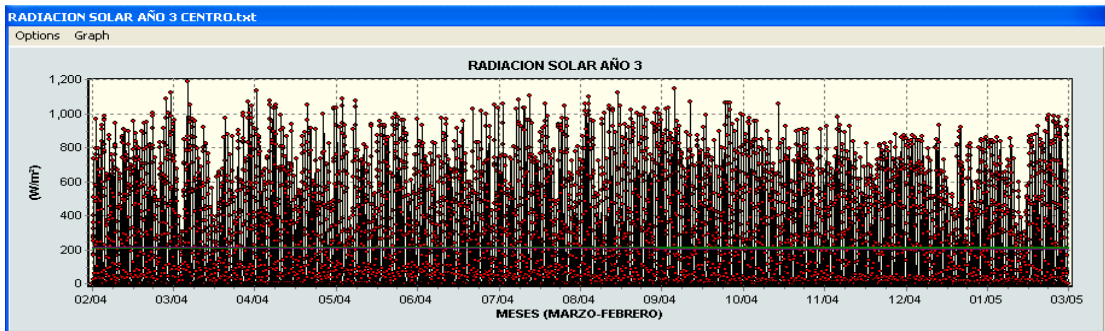


FIGURA 57. Radiación Solar AÑO 3 Serie Final – CENTRO.

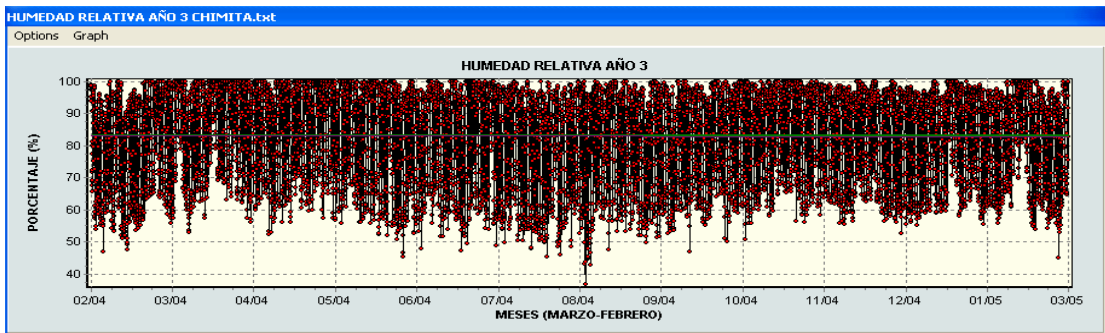


FIGURA 58. Humedad Relativa AÑO 3 Serie Final – CHIMITA.

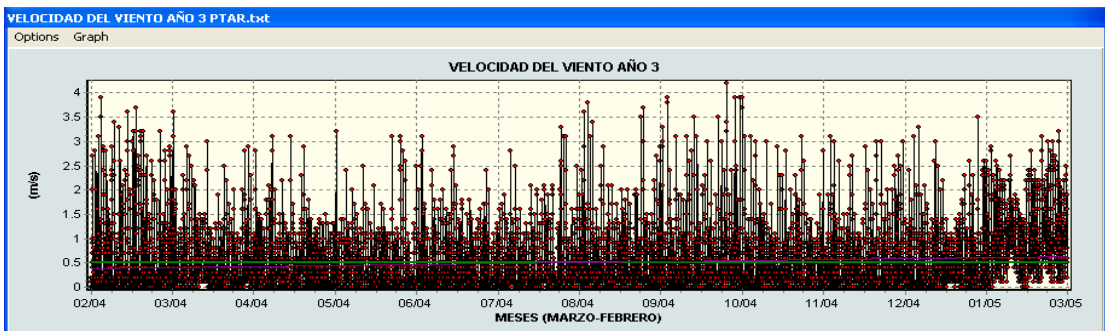


FIGURA 59. Velocidad del Viento AÑO 3 Serie Final – PTAR.

3. EVAPOTRANSPIRACION, PRECIPITACION Y CONSUMO HUMANO

En el presente capítulo se expondrá inicialmente los conceptos utilizados en el procedimiento para el cálculo de la Evapotranspiración, del manejo de la Precipitación, y de la determinación del consumo humano. De igual forma se indicarán los métodos aplicados para estimar cada una de estas variables con respecto a las características de la Microcuenca del Río Lato y su posterior espacialización.

3.1. EVAPOTRANSPIRACION

El manejo de la Evapotranspiración radica en la determinación de la pérdida de agua total, que resulta de la evaporación de superficies de agua, suelo, nieve, hielo y de cualquier otra zona, más la transpiración desarrollada en las hojas de las plantas. Para su utilización es difícil separar la evaporación de la transpiración, por tal razón, estos factores se tratan usualmente en ingeniería como uno solo, resaltando a la vez la importancia de tener un conocimiento de cada proceso para asegurar que los métodos utilizados para su determinación concuerden con la realidad física.

• EVAPORACIÓN

A pesar de que continuamente existe un intercambio de moléculas de agua hacia y desde la atmósfera la definición hidrológica de evaporación esta restringida al proceso por el cual el agua pasa del estado líquido en que se encuentra en los almacenamientos, conducciones, suelo y en las capas cercanas a la superficie, a estado gaseoso (Aparicio., 1999) y esta representada en la tasa neta de transporte de vapor hacia a la atmósfera. “Este cambio de estado necesita un intercambio de calor de aproximadamente 600 calorías por cada gramo de agua evaporada.

Para que se mantenga la temperatura de la superficie estas grandes cantidades de calor deben ser suministradas por radiación y conducción de la capa de aire en contacto, o a costa de la energía almacenada por debajo de la superficie” (Ray K., 1988).

Por lo tanto los factores que afectan la evaporación son:

- a) **Radiación solar.** Es el factor determinante de la evaporación ya que es la fuente de energía de dicho proceso.
- b) **Temperatura del aire.** El aumento de temperatura en el aire facilita la evaporación ya que en primer lugar crea una convección térmica ascendente, que facilita la aireación de la superficie del líquido; y por otra parte la presión de vapor de saturación es más alta.
- c) **Humedad atmosférica.** Para que la evaporación se produzca, es necesario que el aire próximo a la superficie de evaporación no esté saturado (situación que es facilitada con humedad atmosférica baja).
- d) **El viento.** Renueva el aire próximo a la superficie de evaporación que está saturado. La combinación de humedad atmosférica baja y viento resulta ser la que produce mayor evaporación. El viento también produce un efecto secundario que es el enfriamiento de la superficie del líquido y la consiguiente disminución de la evaporación.

• **TRANSPIRACIÓN**

Del agua absorbida por el sistema de raíces de una planta, solo una porción minúscula permanece en los tejidos de la misma; virtualmente, toda el agua retorna a la atmósfera en forma de vapor de las hojas de las plantas, debido a la transpiración.

La transpiración depende de los siguientes factores:

- a) Tipo de planta;
- b) Ciclo de crecimiento de la planta (inicial, vegetativo, medio, maduro);
- c) Tipo de suelo y humedad del suelo;
- d) Insolación, viento, humedad de la atmósfera, etc.

3.1.1 EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA, POTENCIAL Y REAL

Según la valoración hidrológica la Evapotranspiración se define dependiendo de las características específicas de la zona en estudio y de la complejidad del proyecto dependiendo del objetivo del mismo. A continuación se plantean los conceptos de Evapotranspiración Real, Potencial y de Referencia, y la relación que existe entre ellos.

A. EVAPOTRANSPIRACION DE REFERENCIA

Analizando las dimensiones de las posibles zonas en estudio y de las características que las resaltan, suele ser algo sobrestimado utilizar el concepto globalizado de Evapotranspiración, por tal motivo se establecieron los siguientes conceptos (Doreenbos y Pruit, 1977; Allen et al., 1998):

• Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o):

Es la que se produciría tomando como base un cultivo específico. Se divide en ET_{os} que es la evapotranspiración de cultivo de referencia corto para un campo de grama de 12 cm. de altura, sin falta de agua y con determinadas características aerodinámicas y de albedo; y en ET_{rs} que es la evapotranspiración de cultivo de referencia alto para un campo de alfalfa de 50 cm. de altura.

• Evapotranspiración de Cultivo en Condiciones Estándar (ET_c):

Es la que se produciría en un cultivo específico, sano, bien abonado y en condiciones óptimas de humedad del suelo. Es igual a la anterior (ET_o) multiplicado por un coeficiente (K_c) correspondiente al tipo de cultivo de la zona:

$$ET_c = ET_o * K_c \quad (3.1)$$

• Evapotranspiración de un Cultivo en Condiciones NO Estándar:

Es la que se produciría cuando no se cumplen las condiciones ideales que se indican en el concepto anterior. Es preciso ajustar el coeficiente de cultivo (K_c) (si las plantas no están bien desarrolladas, o no cubren toda la superficie, etc.) y multiplicar por un coeficiente (K_s) que depende de la humedad del suelo. Esta evapotranspiración, es la que se acerca de forma más detallada a la Evapotranspiración Real, en la aplicación de estudios hidrológicos.

B. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP)

Se habla de ETP cuando se presenta la máxima evapotranspiración posible, que se da en condiciones favorables, cuando el suelo está bien provisto de agua (Thornthwaite, 1948), prácticamente dentro de su capacidad de campo, que es el grado de humedad en el momento

en que el suelo ha perdido su agua gravífica*, y tapizado por una vegetación o cubierta vegetal densa y bien extensa, pareja y de poca altura (Doorenbos y Pruitt 1977).

C. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL: (ETR)

Es la cantidad real de vapor transferido a la atmósfera, que depende no solo de las condiciones meteorológicas existentes, sino también de las disponibilidades de agua para satisfacer la demanda atmosférica y en el caso de la vegetación, de su capacidad para extraer la humedad del suelo. Es la que se da en las condiciones reales del medio, considerando fluctuaciones que expresan niveles variables en la humedad del suelo y con una cubierta vegetal incompleta, como ocurre habitualmente en varios cultivos. Depende además de la profundidad de las raíces y características de las plantas.

Factores que afectan la Evapotranspiración Real:

- Falta de agua en algunos períodos;
- Variación de la evapotranspiración según el desarrollo de la planta;
- Variaciones de las condiciones atmosféricas como la humedad, la temperatura, etc.

Relación ETP - ETR: El rendimiento máximo de los cultivos se realiza cuando permanentemente su abastecimiento de agua se da por precipitaciones, reservas de humedad del suelo y aporte por riego. Si la entrega es insuficiente se obtiene ETR como un cierto porcentaje de la ETP.

3.1.2 METODOLOGIA APLICADA PARA EL CÁLCULO DE LA EVAPOTRANSPIRACION REAL DE LA MICROCUENCA DEL RÍO LATO

Para abarcar la mayor dimensión posible de la microcuenca y la variabilidad presente en ésta, se realizó el proceso de cálculo inicialmente con la Subcuenca del Río de Oro a la que pertenece.

* Se refiere al agua que no ha descendido en el suelo por gravedad pero que también se mantiene por capilaridad

En la determinación directa de la Evapotranspiración Potencial (ETP) se manejan coeficientes y resistencias concretas que varían con el tipo de cultivo presente en la región; entre estos conceptos encontramos los relacionados con (García y Otero, 2005):

- **Resistencia Aerodinámica (r_a):**

Describe la resistencia del flujo de vapor desde la vegetación hacia arriba e involucra la fricción del flujo de aire sobre la cobertura vegetal.

- **Resistencia de Superficie (r_s):**

Describe la resistencia del flujo de vapor a través de las aberturas estomáticas, el área total de la hoja y la superficie del suelo.

- **Albedo (α):**

Fracción de la radiación solar reflejada por la superficie. Varía de acuerdo al tipo de la superficie, el ángulo de incidencia de los rayos solares o de acuerdo a la pendiente del terreno.

Las propiedades anteriores, requieren de un estudio complejo y detallado para su estimación, ya que presenta una variación constante de acuerdo con el crecimiento de cada especie de cultivo, y dependiendo a la vez, de las condiciones climáticas presentes que lo afectan directamente. Esto dificulta de forma considerable el hecho de encontrar información confiable y completa para su utilización.

Por tal motivo se decidió que para el cálculo de la ETR se aplicara una metodología que involucra de forma consecutiva los conceptos mencionados anteriormente. Inicialmente se aplicó el concepto de Evapotranspiración del Cultivo de Referencia (ET_o) sobre la Subcuenca del Río de Oro, basado en los parámetros climatológicos recolectados por las estaciones meteorológicas de la CDMB. Para esto se empleó la ECUACIÓN DE REFERENCIA ESTÁNDAR ASCE (THE ASCE STANDARDIZED REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION EQUATION) de La Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, que maneja la teoría de Penman-Monteith (ASCE-PM), adoptando las condiciones generadas por un cultivo de grama de 12 cm. Para la aplicación del procedimiento según la metodología ASCE, se tomó esta Evapotranspiración de Referencia Estándar, como ET_{os} para pastos cortos o hierba fresca.

Posteriormente se realizó un ajuste empleando la Evapotranspiración de un Cultivo en Condiciones Estándar (ET_c), que se fundamenta en el manejo del Coeficiente de Cultivo de la región. En este punto, en conjunto con el director de proyecto, se determinó la importancia de utilizar coeficientes con gran variedad específica, que acerquen los valores de ET_o a las condiciones de la zona. Por esto se aplicó la metodología FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION) de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, fundamentada igualmente en la teoría Penman-Monteith, la cual determinó coeficientes de cultivo K_c , aplicando experimentalmente relaciones de ET_c/ET_o para diferentes cultivos y diferentes regiones.

$$ET_c = ET_{os}(ASCE-PM) * K_c(FAO-PM) \quad (3.2)$$

Continuando con el procedimiento se manejó el concepto de Evapotranspiración de Cultivo en Condiciones NO Estándar con el fin de determinar la ETR. Por tal motivo se realizó un empalme con la Microcuenca del Río Lato para aplicar un segundo ajuste con el Coeficiente de Humedad K_s correspondiente a la humedad del suelo.

$$ETR = ET_c * K_s \quad (3.3)$$

A. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE ET_{os}

Los datos climatológicos que se usaron en el presente proyecto, fueron tomados en un periodo de tiempo horario para un mejor análisis del comportamiento de las variables recolectadas por las estaciones pertenecientes a la CDMB. Aplicando por consiguiente la metodología de la ASCE para periodos de tiempo HORARIOS.

La fórmula estandarizada de la Evapotranspiración de Cultivo es:

$$ET_{os} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + (\gamma + C_d u_2)} \quad (3.4)$$

Donde:

ET_{os} = Evapotranspiración de Referencia para pasto corto [$mm\ h^{-1}$]

R_n = Calculo de la Radiación Neta de la superficie de cultivo [$MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$]

G = Densidad de Flujo de Calor en el Suelo [$MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$]

T = Temperatura media horaria a 2 m de altura [$^{\circ}C$]

u_2 = Velocidad del Viento a 2 m de altura [$m\ s^{-1}$]

e_s = Presión de Vapor de Saturación [KPa]

e_a = Presión de Vapor Real [KPa]

Δ = Pendiente de la Curva de Presión de Vapor de Saturación-temperatura [$kPa\ ^{\circ}C^{-1}$]

γ = Constante Psicométrica [$kPa\ ^{\circ}C^{-1}$]

C_n = Numerador Constante que cambia con el tipo de ETo de referencia y el periodo de cálculo, en este caso horario [$K\ mm\ s\ Mg^{-1}\ h^{-1}$]

C_d = Denominador Constante que cambia con el tipo de ETo de referencia y el periodo de cálculo, en este caso horario [$s\ m^{-1}$].

Las unidades correspondientes al coeficiente 0.408 son [$m^2\ mm\ MJ^{-1}$].

Los coeficientes numerador C_n y denominador C_d dependen del periodo de calculo, la resistencia aerodinámica y la resistencia de superficie. Sus valores fueron derivados de la simplificación de varios términos dentro de ASCE-PM. Para el periodo de cálculo horario hubo una separación “día / noche”, la cual se determino por la radiación neta R_n , en donde, si ésta es positiva corresponde al tiempo “día”. En la tabla 1 se muestran sus valores.

TABLA 7. Valores de C_n y C_d

PERIODO DE CALCULO	REFERENCIA CORTA ET_{os}		REFERENCIA ALTA ET_{rs}		UNIDADES ET_{os} , ET_{rs}	UNIDADES R_n , G
	C_n	C_d	C_n	C_d		
DIARIO	900	0.34	1600	0.38	mm d-1	MJ m-2 d-1
HORARIO-DIA	37	0.24	66	0.25	mm h-1	MJ m-2 h-1
HORARIO-NOCHE	37	0.96	66	1.7	mm h-1	MJ m-2 h-1

Fuente: Documentos FAO

A continuación se presenta la terminología utilizada en la ecuación (3.4):

A.1 VARIABLES ATMOSFERICAS Y PSICOMÉTRICAS

- **Calor Latente De Vaporización (λ):**

El valor del Calor Latente de Vaporización varía ligeramente por encima de los rangos de la temperatura del aire que circula en sistemas hidrológicos o de agricultura. Para la ETos, según análisis realizados por la ASCE, se selecciona este valor como:

$$\lambda = 2.45 \text{ MJ kg}^{-1} \quad (3.5)$$

- **Temperatura Media Del Aire (T):**

Para periodos horarios, esta temperatura representa el promedio alrededor de las horas consecutivas del día. Estas temperaturas fueron tomadas por las diferentes estaciones de la CDMB.

- **Presión Atmosférica (P):**

La presión atmosférica fue tomada por las diferentes estaciones metereológicas de la CDMB [mm Hg].

- **Constante Psicométrica (γ):**

Esta dada por la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{C_p P}{\epsilon \lambda} = 0.665 \cdot 10^{-3} P \quad (3.6)$$

Donde:

P = Presión Atmosférica [KPa]

λ = Calor Latente de Vaporización [$\lambda = 2.45 \text{ MJ kg}^{-1}$]

C_p = Calor Específico a Presión Constante [$C_p = 1.013 \cdot 10^{-3} \text{ MJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$]

ϵ = Relación entre el Peso Molecular del Vapor de Agua y el Aire Seco [$\epsilon = 0.622$]

- **Pendiente De La Curva De Vapor De Saturación-Temperatura (Δ):**

Esta curva es calculada por la siguiente ecuación:

$$\Delta = \frac{2503 \exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right)}{(T+237.3)^2} \quad (3.7)$$

Tomando T como la temperatura media del aire.

- **Presión De Vapor De Saturación (e_s):**

Representa la capacidad del aire de resistir el vapor de agua. Su cálculo esta dado por la siguiente ecuación:

$$e_s = 0.6108 \exp\left(\frac{17.27T}{T+237.3}\right) \quad (3.8)$$

En donde la presión de vapor esta dado en KPa y la temperatura media del aire en °C.

- **Presión De Vapor Actual (e_a):**

Representa el contenido de agua (humedad) en la atmósfera de la zona en estudio. Su valor se determino desde los datos de humedad relativa (HR) y de presión de vapor de saturación, correspondiente a la temperatura del aire de la misma serie de tiempo.

$$e_a = \frac{HR}{100} e_s T \quad (3.9)$$

Donde:

HR = Humedad Relativa en periodo horario, dada en %.

T = Temperatura Media del Aire [°C]

A.2 RADIACION NETA (R_n)

La R_n es la cantidad neta de energía de radiación disponible en la vegetación o en la superficie del suelo para evaporar agua, calentar el aire o calentar la superficie. Esta incluye un componente de radiación de onda larga y otro de onda corta:

$$R_n = R_{ns} - R_{nl} \quad (3.10)$$

Donde:

R_{ns} = Radiación neta de Onda Corta [$\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$].

R_{nl} = Radiación neta de Onda Larga [$\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$].

Su determinación a menudo se realiza partiendo de observaciones de radiación de onda corta (Radiación Solar), presión de vapor y temperatura del aire.

- **Radiación Solar Neta De Onda Corta (R_{ns}):**

Esta radiación es el resultado del balance entre la radiación solar que entra y la que se refleja desde la superficie; esta dada por la siguiente ecuación:

$$R_{ns} = R_s - \alpha R_s = (1 - \alpha) R_s \quad (3.11)$$

Donde:

α = Albedo o Coeficiente de Reflexión de Dosel, este toma un valor de 0.23 para las superficies de referencia, corto o alto [adimensional].

R_s = Radiación Solar incidente [$\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$]. (Tomada como registro de las estaciones)

El albedo varía con el tiempo del día, con la estación y con la altitud que depende del cambio en el ángulo de sol.

- **Radiación Neta De Onda Larga (R_{nl}):**

Esta radiación es la diferencia entre la radiación de onda larga emitida desde la superficie de la tierra (R_{lu}), la cual es absorbida por la atmósfera o se pierde en el espacio, y la radiación de onda larga recibida por la atmósfera (R_{ld}), que aumenta su temperatura y como consecuencia la atmósfera irradia energía por si misma, por lo tanto:

$$R_{nl} = R_{lu} - R_{ld} \quad (3.12)$$

Para su cálculo Brunt (1932, 1952) introdujo la siguiente ecuación:

$$R_{nl} = \sigma f_{cd} (0.34 - 0.14 \sqrt{e_a}) T_{Khr}^4 \quad (3.13)$$

Donde:

σ = Constante Stefan-Boltzmann [$2.042 \cdot 10^{-10}$ MJ K⁻⁴ m⁻² h⁻¹]

f_{cd} = Función de Nubosidad [adimensional](este valor va desde 0.05 hasta 1)

e_a = Presión de Vapor Actual [kPa]

T_{khr} = Temperatura Media Absoluta durante el Periodo Horario [K=°C+273.16]

Para periodos durante el día cuando el sol esta a más de 15° sobre el horizonte, el valor de f_{cd} es calculado de la siguiente forma:

$$f_{cd} = 1.35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0.35 \quad (3.14)$$

Donde:

R_s/R_{so} = Radiación Solar Relativa (este valor varia entre 0.33 y 1)

R_s = Radiación Solar Medida o Calculada [MJ m⁻² h⁻¹]

R_{so} = Radiación Calculada de Cielo Despejado [MJ m⁻² h⁻¹].

La relación R_s/R_{so} en la ecuación (3.14) representa la nubosidad relativa e introduce una limitación en valores que se debe tener en cuenta en el momento del cálculo de f_{cd} . Entre más nublado este el día más pequeña será la relación que varia entre 0.33 y 1, es decir, para un día bastante nublado es 0.33 y para uno casi totalmente despejado es 1 Durante las horas de la noche el valor de R_{so} esta definido como cero (0).

- **Radiación Solar De Cielo Despejado (R_{so}):**

Esta definida como la cantidad de radiación solar recibida por estaciones de medición a condiciones de cielo despejado. La relación de R_s/R_{so} en la ecuación (3.13) es utilizada para caracterizar la nubosidad sobre la emisión descendente de la radiación térmica a la superficie terrestre. Su valor es una función de la época del año y de la latitud, y adicionalmente de las épocas del día para los periodos de cálculo horario y es afectado por la cantidad de agua precipitable en la atmósfera, la cantidad de polvo o aerosoles en el aire, etc.

Para el cálculo horario de R_{so} se utiliza la siguiente ecuación:

$$R_{so} = (0.75 + 2 \cdot 10^{-5} z) R_a \quad (3.15)$$

Donde:

Z = Elevación de la Estación de Medición a nivel del mar [m]

R_a = Radiación Extraterrestre [$\text{MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$]

- **Radiación Extraterrestre (R_a):**

Esta radiación esta definida como la radiación solar de onda corta en la parte superior de la atmósfera, que depende del día del año, el tiempo del día, la latitud y la longitud. Para tiempos de periodo horario, el ángulo de tiempo solar del inicio y final del periodo sirven como puntos de integración para calcular R_a:

$$R_a = \frac{12}{\pi} G_{SC} d_r [(\omega_2 - \omega_1) \sin\varphi \sin\delta + \cos\varphi \cos\delta (\sin\omega_2 - \sin\omega_1)] \quad (3.16)$$

Donde:

G_{SC} = Constante Solar [$4.92 \text{ MJ m}^{-2} \text{h}^{-1}$]

d_r = Factor de Distancia Relativa Inversa entre la Tierra y el Sol [adimensional]

δ = Declinación Solar [Radianes]

φ = Latitud [Radianes]

ω₁ = Angulo de Tiempo Solar al inicio del Periodo [Radianes]

ω₂ = Angulo de Tiempo Solar al final del Periodo [Radianes]

Para el manejo de esta ecuación, se toma la latitud como positiva en el Hemisferio Norte y negativa en el Hemisferio Sur; y los valores de d_r y δ se determinan con las siguientes ecuaciones:

$$d_r = 1 + 0.033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (3.17)$$

$$\delta = 0.409 \sin\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (3.18)$$

Donde le valor de J corresponde al número del día del año (numeración).

Los ángulos de tiempo solar de inicio y final del periodo están dados por:

$$\omega_1 = \omega - \frac{\pi t_1}{24} \quad (3.19)$$

$$\omega_1 = \omega + \frac{\pi t_1}{24} \quad (3.20)$$

Donde:

ω = Angulo de Tiempo Solar en el Punto Medio del Periodo (Radianes)

t_1 = Longitud para el Periodo de Cálculo (Hora), 1 para periodos horarios y 0.5 para periodos de 30 minutos.

A su vez el ángulo de tiempo solar en el punto medio del periodo esta dado por:

$$\omega = \frac{\pi}{12} [(t + 0.06667(L_z - L_m) + S_c) - 12] \quad (3.21)$$

Donde:

t = Es el tiempo estándar en el punto medio del periodo, calculado como el promedio entre un periodo horario y el siguiente.

L_z = Longitud de la Zona Horaria en estudio [Grados]

L_m = Longitud de la estación en donde se midió la radiación Solar [Grados]

S_c = Corrección Estacional por el Tiempo Solar [Hora]

Los valores de ω dependen de los ángulos de ω_s , que es el ángulo de la hora de atardecer, y $-\omega_s$ que es el ángulo a la hora de amanecer, en donde $\omega < -\omega_s$ o $\omega > \omega_s$, indicando en la ecuación (3.21) que el sol esta por debajo del horizonte, entonces, por definición, R_a y R_{so} son cero y su cálculo no tiene importancia. Cuando los valores para ω_1 y ω_2 abarcan los valores de $-\omega_s$ y ω_s , indican que el amanecer o el atardecer ocurren dentro del periodo horario. En este caso, los limites que integran la ecuación (3.16), deben ser determinados por las siguientes condiciones:

Si $\omega_1 < -\omega_s$ entonces $\omega_1 = -\omega_s$

Si $\omega_2 < -\omega_s$ entonces $\omega_2 = -\omega_s$

Si $\omega_1 > \omega_s$ entonces $\omega_1 = \omega_s$

Si $\omega_2 > \omega_s$ entonces $\omega_2 = \omega_s$

Si $\omega_1 > \omega_2$ entonces $\omega_1 = \omega_2$

Que al aplicarlas garantizan una estabilidad numérica en el desarrollo de la ecuación (3.16), estableciendo cantidades correctas teóricas de la radiación solar en el tiempo temprano y tarde del día.

La determinación del ángulo de la hora de atardecer ω_s se presenta en la siguiente ecuación:

$$\omega_s = \arccos[-\tan\phi \tan\delta] \quad (3.22)$$

La corrección estacional por el tiempo solar, esta dada por:

$$S_c = 0.1645\text{sen}(2b) - 0.1255\text{cos}(b) - 0.025\text{sen}(b) \quad (3.23)$$

$$b = \frac{2\pi(J-81)}{364} \quad (3.24)$$

Donde le valor de J corresponde al número del día del año (numeración).

- **Densidad De Flujo De Calor En El Suelo (G):**

Es la energía térmica utilizada en el calentamiento del suelo. Su valor es positivo cuando el suelo se esta calentando y es negativo cuando se esta enfriando. Para el cálculo en los periodos horarios, el G bajo capas densas de cultivo de grama o alfalfa no tiene una correlación buena con la temperatura del aire, pero puede ser significativo. El G horario generalmente correlaciona bien con la radiación neta, la cantidad de cobertura vegetal y puede ser aproximado como una fracción de R_n .

Para la evapotranspiración del cultivo de referencia ET_{os} se tiene que:

$$G \text{ hr día} = 0.1 R_n \quad (3.25)$$

$$G \text{ hr noche} = 0.5 R_n$$

Por estandarización, el tiempo nocturno esta definido como la medición o el cálculo horario de la radiación neta menor que cero (0). La cantidad de energía consumida por G es sustraída de R_n cuando se estima ET_{os} .

A.3 RELACIÓN DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO

Gran parte del proceso de remoción del vapor de agua depende del viento, el cual reemplaza continuamente el aire saturado de vapor de agua con aire seco, permitiendo el transporte del agua y aumentando así la tasa de evapotranspiración.

La velocidad del viento varía con la altura sobre la superficie del suelo. Para su utilización se requiere que la velocidad del viento esté medida a 2 metros por encima de la superficie, por lo tanto se debe hacer un ajuste con las velocidades medidas por las estaciones debido a que estas tienen diferentes alturas. Este ajuste se realiza con la siguiente ecuación:

$$u_2 = u_z \frac{4.87}{\ln(67.8z_w - 5.42)} \quad (3.26)$$

Donde:

u_2 = Velocidad del Viento a 2 metros sobre la superficie del suelo [$m s^{-1}$]

u_z = Velocidad de viento a z_w m sobre la superficie del suelo [$m s^{-1}$]

z_w = Altura de la medida del viento sobre la superficie del suelo (correspondiente a cada estación) [m]

A.4 VALORES NEGATIVOS EN EL CALCULO DE ET_{os}

Los valores calculados para la ET de referencia en las horas nocturnas ocasionalmente toman valores negativos. Estos valores pueden ser el reflejo de una pequeña porción de condensación de vapor que se realiza en las horas de rocío en la madrugada, los cuales se pueden sumar para determinar el valor de ET_{os} diario. En otras situaciones el valor negativo puede indicar incertidumbres en los parámetros para la estimación de R_n y en la combinación de las ecuaciones anteriores.

El impacto del valor negativo en la determinación de la ET diaria es usualmente pequeño, por lo tanto se puede cambiar este valor por cero (0).

B. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE ET_c :

La determinación de la evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar ET_c requiere de la selección de un coeficiente de cultivo apropiado K_c , el cual se computa con los valores obtenidos de ET_{os} (ver ecuación 3.1). Para esto se aplicó la metodología FAO con el Procedimiento Indirecto de Cálculo, que se desarrolla teniendo en cuenta los siguientes factores o criterios referentes al coeficiente de cultivo:

- **TIPO DE CULTIVO**

Las diferencias en los cultivos se presentan por la altura del mismo, sus propiedades aerodinámicas, foliares y estomáticas, el albedo, etc. La rugosidad aerodinámica de los cultivos altos con relación a la grama, influyen la transferencia del vapor de agua desde la superficie, incrementando el valor de K_c . Los valores típicos de K_c para cultivos maduros se muestran en la TABLA 8 determinados por la FAO.

- **CLIMA**

Los valores de K_c pertenecen a condiciones climáticas estándar, definidas para un clima sub-húmedo con humedad relativa mínima durante el día (RH_{min}) mayor de 45% y que tengan vientos cuya velocidad promedie los 2 m/s. En los cultivos las variaciones de la velocidad del viento alteran la resistencia aerodinámica y sus coeficientes, especialmente en los que son más altos que el cultivo de referencia hipotético.

- **EVAPORACIÓN DEL SUELO**

Este factor depende de la frecuencia con que se humedezca un suelo, ya sea por irrigación o lluvia, y del tamaño del cultivo y su cubrimiento sobre el terreno. A mayor humedad del suelo, mayor será la evaporación y más aún bajo la presencia de un cultivo pequeño que cubre poco la superficie del suelo, por consiguiente los valores de K_c pueden ser mayores que 1.

- **ETAPAS DEL CRECIMIENTO DEL CULTIVO**

El crecimiento de un cultivo genera con el paso del tiempo unos cambios representativos en su área foliar, en su altura e inclusive en el terreno sobre el que se está desarrollando. Por esto, los valores de K_c varían también con las siguientes etapas de crecimiento (ver FIGURA 61):

Etapa Inicial: Comienza desde la plantación hasta aproximadamente el 10% de cobertura del terreno. Su duración varía con el tipo de cultivo, las condiciones climáticas y la fecha de plantación. En esta etapa la evapotranspiración esta representada por la evaporación debido a que el cultivo tiene un área foliar pequeña, y es la mayor influencia en la determinación del valor de K_c en esta etapa ($K_{c\ ini}$)

Etapa de desarrollo del Cultivo: Comienza a partir del 10% de la cobertura del terreno hasta la cobertura total. Dependiendo del tipo de cultivo se determina el momento de cubrimiento total. Ya que en este punto el cubrimiento del terreno es grande, la evapotranspiración es constituida principalmente por la transpiración, y el valor queda en función del desarrollo de la planta y la cantidad de terreno cubierto.

Etapa Media: Comienza a partir del cubrimiento efectivo total hasta el inicio de la maduración. En esta etapa K_c alcanza su máximo valor ($K_{c\ mid}$), el cual varía de su valor de referencia $K_c=1.0$ por las diferencias en altura de cultivo, resistencias y condiciones climáticas.

Etapa Final: Tiempo considerado desde el inicio de la madurez del cultivo hasta la cosecha, o en su defecto, el envejecimiento total del cultivo. El valor de K_c al inicio de esta etapa final ($K_{c\ end}$) muestra el manejo que se desarrollo sobre el cultivo y su manejo de irrigación.

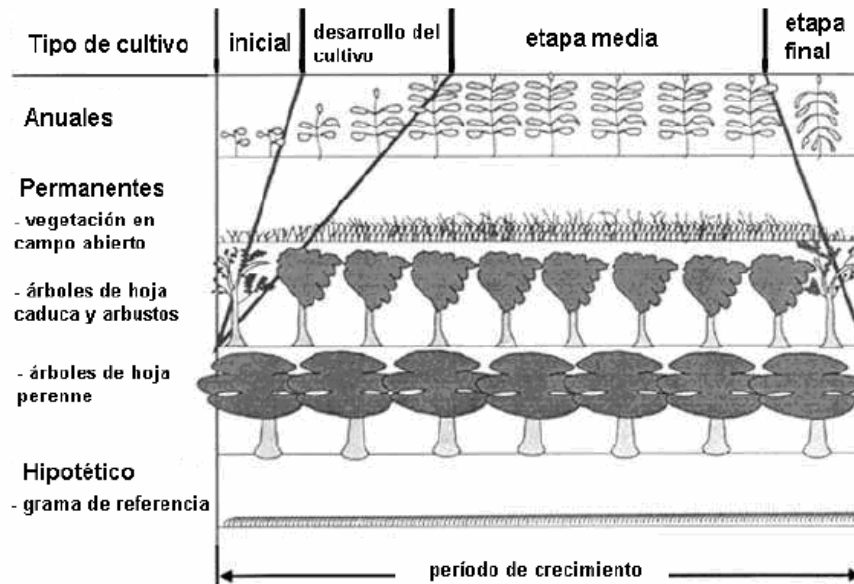


FIGURA 60. Etapas de crecimiento de diferentes tipos de cultivo.
Fuente: Tomada de documento FAO.



B.1 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE CULTIVO

Como el coeficiente K_c varía principalmente con las características del cultivo, permite que se estandaricen valores específicos entre climas y localidades, basándose principalmente en cuatro propiedades que distinguen los cultivos, de la grama de referencia los cuales son:

- Altura del cultivo
- Albedo de la superficie suelo-cultivo (capacidad de reflexión)
- Resistencia del dosel
- Evaporación desde el suelo

Estos coeficientes son la base para la determinación de la evapotranspiración bajo condiciones estándar (ET_c), las cuales se amarran a los siguientes supuestos:

- El terreno es casi cubierto en su totalidad, es decir que la densidad del terreno es lo suficientemente grande;
- El crecimiento del cultivo es normal;
- La fertilidad de la tierra es alta;
- El cultivo no presenta enfermedades ni plagas.

Para la selección del coeficiente, dependiendo de las características de la cuenca, se pueden utilizar los valores brindados por la TABLA 8, los cuales están definidos para las distintas etapas de crecimiento de los cultivos.

TABLA 8. Coeficientes de cultivo K_c y alturas medias de planta para cultivos bien manejados y sin estrés de humedad para climas sub-húmedos ($RH_{min} _ 45\%$, $u_2 _ 2$ m/s) para utilizar con la ET_o de FAO Penman-Monteith

Cultivo	K_c ini	K_c mid	K_c end	Máxima altura de cultivo, h (m)
a. Verduras Pequeñas	0.7	1.05	0.95	
Brócoli		1.05	0.95	0.3
Repollo, Col		1.05	0.95	0.4
Zanahorias		1.05	0.95	0.3
Coliflor		1.05	0.95	0.4
Apio		1.05	1.00	0.6
Ajo		1.00	0.70	0.3
Lechuga		1.00	0.95	0.3



Cebolla				
- junca (larga)		1.00	1.00	0.3
- cabezona		1.05	0.80	0.5
Espinaca		1.00	0.95	0.3
Rábano		0.90	0.85	0.3
b. Verduras – Familia Solanum (<i>Solanaceae</i>)	0.6	1.15	0.80	
Berenjena		1.05	0.90	0.8
Pimiento		1.05	0.90	0.7
Tomate		1.15	0.70- 0.90	0.6
c. Verduras – Familia Cucurbit (<i>Cucurbitaceae</i>)	0.5	1.00	0.80	
Pepino	0.6	1.00	0.75	0.3
Calabaza		1.00	0.80	0.4
Calabacín		0.95	0.75	0.3
Melón		1.05	0.75	0.4
Sandía	0.4	1.00	0.75	0.4
d. Raíces y Tubérculos	0.5	1.10	0.95	
Yuca				
- año 1	0.3	0.80	0.30	1.0
- año 2	0.3	1.10	0.50	1.5
Papa		1.15	0.75	0.6
Batata		1.15	0.65	0.4
Nabo		1.10	0.95	0.6
Remolacha	0.35	1.20	0.70	0.5
e. Legumbres (<i>Leguminosae</i>)	0.4	1.15	0.55	
Fríjol, verde	0.5	1.05	0.90	0.4
Fríjol, seco	0.4	1.15	0.35	0.4
Haba				
- Fresca	0.5	1.15 ²	1.10	0.8
- Seca	0.5	1.15	0.30	0.8

DETERMINACION DEL CAUDAL PROMEDIO DE LA MICROCUENCA DEL RIO LATO

Garbanzo	0.4	1.15	0.35	0.8
Judías		1.05	0.60-0.35	0.4
Lenteja		1.10	0.30	0.5
Guisante				
- Fresco	0.5	1.15	1.10	0.5
- Seco		1.15	0.30	0.5
Soja		1.15	0.50	0.5-1.0
f. Verduras Perennes (con inactividad invernal y suelo inicialmente desnudo o con mulch)	0.5	1.00	0.80	
Alcachofa	0.5	1.00	0.95	0.7
Espárrago	0.5	0.95	0.30	0.2-0.8
Menta	0.60	1.15	1.10	0.6-0.8
Fresas	0.40	0.85	0.75	0.2
g. Cultivos de Fibra				
Algodón		1.15-1.20	0.70-0.50	1.2-1.5
Lino		1.10	0.25	1.2
Sisal		0.4-0.7	0.4-0.7	1.5
h. Oleaginosas	0.35	1.15	0.35	
Girasol		1.0-1.15	0.35	2.0
i. Cereales	0.3	1.15	0.4	
Cebada		1.15	0.25	1
Avena		1.15	0.25	1
Trigo		1.15	0.25-0.4	1
Maíz		1.20	0.60-0.35	2
Millo		1.00	0.30	1.5
Sorgo		1.00-1.10	0.55	1-2
Arroz	1.05	1.20	0.90-0.60	1



j. Forrajas				
Heno de alfalfa				
- efectos promedio de corte	0.40	0.95	0.90	0.7
- períodos individuales de corte	0.40	1.20	1.15	0.7
- para semilla	0.40	0.50	0.50	0.7
Heno de Bermuda				
- efectos promedio de corte	0.55	1.00	0.85	0.35
- para semilla	0.35	0.90	0.65	0.4
Heno de trébol, Berseem				
- efectos promedio de corte	0.40	0.90	0.85	0.6
- períodos individuales de corte	0.40	1.15	1.10	0.6
Heno de pasto Rye				
- efectos promedio de corte	0.95	1.05	1.00	0.3
Heno de pasto Sudan (anual)				
- efectos promedio de corte	0.50	0.90	0.85	1.2
- períodos individuales de corte	0.50	1.15	1.10	1.2
Hierba para pastoreo				
- Pastoreo rotativo	0.40	0.85- 1.05	0.85	0.15-0.30
- Pastoreo extensivo	0.30	0.75	0.75	0.10
Pasto para césped				
- temporada fría	0.90	0.95	0.95	0.10
- temporada cálida	0.80	0.85	0.85	0.10
k. Caña de Azúcar	0.40	1.25	0.75	3
l. Árboles y frutas tropicales				
Banano				
- 1 ^{er} año	0.50	1.10	1.00	3
- 2 ^{do} año	1.00	1.20	1.10	4
Cacao	1.00	1.05	1.05	3
Café				
- suelo desnudo	0.90	0.95	0.95	2-3



- suelo con maleza	1.05	1.10	1.10	2-3
Palma de dátiles	0.90	0.95	0.95	8
Palmera	0.95	1.00	1.00	8
Piña				
- suelo desnudo	0.50	0.30	0.30	0.6-1.2
- suelo con pasto	0.50	0.50	0.50	0.6-1.2
Árbol del caucho	0.95	1.00	1.00	10
Te				
- sin sombra	0.95	1.00	1.00	1.5
- con sombra	1.10	1.15	1.15	2
m. Uvas y Bayas				
Bayas (arbusto)	0.30	1.05	0.50	1.5
Uvas				
- Pasa	0.30	0.85	0.45	2
- Vino	0.30	0.70	0.45	1.5-2
Lúpulo	0.3	1.05	0.85	5
n. Árboles frutales				
Almendro, sin terreno cubierto	0.40	0.90	0.65	5
Manzanos, Cerezos, Peras				
- suelo desnudo, con heladas	0.45	0.95	0.70	4
- suelo desnudo, sin heladas	0.60	0.95	0.75	4
- suelo cubierto, con heladas	0.50	1.20	0.95	4
- suelo cubierto, sin heladas	0.80	1.20	0.85	4
Albaricoque, Durazno, Ciruelo				
- suelo desnudo, con heladas	0.45	0.90	0.65	3
- suelo desnudo, sin heladas	0.55	0.90	0.65	3
- suelo cubierto, con heladas	0.50	1.15	0.90	3
- suelo cubierto, sin heladas	0.80	1.15	0.85	3
Aguacate, suelo desnudo	0.60	0.85	0.75	3
Cítricos, suelo desnudo				



- 70% dosel	0.70	0.65	0.70	4
- 50% dosel	0.65	0.60	0.65	3
- 20% dosel	0.50	0.45	0.55	2
Cítricos, suelo cubierto o con maleza				
- 70% dosel	0.75	0.70	0.75	4
- 50% dosel	0.80	0.80	0.80	3
- 20% dosel	0.85	0.85	0.85	2
Árboles de Coníferas	1.00	1.00	1.00	10
Kiwi	0.40	1.05	1.05	3
Olivos (40 a 60% del terreno cubierto por el dosel)	0.65	0.70	0.70	3-5
Pistachos, suelo desnudo	0.40	1.10	0.45	3-5
Huerto de nuez	0.50	1.10	0.6518	4-5
o. Humedales – clima templado				
Juncales, con heladas	0.30	1.20	0.30	2
Juncales, sin heladas	0.60	1.20	0.60	2
Vegetación corta, sin heladas	1.05	1.10	1.10	0.3
Pantano de junco, agua estancada	1.00	1.20	1.00	1-3
Pantano de junco, suelo húmedo	0.90	1.20	0.70	1-3
p. Especial				
Sup. Libre de Agua, < 2 m profundidad o en climas subhúmedos o trópicos		1.05	1.05	
Sup. Libre de Agua, > 5 m profundidad, libre de turbiedad, clima templado		0.6525	1.2525	

Fuentes: Kc ini: Doorenbos and Kassam (1979)

Kc mid y Kc end: Doorenbos and Pruitt (1977); Pruitt (1986); Wright (1981, 1982).

Snyder et al.,(1989)

En el presente estudio se utilizaron los valores de $K_{c \text{ mid}}$, por poseer las características de máximo desarrollo del cultivo, teniendo en cuenta el manejo de la ET del mismo en comparación con la ET de la grama de referencia. Los cultivos que no poseen un valor de K_c

específico, fueron analizados por las propiedades de los mismos incluidas entre los factores que afectan K_c .

B.2 ANALISIS DE LA ZONA EN ESTUDIO

En la determinación del coeficiente de cultivo se analizaron las características de la Subcuenca del Río de Oro según lo acordado en la metodología de cálculo de la Evapotranspiración Real, realizando un enfoque detallado en la región de la Microcuenca del Río Lato, el cual se encuentra enunciado en el Capítulo 1.

Con respecto a la Subcuenca del Río de Oro se expondrán las principales características analizadas para la determinación del coeficiente de cultivo K_c , haciendo énfasis en los tipos de suelos y vegetación existentes en la subcuenca.

La Subcuenca del Río de Oro perteneciente a la Cuenca Superior del Río Lebrija, tiene una extensión de 585 km², y esta dividida en las siguientes microcuencas:

TABLA 9.División de la Subcuenca del río de Oro

CUENCA SUPERIOR DEL RIO LEBRIJA		
SUCUENCA	MICROCUENCA	MUNICIPIO
RIO DE ORO	Oro Alto	Piedecuenta
	Lato	Piedecuenta
	Oro Medio	
	Río Frio	Floridablanca
	Oro Bajo	Bucaramanga, Girón

Fuente: Autores

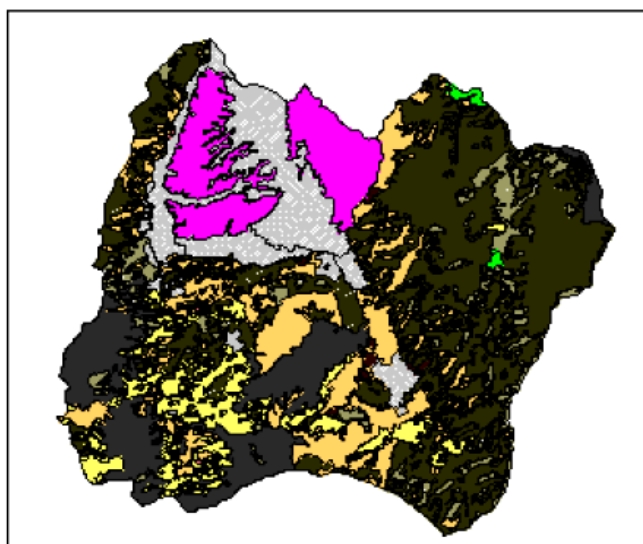
Estas a su vez tienen características propias de clima y humedad que establecen la variedad de texturas presentes en el suelo de la Subcuenca del Río de Oro. A continuación se presenta una Tabla que indica en forma detallada las propiedades mencionadas anteriormente.

TABLA 10. Suelos Sub-cuenca Río de Oro.

Paisaje	Clima	Características	Texturas
Montaña	Muy frío ligeramente húmedo	Topografía inclinada, relieve escarpado a fuertemente escarpado, fertilidad alta	Franco arcilloarenosa y franca
	Muy frío moderadamente húmedo	Topografía fuertemente quebrada, fertilidad baja	Franco arcilloarenosa
	Frío moderadamente húmedo	Topografía ligeramente plana a ligeramente inclinada, fertilidad media	Franco arenosa
	Frío semi-húmedo	Relieve fuertemente quebrado, fertilidad baja	Franco arcilloarenosa
	Medio super-húmedo	Relieve fuertemente quebrado, fertilidad baja	Franco arcillosa
	Medio moderadamente húmedo	Relieve fuertemente quebrado a escarpado, fertilidad baja	Franco arcillosa
	Medio semi-húmedo	Relieve fuertemente escarpado a plano, fertilidad baja a media	Franco arenosa y franco arcillosa
	Medio semi-seco	Relieve fuertemente escarpado a ligeramente plano pasando por ondulado, fertilidad baja a alta, erosión severa	Franco arcillosa
	Cálido semiseco	Relieve fuertemente inclinado, fertilidad baja	Franco arcillosa
Piedemonte	Medio semi-húmedo	Relieve fuertemente escarpado a ligeramente plano pasando por ondulado, fertilidad baja	Franco arcillosa y franco arenosa
	Cálido semiseco	Relieve fuertemente quebrado a ligeramente plano, fertilidad moderada, erosión muy severa	Franco arcillosa
Valle	Cálido semiseco	Topografía ligeramente plana a plana, fertilidad media, erosión moderada	Franco arenosa y franco arcilloarenosa
	Medio semi-seco	Topografía ligeramente plana, fertilidad moderada	Franco arenosa
	Medio semi-húmedo	Topografía ligeramente inclinada a plana, fertilidad moderada a baja	Franco arcilloarenosa y franco arenosa

Fuente: POAT Río de Oro (CDBM, 2004)

La vegetación también presenta gran variedad en la zona, afectando la determinación de los usos del suelo de la misma. Esta distribución se describe en la FIGURA 62, tomada de la información de los POAT de la zona, proporcionados por la CDMB.




MACRO-GRUPO	GRUPO	SUB-GRUPO		AREA (has)
AREAS PROTEGIDAS	D.M.I.		Distrito de manejo integrado de Bucaramanga	5073.3
TIERRAS AGROPECUARIAS MIXTAS	CULTIVOS AGRICOLAS		Piña	309.7
			Citricos	111
			C.Semipermanentes	3648.2
			C.Mixtos	6517.8
	POTREROS ABIERTOS		Pastos Naturales	4454.6
	TIERRAS AGROP. MIXTAS		Cultivos-Pastos-Rastrojos	1872.9
TIERRAS AGROFORESTALES	SILVOAGRICOLA		Café Sombra	45.4
			Caña-Caracolí	233.8
BOSQUE	BOSQUE NATURAL		Bosque Secundario	16061.2
			Rastrojo	4292.7
	BOSQUE PLANTADO		Coníferas	375.3


FORMAS DE VEGETACION ESPECIAL	ARBUSTIVAS		Matorrales	4629.7
	HERBACEAS		Pajonales	2137.9
			Vegetación de paramo	318.7
ERIAL	SUELO DESNUDO		Erosión	42.2
			Material de Arrastre	21.2
INFRAESTRUCTURA CONSTRUIDA	URBANA		Zona Urbana	6691.9
	RURAL		Zona Suburbana	104.7

FIGURA 61. Mapa cobertura vegetal de la Subcuenca del Río de Oro.
Fuente: POAT Río de Oro (CDMB, 2004)

Para un mejor manejo de la información se agruparon los diferentes usos del suelo por zonas, inicialmente se dividió dependiendo del tipo de cobertura vegetal. Estas a su vez presentan una variabilidad considerable en la capacidad de almacenamiento del agua como es el caso entre una zona de cultivo y una zona de bosques, permitiendo una segunda clasificación aún mayor (ver TABLA 11).

TABLA 11. Clasificación de los diferentes usos del suelo en la Subcuenca del Río de Oro

SUBZONA	AGRUPACION PRELIMINAR	TIPO DE VEGETACION
HERBACEA 	PASTOS	Distrito de manejo integrado de Bucaramanga
		Pastos Naturales
	CULTIVOS	Piña
		Citricos
		C.Semipermanentes
		C.Mixtos
		Cultivos-Pastos-Rastrojos
		Café Sombra
		Caña-Caracolí
	VEGETACION ESPECIAL	Matorrales
		Pajonales
		Vegetación de paramo

BOSCOSA 	BOSQUE SECUNDARIO	Bosque Secundario
	BOSQUE PLANTADO	Coníferas
	RASTROJO	Rastrojo
SIN VEGETACION 	ZONA SIN VEGETACION	Erosión
		Material de Arrastre
		Zona Urbana
		Zona Suburbana

Fuente: CDMB, 2003 e IZASA, 2004.



FIGURA 62. Mapa de Subzonas de la Subcuenca del Río de Oro

C. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE EVAPOTRANSPIRACIÓN DE CULTIVO EN CONDICIONES NO ESTÁNDAR ETR:

Como se menciona anteriormente el factor que determina finalmente el valor de ETR es la humedad del suelo, la cual es alimentada por la infiltración que va ligada directamente con la precipitación de la zona y conforma una especie de reserva de agua que se utiliza para la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas.

El manejo de la humedad del suelo se integra en esta metodología con la aplicación del Coeficiente de Humedad del Suelo K_s , es decir,

$$ETR = ET_c * K_s \quad (3.27)$$

Estos coeficientes se determinan con el comportamiento bimodal que caracteriza a la precipitación durante las diferentes épocas del año, separándolos mensualmente en periodos secos y lluviosos representativos.

Sus valores fueron estimados por medio de porcentajes basándose en la precipitación presente en los meses del periodo de tiempo hidrológico representativo en la Subcuenca del Río de Oro estudiados por García y Otero, siendo adoptados por los autores del presente texto. (Ver TABLA 12).

TABLA 12. Factores de Humedad del Suelo subcuenca Río de Oro

Período Seco 1			Período Lluvioso 1			Período Seco 2			Período Lluvioso 2		
DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV
0.45	0.4	0.45	0.65	0.75	0.85	0.5	0.45	0.5	0.65	0.75	0.85

Fuente: GARCIA y OTERO, 2005.

Estos valores fueron aplicados directamente en la determinación de la ETR de la Microcuenca del Río Lato, ya que sus periodos de lluvia están contenidos en el comportamiento general de la subcuenca a la que pertenece.

3.1.3 ESTIMACION DE LA EVAPOTRANSPIRACION REAL

Inicialmente se realizaron los cálculos pertenecientes a la ecuación de Penman-Monteith (ASCE-PM) (Ecuación 3.4), determinando los valores de ET_{os} horario de las estaciones analizadas. Posteriormente se realizó la sumatoria correspondiente de estos valores para obtener los periodos diarios. Por medio del programa SURFER 8 se distribuyeron espacialmente estos datos, en primer lugar sobre una zona de mayor extensión que abarca la Subcuenca del Río de Oro obteniendo la ET_{os} media diaria para los tres años hidrológicos en estudio (Marzo 2002- Febrero 2005).



TABLA 13. Evapotranspiración de referencia para pasto corto ET_{os} , en las cuatro estaciones en estudio- Año 1

AÑOS HIDROLOGICOS	MES	ETos MENSUAL (mm)			
		CENTRO	CHIMITA	PTAR	UIS
AÑO 1	MARZO	121.58	146.49	117.71	117.28
	ABRIL	104.43	134.32	105.25	108.59
	MAYO	114.27	142.90	112.65	121.38
	JUNIO	96.69	125.64	82.07	94.60
	JULIO	107.31	138.60	99.73	107.69
	AGOSTO	117.61	153.44	110.75	120.31
	SEPTIEMBRE	117.50	138.90	111.00	113.99
	OCTUBRE	118.20	139.47	108.42	114.15
	NOVIEMBRE	106.48	123.12	104.44	101.40
	DICIEMBRE	104.17	126.96	108.31	108.90
	ENERO	114.75	128.33	121.53	116.16
	FEBRERO	110.01	120.67	111.75	104.57

Fuente: Autores

TABLA 14. Evapotranspiración de referencia para pasto corto ET_{os} , en las cuatro estaciones en estudio- Año 2

AÑOS HIDROLOGICOS	MES	ETos MENSUAL (mm)			
		CENTRO	CHIMITA	PTAR	UIS
AÑO 2	MARZO	126.19	137.20	120.75	115.01
	ABRIL	114.18	141.03	101.25	112.70
	MAYO	115.60	148.99	104.97	116.15
	JUNIO	106.52	131.76	102.59	104.93
	JULIO	100.66	125.26	99.42	98.99
	AGOSTO	112.42	148.25	103.84	116.51
	SEPTIEMBRE	106.36	130.97	99.08	97.48
	OCTUBRE	98.78	112.53	100.88	94.70
	NOVIEMBRE	95.97	111.61	106.65	96.59
	DICIEMBRE	102.28	112.10	108.62	102.10
	ENERO	106.30	110.80	111.92	106.01
	FEBRERO	120.06	126.26	113.14	113.72

Fuente: Autores



TABLA 15. Evapotranspiración de referencia para pasto corto ET_{os} , en las cuatro estaciones en estudio- Año 3

AÑOS HIDROLOGICOS	MES	ETos MENSUAL (mm)			
		CENTRO	CHIMITA	PTAR	UIS
AÑO 3	MARZO	134.56	122.99	120.78	115.50
	ABRIL	114.41	95.24	94.83	97.10
	MAYO	132.95	108.85	97.35	110.75
	JUNIO	126.18	106.38	105.66	101.76
	JULIO	126.17	100.29	104.15	103.19
	AGOSTO	141.41	113.17	107.61	109.45
	SEPTIEMBRE	131.52	110.74	84.84	98.14
	OCTUBRE	126.98	109.66	100.54	102.07
	NOVIEMBRE	106.55	98.73	98.28	90.73
	DICIEMBRE	113.47	104.32	105.51	99.55
	ENERO	91.86	97.06	101.87	96.79
	FEBRERO	89.54	93.91	75.76	91.19

Fuente: Autores

Los valores que se determinaron para la zona enunciada anteriormente se pueden observar en la siguiente Tabla.

TABLA 16. Evapotranspiración de referencia para pasto corto ET_{os} , en la zona general de la Subcuenca del Río de Oro.

ETos ZONA GENERAL SUCUENCA RIO DE ORO (mm)					
AÑO 1	ETos	AÑO 2	ETos	AÑO 3	ETos
MARZO	125.37	MARZO	124.65	MARZO	123.42
ABRIL	112.71	ABRIL	116.41	ABRIL	100.14
MAYO	122.21	MAYO	120.52	MAYO	111.71
JUNIO	98.79	JUNIO	110.99	JUNIO	109.87
JULIO	112.59	JULIO	105.74	JULIO	108.32
AGOSTO	124.71	AGOSTO	119.34	AGOSTO	117.48
SEPTIEMBRE	119.86	SEPTIEMBRE	108.03	SEPTIEMBRE	105.25
OCTUBRE	119.44	OCTUBRE	101.72	OCTUBRE	109.41
NOVIEMBRE	108.66	NOVIEMBRE	102.95	NOVIEMBRE	98.65
DICIEMBRE	111.87	DICIEMBRE	106.43	DICIEMBRE	105.78
ENERO	120.28	ENERO	108.95	ENERO	97.15
FEBRERO	111.80	FEBRERO	118.05	FEBRERO	86.91

Fuente: Autores.

Continuando con el proceso se realizó un Modelo de Elevación Digital (DEM) con la Subcuenca del Río de Oro dividida en las tres subzonas de usos del suelo expuestas anteriormente con sus

respectivos valores de K_c . Estos valores representan el promedio de los K_c correspondientes a los tipos de vegetación incluidos a cada subzona (TABLA 11) para una mayor facilidad en la aplicación del procedimiento. Como aclaración, es importante resaltar que no existe un estudio desarrollado para Colombia como guía para la determinación exacta de este coeficiente, por lo tanto los valores tomados presentan un grado de incertidumbre con respecto a su veracidad, pero son un paso en el inicio de su definición. Estos de todas maneras se adaptaron con la mejor aproximación a los proporcionados por la FAO, como única metodología base para su determinación.

Posteriormente se multiplico este DEM con el mapa de la Microcuenca del Río Lato, por medio del programa SPELL.MAP, para obtener el DEM de coeficientes correspondiente a la microcuenca, multiplicándose enseguida con el mapa de la ET_{os} para calcular los valores de ET_c (ver TABLA 18).

TABLA 17. Coeficientes de Cultivo de la clasificación subzonas usos del suelo.

SUBZONA	Kc TIPO DE VEGETACION		Kc
HERBACEA	Distrito de manejo integrado de Bucaramanga	1	0.92
	Pastos Naturales	1	
	Piña	0.8	
	Citricos	0.81	
	C.Semipermanentes	0.95	
	C.Mixtos	0.5	
	Cultivos-Pastos-Rastrojos	1.02	
	Café Sombra	1.1	
	Caña-Caracolí	1.03	
	Matorrales	1	
	Pajonales	0.9	
Vegetación de paramo	1		
BOSCOSA	Bosque Secundario	0.8	0.85
	Coníferas	0.85	
	Rastrojo	0.9	
SIN VEGETACION	Erosión	1.05	1.05
	Material de Arrastre	1.05	
	Zona Urbana	1.05	
	Zona Suburbana	1.05	

Fuente: Autores.

TABLA 18. Evapotranspiración de un Cultivo en Condiciones Estándar ET_c de la Microcuenca del Río Lato.

ET _c MICROCUENCA RIO LATO (mm)					
AÑO 1	ET _c	AÑO 2	ET _c	AÑO 3	ET _c
MARZO	108.80	MARZO	109.07	MARZO	122.62
ABRIL	97.47	ABRIL	99.96	ABRIL	99.44
MAYO	105.62	MAYO	103.32	MAYO	109.94
JUNIO	84.19	JUNIO	96.02	JUNIO	109.30
JULIO	96.71	JULIO	91.66	JULIO	107.98
AGOSTO	107.11	AGOSTO	102.19	AGOSTO	116.46
SEPTIEMBRE	102.68	SEPTIEMBRE	93.40	SEPTIEMBRE	102.70
OCTUBRE	103.30	OCTUBRE	89.10	OCTUBRE	108.16
NOVIEMBRE	94.74	NOVIEMBRE	90.63	NOVIEMBRE	98.19
DICIEMBRE	97.40	DICIEMBRE	93.71	DICIEMBRE	105.32
ENERO	105.67	ENERO	96.18	ENERO	96.78
FEBRERO	98.18	FEBRERO	103.26	FEBRERO	84.61

Fuente: Autores.

Finalmente se realizó el ajuste que determina la ETR con los valores de coeficientes de humedad del suelo para cada mes de acuerdo al comportamiento de la precipitación.

TABLA 19. Evapotranspiración Real Microcuenca Río Lato

ETR MICROCUENCA RIO LATO (mm)					
AÑO 1	ETR	AÑO 2	ETR	AÑO 3	ETR
MARZO	70.72	MARZO	70.89	MARZO	70.77
ABRIL	73.10	ABRIL	74.97	ABRIL	66.22
MAYO	89.78	MAYO	87.82	MAYO	82.96
JUNIO	42.10	JUNIO	48.01	JUNIO	48.53
JULIO	43.52	JULIO	41.25	JULIO	43.14
AGOSTO	53.55	AGOSTO	51.09	AGOSTO	51.70
SEPTIEMBRE	66.74	SEPTIEMBRE	60.71	SEPTIEMBRE	59.26
OCTUBRE	77.47	OCTUBRE	66.83	OCTUBRE	72.02
NOVIEMBRE	80.53	NOVIEMBRE	77.04	NOVIEMBRE	74.11
DICIEMBRE	43.83	DICIEMBRE	42.17	DICIEMBRE	42.08
ENERO	42.27	ENERO	38.47	ENERO	34.38
FEBRERO	44.18	FEBRERO	46.47	FEBRERO	33.80
REGIMEN EVAPOTRANSPIRACION REAL	727.79	REGIMEN EVAPOTRANSPIRACION REAL	705.72	REGIMEN EVAPOTRANSPIRACION REAL	678.98

Fuente: Autores

Como se puede observar, los resultados de la ETR muestran la acción que ejerce la precipitación sobre estos, permitiendo que la evapotranspiración sea mayor en los meses de época lluviosa, especialmente en los meses de mayo y noviembre, por el gran contenido de agua presente en el suelo. Ocurre lo contrario en periodos secos donde la evapotranspiración alcanza valores mínimos de hasta 33.80 mm, en el caso de febrero, por finalizar el periodo seco.

3.2. PRECIPITACION

Para que ocurra la precipitación, se requiere algún mecanismo que enfríe el aire lo suficiente para que llegue de esta manera al punto de saturación o cerca de éste. Los enfriamientos de grandes masas necesarios para que se produzcan cantidades significativas de precipitación, se logran cuando ascienden las masas de aire. Este fenómeno se lleva a cabo por medio de sistemas convectivos o convergentes que resultan de radiaciones desiguales las cuales producen calentamiento o enfriamiento de la superficie de la tierra y la atmósfera, o por barreras orográficas.

Sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua. Por lo cual se ha desarrollado una gran variedad de instrumentos y técnicas para obtener información de las diferentes fases de la precipitación. Los instrumentos para medir la cantidad (Pluviómetro) y la intensidad (Pluviógrafo) de ésta son los más importantes.

Todas las formas de precipitación se miden sobre la base de una columna vertical de agua que se acumularía sobre una superficie a nivel si la precipitación permanece en el lugar donde cae, en el sistema métrico la precipitación se mide en milímetros y decimos de milímetro.

Para el presente proyecto se analizaron los datos de precipitación de las estaciones en milímetros (Marzo 2002- Febrero 2005), los cuales estaban determinados para un periodo de tiempo horario. Se realizó la suma respectiva para obtener la precipitación en periodos diarios y consecutivamente se espacializaron por medio del software Surfer 8 para multiplicarlos con el mapa de la Microcuenca del Río Lato y así obtener los valores de precipitación media de la misma (Ver TABLA 20).



TABLA 20. Precipitación media mensual en las cuatro estaciones en estudio
Año 1

AÑOS HIDROLOGICOS	MES	PRECIPITACION MENSUAL (mm)			
		CENTRO	CHIMITA	PTAR	UIS
AÑO 1	MARZO	114.5	76.2	57.2	141.4
	ABRIL	177.5	85.7	106.2	197.8
	MAYO	109	130	217	117.2
	JUNIO	157.5	91.2	83.6	111.7
	JULIO	73	91.6	94.8	65.2
	AGOSTO	49	45	61	23.7
	SEPTIEMBRE	62	57.9	49.6	67.5
	OCTUBRE	78.5	103	57.8	80.4
	NOVIEMBRE	89	0.4	101.8	51.3
	DICIEMBRE	23.5	0	17.4	23.3
	ENERO	96.5	0	50.4	80.7
	FEBRERO	193	135.8	169.6	148.2

Fuente: Autores.

TABLA 21. Precipitación media mensual en las cuatro estaciones en estudio
Año 2

AÑOS HIDROLOGICOS	MES	PRECIPITACION MENSUAL (mm)			
		CENTRO	CHIMITA	PTAR	UIS
AÑO 2	MARZO	178	160	125.2	152.8
	ABRIL	37	108.7	209.4	97.1
	MAYO	0	52.7	66.4	65
	JUNIO	0	65.9	110.8	97.9
	JULIO	87	106.4	139.6	97.5
	AGOSTO	44.5	43	101.6	32.8
	SEPTIEMBRE	198	111.6	189.2	203.9
	OCTUBRE	143.5	153.7	179.2	141
	NOVIEMBRE	119	84.9	147.6	147.6
	DICIEMBRE	108.5	51.7	50	86.6
	ENERO	74.5	66.4	45.4	122.8
	FEBRERO	54	7.6	54.2	70.1

Fuente: Autores.



TABLA 22. Precipitación media mensual en las cuatro estaciones en estudio
Año 3

AÑOS HIDROLOGICOS	MES	PRECIPITACION MENSUAL (mm)			
		CENTRO	CHIMITA	PTAR	UIS
AÑO 3	MARZO	107	91	172	101
	ABRIL	97.2	63	14	72.5
	MAYO	99.1	169.5	88	129.7
	JUNIO	19.2	47.5	36.6	45.9
	JULIO	81.8	86.5	104.8	43.3
	AGOSTO	51.8	61.5	69.8	85.4
	SEPTIEMBRE	69.9	60.5	81.8	75.1
	OCTUBRE	105.4	168.5	106.6	100.4
	NOVIEMBRE	122.4	169	159.6	123.7
	DICIEMBRE	75.9	115	76.8	142.8
	ENERO	166.7	55	73.4	69.7
	FEBRERO	300	296	333.8	299.9

Fuente: Autores.

Se observa que en el año hidrológico 1 los meses de diciembre y enero, en la estación de Chimita, presentan precipitación cero (0). Esta anomalía fue encontrada en el momento de obtener los registros horarios directamente de la estación meteorológica y se considera que se produjo por errores en el registro de los datos o por presentarse problemas en el aparato medidor, entre otros factores ajenos al proceso de esta investigación. Por no estar dentro de los alcances, no se realizó un modelamiento de la precipitación como tratamiento de los datos, ya que éste representa un estudio especial y profundo implicando un tiempo mayor que el estipulado para la duración del proyecto.

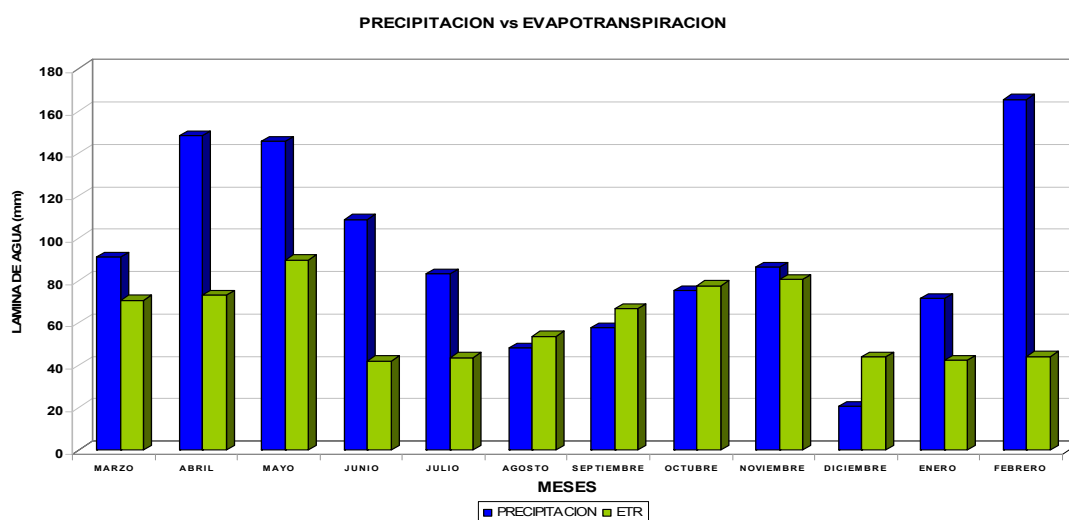
Para los Años 1 y 3 se observó para el mes de Febrero, periodo típicamente seco valores anormales de precipitación y muy por encima de los esperados para esta zona y época del año. Para el primero de ellos Año 1 no se encuentra explicación a este fenómeno, para el Año 3 se puede hacer referencia al evento ocurrido para la época del 12 de Febrero donde ocurrió la catástrofe del Municipio de Girón y que explicaría el comportamiento anormal de este mes.

**TABLA 23.** Precipitación Microcuenca Río Lato

PRECIPITACION MICROCUENCA RIO LATO (mm)					
AÑO 1	PRECIPITACION	AÑO 2	PRECIPITACION	AÑO 3	PRECIPITACION
MARZO	91.161275	MARZO	149.75	MARZO	126.81
ABRIL	148.4115943	ABRIL	127.14	ABRIL	51.82
MAYO	145.6745238	MAYO	47.10	MAYO	118.47
JUNIO	108.9252902	JUNIO	72.79	JUNIO	38.18
JULIO	83.03659736	JULIO	112.56	JULIO	84.37
AGOSTO	48.03100036	AGOSTO	63.93	AGOSTO	67.67
SEPTIEMBRE	57.59989467	SEPTIEMBRE	181.06	SEPTIEMBRE	73.12
OCTUBRE	75.07786774	OCTUBRE	158.48	OCTUBRE	120.76
NOVIEMBRE	86.18254742	NOVIEMBRE	129.74	NOVIEMBRE	148.68
DICIEMBRE	20.62266121	DICIEMBRE	72.10	DICIEMBRE	99.04
ENERO	71.42290347	ENERO	71.29	ENERO	83.93
FEBRERO	165.586394	FEBRERO	49.30	FEBRERO	311.97
REGIMEN PRECIPITACION ANUAL	1101.73	REGIMEN PRECIPITACION ANUAL	1235.23	REGIMEN PRECIPITACION ANUAL	1324.82

Fuente: Autores

Con los resultados espacializados en el área completa de la microcuenca, se puede observar el déficit en el régimen de precipitación anual que se presenta en el año hidrológico 1, que es de 133.50 mm con respecto al año 2 y de 223.09 mm con respecto al año 3, debido a la anomalía presentada anteriormente. Por lo tanto se desarrollo un análisis gráfico para estudiar el comportamiento de las variables evapotranspiración y precipitación a lo largo de cada año hidrológico.

**FIGURA 63.** Precipitación y Evapotranspiración media mensual en la Microcuenca del Río Lato – Año1

De la FIGURA 63 se observa claramente que en los periodos secos comprendidos entre los meses de Junio-Agosto y Diciembre-Febrero la tasa de Evapotranspiración sobrepasa los niveles de la Precipitación con algunas variaciones como fenómeno como la presentada en el mes de Febrero, para la variable precipitación tenemos 1071.45 mm/año y 917.69 mm/año para la Evapotranspiración Real lo que lo que corresponde a que el 85.65% de la Precipitación anual se convierte en Evapotranspiración.

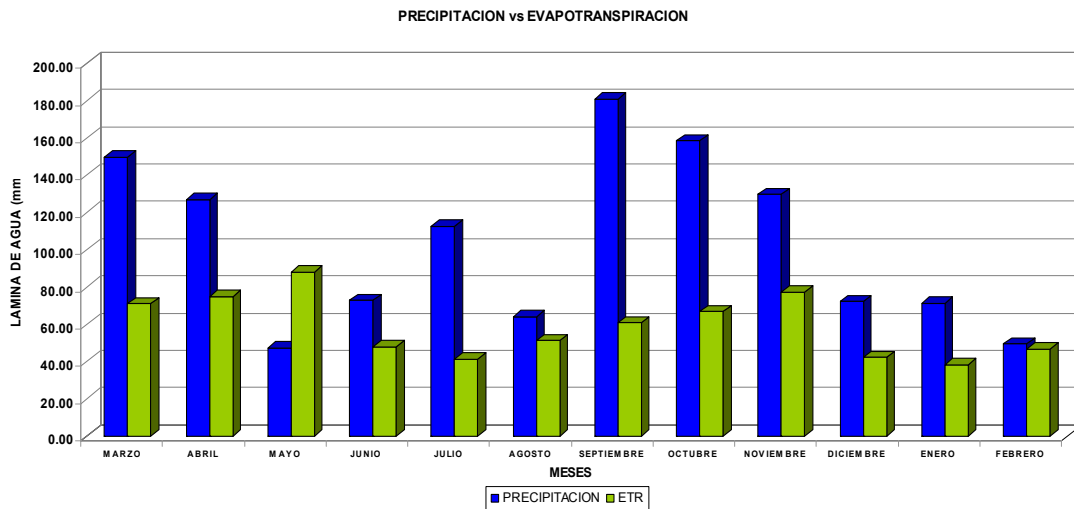


FIGURA 64. Precipitación y Evapotranspiración media mensual en la Microcuenca del Río Lato – Año2

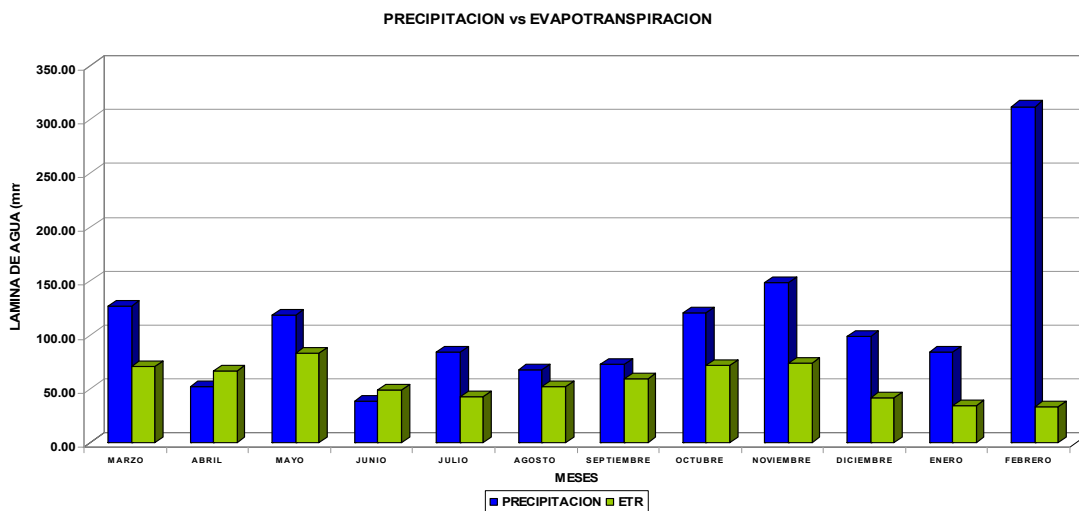


FIGURA 65. Precipitación y Evapotranspiración media mensual en la Microcuenca del Río Lato – Año3.

La FIGURA 63 muestra el mejor comportamiento de los tres años evaluados, presenta las mayores precipitaciones en los meses correspondientes a época húmeda como los son Marzo-Mayo y Septiembre-Noviembre. Para este año los valores de las variables graficadas corresponden a 1235.23 mm/año de Precipitación y 705.72 mm/año de Evapotranspiración lo que nos da como resultado que el 57% de la Precipitación anual se convierte en Evapotranspiración.

Para la FIGURA 64 se encontró un comportamiento muy parecido al del primer año de estudio con un fenómeno identificable como fue el evento del mes de Febrero que corresponde a la Catástrofe del día 12 del mismo mes en el Municipio de Girón, el cual se caracterizo por los altos valores de Precipitación, para este año tenemos valores de 1324.82 mm/año para la Precipitación y de 678.98 mm/año dado para la Evapotranspiración lo que nos muestra que el 51% de la Precipitación anual se evapotranspira.

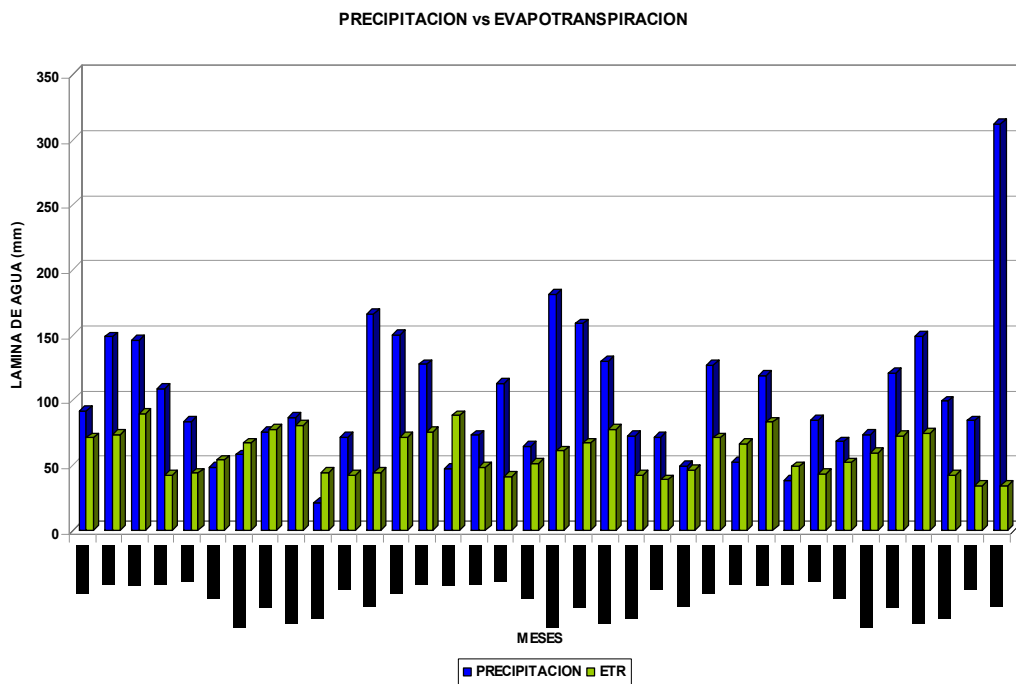


FIGURA 66. Precipitación y Evapotranspiración media mensual en la Microcuenca del Río Lato – Periodo Evaluado.

Para la totalidad de la cuenca se estimó un valor de 3661.79 mm para la Precipitación y 2112.49 mm para la Evapotranspiración que corresponde al 58% de pérdida de agua hacia la atmósfera por Evapotranspiración.

3.3. CONSUMO HUMANO

Los seres humanos utilizan intensivamente el recurso hídrico tanto para sus necesidades biológicas y culturales básicas como para las diferentes actividades económicas. Aunque el mayor uso de agua tiene lugar en las actividades agropecuarias los aspectos más críticos de disponibilidad tienen relación con sus usos para el abastecimiento de agua potable para la población, para los procesos industriales y para la generación de energía eléctrica.

El consumo humano se determina por cada una de las concesiones (I_s) que el Río Lato brinda a las actividades anteriores representadas por entidades que se encargan de su manejo adecuado., en este caso la CDMB, por la captación subterránea (I_g) y el retorno (D).

A. CONCESIONES

Estos permisos se rigen bajo el Decreto Ley 2811 de 1974 - Decreto 1541 de 1978, la obtención de una de estas concesiones se hará por medio de resolución expresa de la entidad encargada de regular la explotación hídrica. Para la Microcuenca del Río Lato la entidad encargada de esta labor es la CDMB. De esta misma entidad se hizo la recolección de las concesiones otorgadas por la Corporación desde el año 1987 fecha en la cual se encontró el primer expediente de concesión otorgado al ICP Instituto Colombiano del Petróleo hasta el año 2005. El listado de concesiones al cual se le encontraron registro se muestra en el ANEXO A.

TABLA 24. Listado de Caudales otorgados por concesiones para la microcuenca del Río Lato

AÑO	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Q OTORGADO (lps)	30	NR	NR	10.51	NR	5.96	4.27	3	25.5	13.83
AÑO	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Q OTORGADO (lps)	56.88	1.27	1.238	1.12	12.04	11.924	9.05	141.077	NR	NR

Fuente. Expedientes CDMB

Se puede observar que en muchos años no se encontraron registro de las concesiones otorgadas y que pueden ser consecuencia de los siguientes factores:

- Información incompleta proporcionada por parte de la CDMB con respecto a los expedientes existentes, debido a que el personal encargado del proceso de creación de la base de datos de la Corporación la cual esta siendo llevada a cabo actualmente, no facilitaban el acceso a la información solicitada.
- Procesos legales sobre algunos expedientes, que derivan en que estos se encuentren en juzgados y apoderados por lo cual no se encuentra el expediente en la entidad.
- Falta de actualización de los expedientes dado que las resoluciones tienen fecha de vencimiento.
- Concesiones no registradas ante la CDMB (conocidas como piratas).

Lo anteriormente mencionado no permite determinar de manera acertada el valor concesionado de la Microcuenca del Río Lato con respecto a su valor real.

B. CAPTACION SUBTERRANEA

Este valor se toma como $I_g = 0$ debido a la falta de estudios en la zona que determine su valor exacto o por lo menos una aproximación a éste.

C. RETORNO

Este parámetro depende de un coeficiente que representa la cantidad de agua que es entregada al sistema. La estimación de este parámetro proviene del análisis detallado de información para la zona o de estudios de campo que puedan determinar su valor.

Para el presente estudio se acordó, junto con el director de proyecto, el posible destino del agua en su recorrido de retorno de acuerdo a cada una de las concesiones, determinando para las propiedades rurales que no tienen conexión de alcantarillado un 20% y un 0% para aquellas que entregan su agua directamente al Acueducto de Piedecuesta. Este supuesto es asumido por no poseer información de la determinación del porcentaje o por falta de guía que indique los parámetros a seguir.



3.3.2 ESTIMACION DEL CONSUMO HUMANO

Con respecto a los valores antrópicos, se tiene como cálculo:

$$I_s = 327.69 \text{ lps} = 222.67 \text{ mm/año}$$

$$I_g = 0$$

$$D = 33.37 \text{ lps} = 22.66 \text{ mm/año}$$

Entonces:

$$A = 222.67 \text{ mm/año} - 22.66 \text{ mm/año} = 199.81 \text{ mm/año}$$



4. BALANCE HIDROLOGICO A LARGO PLAZO

Como se mencionó en el CAPITULO 1 las variables que actúan en la ecuación del balance (Ecuación 1.4) son la evapotranspiración, la precipitación, el consumo humano y el caudal superficial. Las tres primeras fueron analizadas de forma completa en el CAPITULO 3 con su respectiva determinación sobre la Microcuenca del Río Lato. Con respecto al caudal superficial se desarrollarán sus conceptos y su posterior determinación en el presente capítulo.

4.1.DETERMINACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO

La relación demanda-oferta para condiciones de distribución del agua en un año promedio de una cuenca, depende de los procesos que alteran directamente el ciclo hidrológico de la misma. Como el balance a aplicar es de largo plazo los factores detonantes del ciclo son la precipitación y la evapotranspiración por su magnitud en comparación con la infiltración.

La confrontación y relación entre la demanda y la oferta se hace teniendo en cuenta como factor de reducción, la necesidad de agua para mantener un caudal mínimo, la regulación y sostenimiento de los ecosistemas y las limitaciones por alteraciones de la calidad.

A continuación se presentan las tablas en donde se muestra los resultados del cálculo de caudal superficial con los valores obtenidos en el CAPITULO 3.

TABLA 25. Caudal Año Hidrológico 1

AÑO HIDROLOGICO	MESES	PRECIPITACION (mm)	ETR (mm)	A		Q (mm)
				Is (mm)	D (mm)	
1	MARZO	91.16	70.72	18.54	1.89	3.79
	ABRIL	148.41	73.10	18.54	1.89	58.66
	MAYO	145.67	89.78	18.54	1.89	39.25
	JUNIO	108.93	42.10	18.54	1.89	50.18
	JULIO	83.04	43.52	18.54	1.89	22.87
	AGOSTO	48.03	53.55	18.54	1.89	-22.17
	SEPTIEMBRE	57.60	66.74	18.54	1.89	-25.79
	OCTUBRE	75.08	77.47	18.54	1.89	-19.05
	NOVIEMBRE	86.18	80.53	18.54	1.89	-11.00
	DICIEMBRE	20.62	43.83	18.54	1.89	-39.86
	ENERO	71.42	42.27	18.54	1.89	12.50
FEBRERO	165.59	44.18	18.54	1.89	104.76	
TOTAL ANUAL (mm/año)		1101.73	727.79	222.47	22.66	174.14

TABLA 26. Caudal Año Hidrológico 2

AÑO HIDROLOGICO	MESES	PRECIPITACION (mm)	ETR (mm)	A		Q (mm)
				Is (mm)	D (mm)	
2	MARZO	149.75	70.89	18.54	1.89	62.21
	ABRIL	127.14	74.97	18.54	1.89	35.52
	MAYO	47.10	87.82	18.54	1.89	-57.37
	JUNIO	72.79	48.01	18.54	1.89	8.13
	JULIO	112.56	41.25	18.54	1.89	54.66
	AGOSTO	63.93	51.09	18.54	1.89	-3.81
	SEPTIEMBRE	181.06	60.71	18.54	1.89	103.69
	OCTUBRE	158.48	66.83	18.54	1.89	75.00
	NOVIEMBRE	129.74	77.04	18.54	1.89	36.05
	DICIEMBRE	72.10	42.17	18.54	1.89	13.28
	ENERO	71.29	38.47	18.54	1.89	16.17
	FEBRERO	49.30	46.47	18.54	1.89	-13.82
TOTAL ANUAL (mm/año)		1235.23	705.72	222.47	22.66	329.71

TABLA 27. Caudal Año Hidrológico 3

AÑO HIDROLOGICO	MESES	PRECIPITACION (mm)	ETR (mm)	A		Q (mm)
				Is (mm)	D (mm)	
3	MARZO	126.81	70.77	18.54	1.89	39.385
	ABRIL	51.82	66.22	18.54	1.89	-31.048
	MAYO	118.47	82.96	18.54	1.89	18.854
	JUNIO	38.18	48.53	18.54	1.89	-26.993
	JULIO	84.37	43.14	18.54	1.89	24.574
	AGOSTO	67.67	51.70	18.54	1.89	-0.678
	SEPTIEMBRE	73.12	59.26	18.54	1.89	-2.795
	OCTUBRE	120.76	72.02	18.54	1.89	32.091
	NOVIEMBRE	148.68	74.11	18.54	1.89	57.913
	DICIEMBRE	99.04	42.08	18.54	1.89	40.310
	ENERO	83.93	34.38	18.54	1.89	32.905
	FEBRERO	311.97	33.80	18.54	1.89	261.517
TOTAL ANUAL (mm/año)		1324.82	678.98	222.47	22.66	446.03

Arrojando como caudal promedio anual:

$$Q = 316.63 \text{ mm/año} = 466.36 \text{ lps}$$

Los caudales negativos obtenidos indican periodos deficitarios o de fuerte sequía, en donde los valores de la Evapotranspiración real son mayores que la precipitación, por lo que se considera que para mantener el equilibrio hidrológico de la microcuenca debe recibir aportes de agua vecinas. La anomalía de este cálculo es la presencia de caudales negativos en periodos lluviosos del año, como se observa en los meses de septiembre, octubre y noviembre en el año 1, en el mes de mayo en el año 2 y en los meses de abril y septiembre en el año 3. Por lo tanto para mantener las condiciones reales de la zona sea sume que la oferta hídrica resultado de la resta aritmética de estas dos cantidades es la mínima es decir que estas dos magnitudes sean iguales.



TABLA 28. Caudal Año Hidrológico 1

AÑO HIDROLOGICO	MESES	PRECIPITACION (mm)	ETR (mm)	A		Q (mm)
				Is (mm)	D (mm)	
1	MARZO	91.16	70.72	18.54	1.89	3.79
	ABRIL	148.41	73.10	18.54	1.89	58.66
	MAYO	145.67	89.78	18.54	1.89	39.25
	JUNIO	108.93	42.10	18.54	1.89	50.18
	JULIO	83.04	43.52	18.54	1.89	22.87
	AGOSTO	48.03	48.03	18.54	1.89	0.00
	SEPTIEMBRE	57.60	57.60	18.54	1.89	0.00
	OCTUBRE	75.08	75.08	18.54	1.89	0.00
	NOVIEMBRE	86.18	86.18	18.54	1.89	0.00
	DICIEMBRE	20.62	20.62	18.54	1.89	0.00
	ENERO	71.42	42.27	18.54	1.89	12.50
FEBRERO	165.59	44.18	18.54	1.89	104.76	
TOTAL ANUAL (mm/año)		1101.73	693.17	222.47	22.66	292.01

TABLA 29. Caudal Año Hidrológico 2

AÑO HIDROLOGICO	MESES	PRECIPITACION (mm)	ETR (mm)	A		Q (mm)
				Is (mm)	D (mm)	
2	MARZO	149.75	70.89	18.54	1.89	62.21
	ABRIL	127.14	74.97	18.54	1.89	35.52
	MAYO	47.10	47.10	18.54	1.89	0.00
	JUNIO	72.79	48.01	18.54	1.89	8.13
	JULIO	112.56	41.25	18.54	1.89	54.66
	AGOSTO	63.93	63.93	18.54	1.89	0.00
	SEPTIEMBRE	181.06	60.71	18.54	1.89	103.69
	OCTUBRE	158.48	66.83	18.54	1.89	75.00
	NOVIEMBRE	129.74	77.04	18.54	1.89	36.05
	DICIEMBRE	72.10	42.17	18.54	1.89	13.28
	ENERO	71.29	38.47	18.54	1.89	16.17
FEBRERO	49.30	49.30	18.54	1.89	0.00	
TOTAL ANUAL (mm/año)		1235.23	680.67	222.47	22.66	404.71

TABLA 30. Caudal Año Hidrológico 3

AÑO HIDROLOGICO	MESES	PRECIPITACION (mm)	ETR (mm)	A		Q (mm)
				Is (mm)	D (mm)	
3	MARZO	126.81	70.77	18.54	1.89	39.39
	ABRIL	51.82	51.82	18.54	1.89	0.00
	MAYO	118.47	82.96	18.54	1.89	18.85
	JUNIO	38.18	38.18	18.54	1.89	0.00
	JULIO	84.37	43.14	18.54	1.89	24.57
	AGOSTO	67.67	67.67	18.54	1.89	0.00
	SEPTIEMBRE	73.12	73.12	18.54	1.89	0.00
	OCTUBRE	120.76	72.02	18.54	1.89	32.09
	NOVIEMBRE	148.68	74.11	18.54	1.89	57.91
	DICIEMBRE	99.04	42.08	18.54	1.89	40.31
	ENERO	83.93	34.38	18.54	1.89	32.91
FEBRERO	311.97	33.80	18.54	1.89	261.52	
TOTAL ANUAL (mm/año)		1324.82	684.07	222.47	22.66	507.55

Donde el caudal promedio anual definitivo es:

$$Q = 401.42 \text{ mm/año} = 591.25 \text{ lps}$$

El resultado de formular la hipótesis anterior es reflejado en las siguientes graficas:

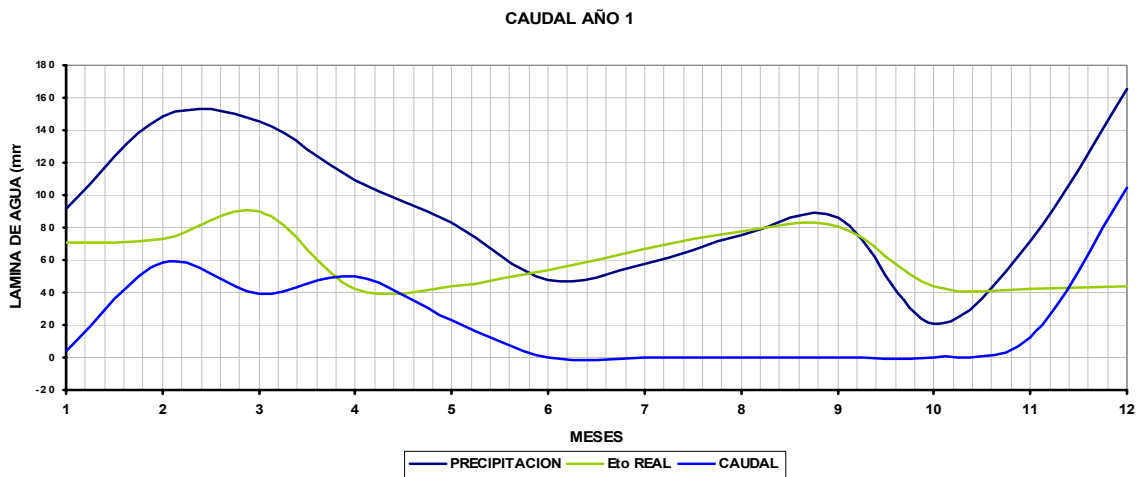


FIGURA 67.Comportamiento Recurso Hídrico Año 1

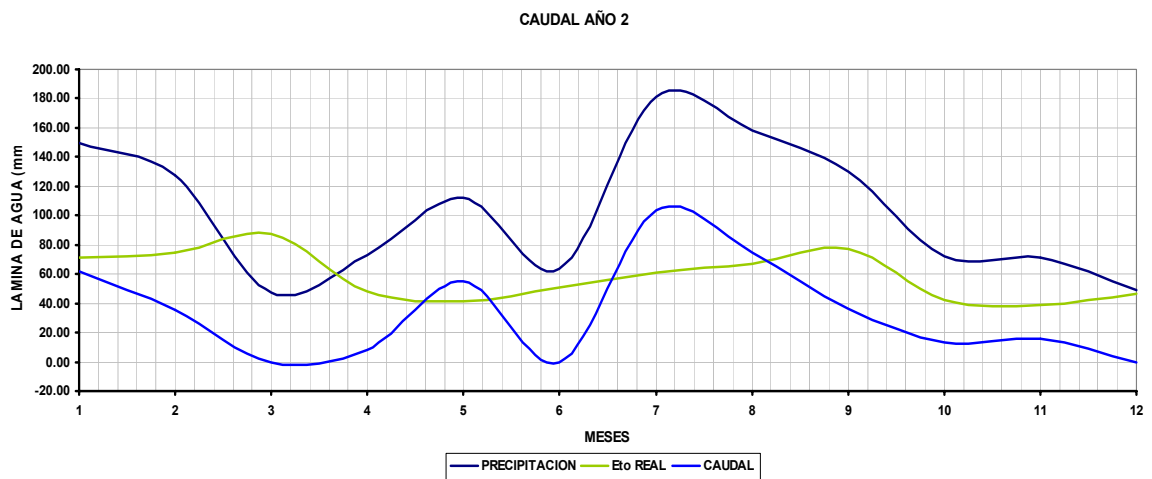


FIGURA 68.Comportamiento Recurso Hídrico Año 2

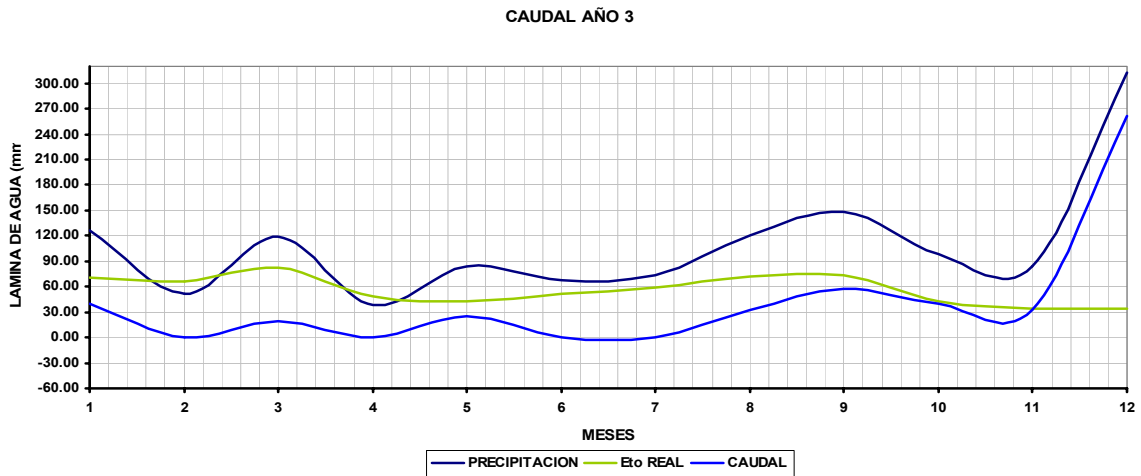


FIGURA 69. Comportamiento Recurso Hídrico Año 1

De las figuras se puede observar el comportamiento para la evapotranspiración la cual mantiene una regularidad para los tres años, al igual se puede corroborar la situación antes mencionada para la precipitación.

Como comparación de los valores obtenidos de caudal con lo que en realidad brinda la microcuenca, se realizó un análisis de los datos registrados por la estación PROANDES.

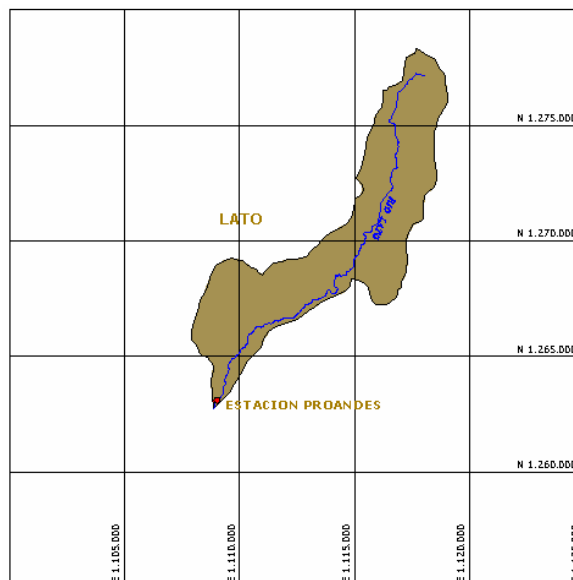


FIGURA 70. Ubicación Estación PROANDES sobre Microcuenca Río Lato.

La estación PROANDES tipo LM se encuentra ubicada sobre las coordenadas 1.109.017,52E, 1.263.094,61N a una altura de 870 msnm, esta es operada por la CDMB y cuenta con registros puntuales de caudal desde el año 1983 hasta la fecha. Como se puede observar en la FIGURA 69 se encuentra ubicada a la salida de la microcuenca, por lo cual es de gran importancia comparar los caudales registrados por la estación con los obtenidos por medio del Balance Hídrico.

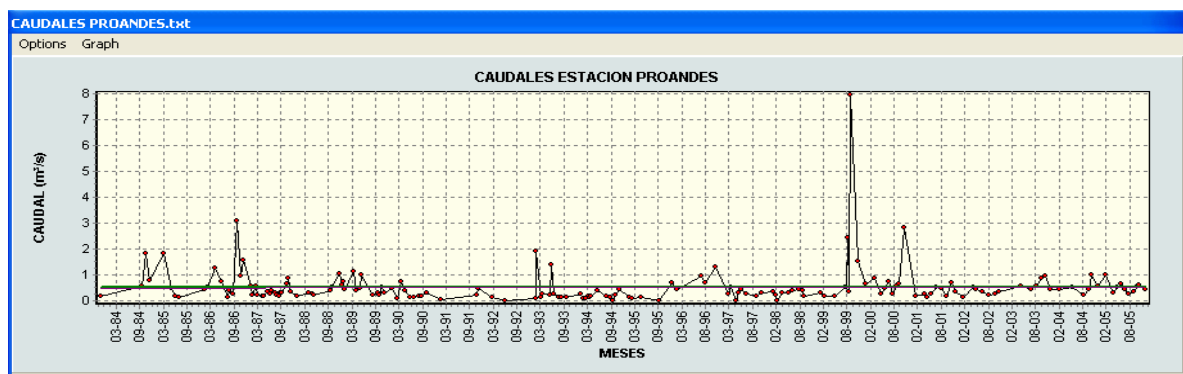


FIGURA 71. Caudal Medio Anual Estación PROANDES

De la FIGURA 70 se observa el comportamiento del caudal medio anual para la estación PROANDES. Su valor es aproximadamente de:

$$Q = 517.7 \text{ lps} = 351.48 \text{ mm/Año}$$

Esta serie no tuvo ningún tipo de tratamiento preliminar por lo tanto se presenta la serie pura en el ANEXO B.

Teniendo los valores promedios anuales de:

$$P = 1220.6 \text{ mm/año}$$

$$ETR = 704.13 \text{ mm/año}$$

$$A = 199.81 \text{ mm/año}$$

El balance hídrico resultante es:

$$1220.6 \text{ mm/año} - 704.13 \text{ mm/año} - 199.81 \text{ mm/año} - 351.48 \text{ mm/año} = -34.85 \text{ mm/año}$$

Este valor corresponde aproximadamente a $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$ que concierne a un desfase de la ecuación y el cual puede explicarse según los siguientes factores:

- Los problemas de medición de la serie de caudal medido y reportado como información en la estación PROANDES.
- Posibles errores de las series puras de precipitación y de los necesarios para estimar la Evapotranspiración Real.
- Estimación completa del valor real de caudales captados correspondientes a las concesiones otorgadas por la CDMB.

El caudal promedio mensual de la Microcuenca del Río Lato es de:

TABLA 31. Caudales Medios Mensuales Microcuenca Río Lato

CAUDAL MEDIO MENSUAL (mm)			
MES	mm	MES	mm
MARZO	79.13	SEPTIEMBRE	103.69
ABRIL	94.18	OCTUBRE	85.70
MAYO	45.53	NOVIEMBRE	55.35
JUNIO	58.31	DICIEMBRE	26.71
JULIO	85.72	ENERO	39.64
AGOSTO	0.00	FEBRERO	191.93

Como análisis del caudal superficial se obtienen los siguientes resultados:

- Con respecto al análisis anual inicial se observó que la menor oferta de caudal se presenta en el año 1, con un valor de 292.01 mm/año.
- Se presentó un crecimiento significativo y progresivo anual del caudal superficial reflejado en un 138.6% para el año 2 con respecto al año 1, y un 125.4% para el año 3 con respecto al 2.
- El valor de desfase de 34.85 mm/año corresponde a un 8.7% del caudal promedio anual resultante de la investigación.

5. CONCLUSIONES

- Como resultado de la investigación utilizando las estaciones CENTRO, CHIMITA, PTAR Y UIS pertenecientes a la red de estaciones de la CDMB y con registros desde los periodos de Marzo de 2002 a Febrero de 2005, el valor de caudal promedio anual de la microcuenca fue de 401.42 mm/año (591.25 lps), que comparado con el caudal promedio de la estación PROANDES, el cual es de 351.48 mm/año (517.7 lps), resulto cercano en su estimación, obteniéndose un valor de 34.85 mm/año (51.33 lps) de diferencia, valor que involucra el efecto del consumo humano. La estación PROANDES operada por la CDMB, esta ubicada en la unión del Río Lato con el Río de Oro en el cierre de la microcuenca, la cual realiza aforos puntuales desde el año 1983 a la fecha.
- La diferencia de caudal estimado por medio de la aplicación del Balance Hídrico en comparación con el caudal promedio obtenido de la estación PROANDES es producto de factores determinantes como problemas de medición de caudal dados por la estación, problemas en el error sistemático de las series puras de las variables estudiadas, y estimación del caudal concesionado por la CDMB.
- Las variables metereológicas analizadas Temperatura, Humedad Relativa, Precipitación, Presión, Radiación Solar y Velocidad del Viento presentaron en las series puras problemas en el error sistemático. Esta condición se ve reflejada dentro del análisis de detección de la homogeneidad de la serie y posteriormente en el resultado de la investigación, principalmente en el cálculo de la evapotranspiración.

- La evapotranspiración calculada por la ECUACIÓN PENMAN-MONTEITH (ASCE-PM) Método ASCE esta sobreestimada dado que se trabajo partiendo de series de datos registradas en estaciones ubicadas en la parte baja de la microcuenca, es decir a poca elevación donde la temperatura y la presión atmosférica son mayores, variables estas que afectan directamente su estimación. En el caso de la precipitación subestiman su valor real.
- La aplicación del balance hídrico a largo plazo cuenta con un alto grado de incertidumbre por su aplicación en un periodo de tiempo tan corto que no se ajusta a los parámetros de espacio temporal requeridos, para que el caudal obtenido sea representativo tanto de la escorrentía superficial como de la subterránea.
- Los valores de caudal obtenidos validan el tratamiento y depuración de las series de datos puros los cuales presentaban grandes deficiencias en consistencia y homogeneidad.
- La información obtenida para las concesiones de la Microcuenca del Río Lato, otorgada por la CDMB entidad encargada de regular la explotación, se considera subestimada dados los factores no involucrados dentro de su estimación como conexiones piratas, información errática recolectada por la entidad y la falta de actualización de los caudales captados por los usuarios.
- La utilización del concepto de Balance Hídrico es una herramienta útil para la estimación de los caudales promedios anuales para una cuenca estudiada, pero está condicionada a la calidad de la información utilizada como datos de entrada para su cálculo dado que este es susceptible a la calidad y confiabilidad de los mismos.

6. RECOMENDACIONES

- Solo la disponibilidad y la calidad de las mediciones hidrológicas determinan los niveles de precisión y alcance. Por esto se recomienda ampliar y mejorar la Red de monitoreo hidrológico para la Microcuenca del Río Lato, así como también capacitar a los encargados de la recolección de la información para mejorar la confiabilidad de estas.
- Para la mejor estimación en los valores de Evapotranspiración Real se deberían adelantar estudios en lo relacionado a los coeficientes de cultivo y de humedad para poder relacionar e identificar mejor la afectación de las zonas tratadas en el proceso, esto mejoraría considerablemente la obtención de resultados y la calidad de la información en cuanto a este tema se refiere.
- Para una mejor estimación del aporte del consumo humano en la ecuación del Balance Hídrico, se recomienda desarrollar un estudio del coeficiente de retorno utilizado para cuencas hidrográficas y que sirvan como guía para la elección de estos en futuras investigaciones.
- En la aplicación de futuras investigaciones cuya metodología sea la planteada por el presente estudio, es imperioso contar con series de tiempo de las variables hidrológicas ubicadas dentro de la zona correspondiente a la cuenca en estudio con un periodo de registro que valide el marco teórico sobre el cual se esta evaluando.

7. BIBLIOGRAFIA

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, (Allen et al., 1998). Crop evapotranspiration –Guidelines for computing crop water requirements –FAO Irrigation and drainage paper 56”.

APARICIO MIJARES, Javier. Fundamentos de Hidrología de Superficie. Editorial Limusa Grupo Noriega Editores. Balderas 95, México, D.F. 1999.

CORPORACION AUTONOMA REGIONAL PARA LA DEFENSA DE LA MESETA DE BUCARAMANGA, CDMB. 2003. Plan de Ordenamiento Territorial y Ambiental de la cuenca del río de Oro. Bucaramanga.

CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. (1994) Hidrología Aplicada. McGraw - Hill.

MENDOZA, C.A Y SANDOVAL, R. (2002) Un Estudio De La Oferta Hídrica En La Cuenca Superior De Río Lebrija. Tesis de Grado. U.I.S. Bucaramanga.

MARADEI, Z. y ROJAS, J., 2002 Distribución espacial de las variables hidrológicas en la cuenca superior del río Lebrija utilizando geoestadística. Grupo de Predicción y Modelamiento Hidroclimático. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Civil. Bucaramanga.

ISAZA, Oscar Mauricio. (2004) Estimación De La Recarga Mensual En La Cuenca Del Río De Oro Por Medio De Un Modelo Hidrológico Distribuido. Tesis de Grado. U.I.S. Bucaramanga.

GARCIA, S. y OTERO. (2005). Estimación de la Evapotranspiración Real de la Cuenca Superior del Río Lebrija (C.S.R.L). Tesis de Grado Universidad Industrial de Santander. Colombia.

PRADA ARCINIEGAS, Álvaro. Caracterización Hidrológica de la Cuenca del Río Lato. Especialización en Ingeniería de Preservación y Conservación de recurso Hídricos y de Suelos. Bucaramanga, Santander 1995.

TRUJILLO TARAZONA, Cesar. Caracterización Geomorfológica de la Cuenca del Río Lato. Especialización en Ingeniería de Preservación y Conservación de recurso Hídricos y de Suelos. Bucaramanga, Santander 1995.

CABALLERO, V.; BERNAL, L.; TRUJILLO, C.; MUNAR, F.; CABALLERO, G.; PRADA, A.; RAMÍREZ, J.; MORENO, G.; ZAMBRANO, J.; Caracterización Física de la Cuenca del Río Lato Base para su Desarrollo Ambiental Sustentable. Especialización en Ingeniería de Preservación y Conservación de recurso Hídricos y de Suelos. Bucaramanga, Santander 1995.

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT), Municipio de Piedecuesta.

PLAN DE ACCION TRIENAL 2004-2006. Corporación Autónoma para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB. Bucaramanga, Santander 2004.



ANEXOS



**ANEXO A.
EXPEDIENTES CONCESIONES MICROCUENCA RIO LATO**

EXPEDIENTE	NOMBRE	DIRECCION	q OTORGADO	COTA	OBSERVACIONES	% RETORNO	D
A-87106	INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO	AUTOPISTA A PIEDEUESTA	30	1075		0	0
A-90031	CORPORACION ACUEDUCTO ALCANTARILLADO	MESA DE RUITOQUE	1.7		Izquierda del Tigger Market abajo Alpista	0	0
A-90005	HELI NIETO ORTIZ	CRA 32 # 63A-30 MESA DE RUITOQUE	0.41		Ericima Alpista cara a Urbanizadora David Puyana	0	0
A-90003	JOSE ALFONSO ZAMBRANO-GUSTAVO RUEDA RAMIREZ	CRA 15 # 41-38 BUCARAMANGA VDA LA MATA	0.2		Izquierda de Cajasan	0.2	0.04
A-90087	SOCIEDAD INVERSIONES EL GRANADILLO	EL LIMONAL VDA GUATIGUARA	7	1060	Derecha del ICP	0	0
CA-90131	Dpto. De Santander	NO REGISTRA	1	1000			
A-90105	JUNTA DE ACCION COMUNAL VEREDA EL DIAMANTE	FINCA SANTA RITA GUATIGUARA	0.2	935	Debajo Alpista cerca al filo de la Mesa de Ruitoque	0.2	0.04
A-92136	ISABEL MEJIA DE HERNANDEZ	VILLA ISABEL VDA. LA MATA	0.8	1290	Predios Mariano Rodriguez	0.2	0.16
A-92125	FIDEL SERRANO SERRANO	LA MOLIENDA VDA. GUATIGUARA	1.5	920	Margen izq. Valle de Guatiguara	0.2	0.3
A-92126	JOSE RAFAEL ACEVEDO ORTIZ	VDA. GUATIGUARA	0.16	1150	NINGUNA	0.2	0.032
A-92044	JUNTA DE ACCION COMUNAL VEREDA LA MATA	ALCALDIA MUNICIPAL PIEDEUESTA	0.5	1900	NINGUNA	0.2	0.1
A-92073	ELEANORA BLANCO ALARCON	CRA 21A # 105-20	0.1	1070	Ariba autopista Izq. Del ICP Seminario San Alfonso	0.2	0.02
A-92070	SAUL RANGEL CASTRO	CALLE 32 # 25-60 OFICINA 101A VDA. LA MATA	1.5	920	Debajo Alpista cerca de union Lato-Guatiguara	0.2	0.3
A-92088	AMIRA CARDENAS MONTANEZ	CRA 21 # 46-20 BIGA VDA. GUATIGUARA	0.5	1075	NINGUNA	0.2	0.1
A-92060	INVERSIONES ALAMEDA LTDA	NO REGISTRA	0.9	1055	NINGUNA	0.2	0.18
A-93111	DANIEL DE LA PAVA GONZALES	INST. DE PROMOCION SOCIAL VDA. GUATIGUARA	0.28	1075	Ariba autopista cerca ICP	0	0
A-93119	JULIO CESAR DUARTE	LOS ALAMOS LOTE 5A VDA LA MATA	0.14	1070	Ariba autopista izquierda ICP	0.2	0.028
A-93071	LUIS ANTONIO PAREDES	CASA DE MENORES VDA GUATIGUARA	0.3	1075	Abajo ICP pasando autopista	0	0
A-93011	ULISES CANCHEROS ORTIZ	POZO NEGRO	0.25	1920	Ariba-izquierda ICP	0.2	0.05
A-93092	NEMOROSO NEIRA	BUENOS AIRES VDA FALTRIGUERA	0.8	1740	Ariba ICP	0.2	0.16
A-93088	JUNTA DE ACCION COMUNAL PARCELACION DE TABLANCA	CRA 7 # 9-35 VDA TABLANCA	2.5	1060	NINGUNA	0.2	0.5
O-94060	JULIAN GARCIA GOMEZ	SANTO DOMINGO VDA. GUATIGUARA	1.5	900	NINGUNA	0.2	0.3
A-94024	FIDEL SERRANO SERRANO	MOLIENDA VDA. GAUTIGUARA	1.5		Ariba ICP	0.2	0.3
A-95003	CONSUELO SORZANO	VDA LA GUAMA	20	1070-1080	Ariba autopista entre ICP-ISMOCOL	0.2	4
A-95025	MIGUEL A. MORENO	VDA. GRANADILLO	1		Margen der. La Palma	0.2	0.2
CA-95041	Raquel Garmira De G	NO REGISTRA	3	935			
A-95047	ALVARO BERNAL E ILDA DE BERNAL "EL RECREO"	VDA. GAUTIGUARA	1.5	900	Predios William Serrano	0	0
A-96070	MYRIAM GOMEZ DE NAVARRO	CRA 35 # 51-77 FOTO SERRANO	0.3	1080	NINGUNA	0.2	0.06
A-96057	BLANCA QUINTERO DE RIZO	LAS COLINAS VDA RUITOQUE	1	1310	Capta Quebrada Guatiguara	0.2	0.2
A-96041	ISABEL JOSEFA QUIJANO DE RODRIGUEZ	CRA 33 # 45-74 APT 301	1	1100	NINGUNA	0.2	0.2
A-96010	GLORIA NUÑEZ DE SHAVEDRA	MAL PASO FINCA FLORESTA VDA GUATIGUARA	1.5		NINGUNA	0.2	0.3
A-96011	SOCIEDAD DISTRIBUIDORA AVICOLA S.A. DISTRAVES	CRA 24 # 51-32 BUCARAMANGA	8	910	NINGUNA	0	0
A-96003	ARTURO ORTIZ SANGUINO	URB. GRANJA DE MANZANARES VDA. LA MATA	0.1	1090	No tiene mapa de ubicación	0.2	8
A-96006	LUIS NESTO CAPACHO	NO REGISTRA	0.6	1060	NINGUNA	0.2	0.12

Expedientes de Concesiones otorgadas para la Microcuenca del Río Lato



EXPEDIENTE	NOMBRE	DIRECCION	Q OTORGADO	COTA	OBSERVACIONES	% RETORNO	D
A-96007	ANA DELINA GALVIS DE RAMIREZ	VILLA CLAUDIA-VILLA MARTHA VDA. LA MATA	0.6	1060	NINGUNA	0.2	0.12
A-96025	INVERSIONES SAI LTDA	CALLE 140 # 26-79 ARCOS DEL CAMPESTRE	0.1	1090	NINGUNA	0	0.1
A-96113	TERESA MANTILLA SANTOS	CALLE 105A # 36-103	0.08	1590	NINGUNA	0.2	0.016
A-96114	FERNANDO SEGUNDO BECERRA	CRA 34 # 35-31	0.25	1650	NINGUNA	0.2	0.05
CA-96134	Club Social Furec S.A.	NO REGISTRA	0.3	1060	NINGUNA		
A-97178	TERESA GOMEZ DE HIGUERA	NO REGISTRA	16.8	980	NINGUNA	0.2	3.36
A-97181	CARMEN ROSA LA ROTA DE RICO	NO REGISTRA	12.86	980	NINGUNA	0.2	2.572
A-97217	CLARA INES POSADA RANGEL	CALLE 41 # 38-105 APT 903 TABLANCA	0.3	1060	NINGUNA	0.2	0.06
A-97016	ISMOCOL DE COLOMBIA S.A.	CRA 33 # 49-35 OFICINA 108 VDA. TABLANCA	0.3	1060	NINGUNA	0	0
A-97201	GERMAN PAVA Y HERMANOS	CRA 6 # 12-04 VDA. GUAMO GRANDE	0.15	1230	NINGUNA	0.2	0.03
A-97218	RICARDO MANTILLA HAYBECH	CALLE 46 PEATONAL 33-18 (BUENOS AIRES)	2.67	980	NINGUNA	0.2	0.534
A-97226	GRACIANO HERNANDEZ PRADA	HACIENDA EL TRIUNFO VDA. GUATIGUARA	20	1000	NINGUNA	0.2	4
A-97166	ALBERTO HINCAPIE	LA RESERVA VDA. GUATIGUARA	0.4		NINGUNA	0.2	0.08
A-97161	MARIA ANTONIA GOMEZ DE CELIS	HACIENDA SAN JOAQUIN VDA. LA MATA	2.2	1075	NINGUNA	0.2	0.44
A-97082	HERMANAS BETHLEMITAS SAGRADO CORAZON DE JESUUS	CRA 16 N° 10A-18	0.5	1080	Cerca ISMOCCOL debajo autopista	0	0
A-97111	GENARO PEREZ LOPEZ-AMPARO ARBELAEZ NOREÑA	CRA 18 # 35-36 (VEREDA GUATIGUARA)	0.3	1100	NINGUNA	0.2	0.06
A-97072	CONGREGACION DE PADRES REDENTORISTAS	SEMINARIO SAN ALFONSO LAMATA	0.4	1080	Cerca ISMOCCOL debajo autopista	0	0
A-98214	Wilson Acosta	NO REGISTRA	1.27	1080	NINGUNA	0.2	0.254
018-A-99011	Ramiro Blanco Suárez	NO REGISTRA	1.238	1060	NINGUNA	0.2	0.2476
CA-0020-2000	BLANCA CECILIA REYES	NO REGISTRA	1.12	1120	NINGUNA	0.2	0.224
CA-347-2002	Luis Eduardo Arciniegas	NO REGISTRA	0.021		NINGUNA	0.2	0.0042
CA-021-2003	Luis Eduardo Arciniegas	NO REGISTRA	2.21		NINGUNA	0.2	0.442
CA-024-2003	Luis Eduardo Arciniegas	NO REGISTRA	2.21		NINGUNA	0.2	0.442
CA-023-2003	Luis Eduardo Arciniegas	NO REGISTRA	1.21		NINGUNA	0.2	0.242
CA-025-2003	Luis Eduardo Arciniegas	NO REGISTRA	1.21		NINGUNA	0.2	0.242
CA-022-2003	Luis Eduardo Arciniegas	NO REGISTRA	2.21		NINGUNA	0.2	0.442
CA-063-2004	HERMAN VILLAREAL	NO REGISTRA	0.02		NINGUNA	0.2	0.004
CA-162-2004	EDGAR AMAYA	NO REGISTRA	0.0151		NINGUNA	0.2	0.00302
CA-021-2004	Luis Eduardo Arciniegas	NO REGISTRA	1.17		NINGUNA	0.2	0.234
CA-022-2004	Luis Eduardo Arciniegas	NO REGISTRA	1.17		NINGUNA	0.2	0.234
CA-023-2004	Luis Eduardo Arciniegas	NO REGISTRA	0.17		NINGUNA	0.2	0.034
CA-024-2004	Luis Eduardo Arciniegas	NO REGISTRA	1.17		NINGUNA	0.2	0.234
CA-025-2004	Luis Eduardo Arciniegas	NO REGISTRA	1.17		NINGUNA	0.2	0.234

Expedientes de Concesiones otorgadas para la Microcuenca del Río Lato



EXPEDIENTE	NOMBRE	COORDENADAS		Q OTORGADO (l/s)	COTA (msnm)	MATRICULA INMOBILIARIA	CODIGO CATASTRAL	PORCENTAJE DE RETORNO	
		X	Y						
CA-0030-2001	UNIVERSIDAD SANTO TOMAS			3.8	1060	314-0031-853	00-012-014-500	0	0
CA-0148-2001	SOCIEDAD OTACC LTDA			8.24	890	314-0013-282	00-00-007-001	0	0
CA-347-2002	LUIS EDUARDO ARCINIEGAS	1268309	1112534	0.21	1095			0.2	0.042
CA-359-2002	CONSUELO SORZANO DE TORRES	1267550	1112248	0.347	1023			0.2	0.0694
CA-365-2002	CONSUELO SORZANO DE TORRES	1268914	1112506	0.242	1015			0.2	0.0484
CA-366-2002	CONSUELO SORZANO DE TORRES	1267832	1112715	0.69	1048			0.2	0.138
CA-367-2002	CONSUELO SORZANO DE TORRES	1267011	1111866	0.115	986			0.2	0.023
CA-322-2002	MYRIAM SORZANO DE SUAREZ	1268309	1112535	9	1095			0.2	1.8
CA-323-2002	JUAN DE DIOS BARRERA	1267238	1106539	0.3	1201			0.2	0.06
CA-0005-2002	JUAN RIOS CARVAJAL			0.36				0.2	0.072
CA-315-2002	GERMAN EDUARDO CARRILLO SORZANO	1268113	1112633	0.2	1020			0.2	0.04
CA-316-2002	MYRIAM SUAREZ-JAIME SORZANO	1268113	1112633	0.1	1020			0.2	0.02
CA-117-2002	GERARDO MANTILLA			0.039	1000	314-0032-242	00-00-008-512	0.2	0.0078
CA-319-2002	MATILDE QUINTERO SORZANO DE GOMEZ	1268113	1112633	0.1	1020			0.2	0.02
CA-321-2002	POLA BAUTISTA DE SORZANO	1268113	1112633	0.1	1020			0.2	0.02
CA-320-2002	JAIMIE ALBERTO SORZANO BAUTISTA	1268113	1112633	0.1				0.2	0.02
CA-00019-2004	PREDIO LOS VARANUITOS	1267610	1113700	0.5	1100			0.2	0.1
CA-00020-2004	PREDIO EL ANTOJO	1267610	1113700	0.77	1100			0.2	0.154
CA-0022-2004	LUZ MARINA VALLEJO	1268300	1107350	0.104	1200			0.2	0.0208
CA-054-2004	LOS OLIVOS-LUIS CARLOS GOMEZ	1266540	1111750	0.216	980			0.2	0.0432
CA-072-2004	RAFAEL AUGUSTO-VILLA FELISA	1267490	1113350	4.8439	1075			0	0
CA-0146-2004	PIEDECUESTANA DE SERVICIOS PUBLICOS	1267339	11113931	129.52	1470			0	0
CA-0169-2004	VICTOR RAUL REYES JIMENEZ			0.116				0.2	0.0232
CA-0090-2004	JUAN PABLO SILVA PRADA			0.122				0.2	0.0244

Expedientes de Concesiones otorgadas para la Microcuenca del Río Lato



ANEXO B. AFOROS MICROCUENCA RIO LATO ESTACION PROANDES

FECHA	Q (m ³ /s)	Lec LM (mts)	H real (mts)	Ho (mts)	A (m ²)	PM (m)	ANCHO (m)	Vm (m/s)	V Super (m/s)	FC	PROFU M(m)	COTA "0"	Ho	METADATOS
21-Nov-83	0.167	0.60	0.33	0.27	0.742	4.920	4.80	0.238			0.172			
01-Oct-84	0.557	0.68	0.43	0.25	1.699	6.830	6.45	0.294			0.289	97.071	0.16	Solamente se hallo la cota cero
30-Oct-84	1.805	0.75	0.60	0.15	2.579	7.660	7.55	0.715			0.405			
27-Nov-84	0.777	0.71	0.50	0.21	1.877	7.490	7.40	0.382			0.290			
20-Mar-85	1.817	0.82	0.60	0.22	2.800	8.060	7.80	0.612			0.391			
14-May-85	0.476	0.67	0.35	0.32	1.296	5.890	5.80	0.350			0.247	97.071	0.80	lect hay que sumarle 0.48 mts diferencia de NA aforo con NA de la mira
18-Jun-85	0.187	0.60	0.28	0.32	0.873	5.250	5.15	0.202			0.186			
16-Jul-85	0.136	0.59	0.25	0.34	0.790	5.000	4.95	0.172			0.188			
28-Ene-86	0.415	0.74	0.35	0.39	1.175	5.940	5.90	0.339			0.226			
25-Feb-86	0.537	0.75	0.34	0.41	1.036	5.700	5.60	0.459			0.196	97.074	0.66	lect hay que sumarle 0.25 mts. Diferencia de NA aforo con NA de la mira
21-Abr-86	1.271	0.94	0.82	0.12	2.940	8.950	8.50	0.456			0.381			
06-Jun-86	0.759	0.86	0.50	0.36	2.221	8.808	8.75	0.364			0.271	97.075	0.86	lect hay que sumarle 0.50 mts. Diferencia de NA afor con NA de la mira.
30-Jul-86	0.117	0.76	0.38	0.38	0.490		6.10	0.239			0.080			Minimolinet
12-Ago-86	0.406	0.81	0.35	0.46	0.976	5.400	5.20	0.414			0.188			
11-Sep-86	0.281	0.77	0.71	0.06	1.024	5.720	5.60	0.287			0.215			
07-Oct-86	3.101	0.99	0.50	0.49	3.862	8.930	8.60	0.790			0.463			
05-Nov-86	0.940	0.85	0.70	0.15	2.108	7.370	7.20	0.453			0.336			
27-Nov-86	1.564	0.90	0.45	0.45	2.842	8.251	7.90	0.567			0.421			
28-Ene-87	0.574	0.79	0.38	0.41	1.471	7.050	6.95	0.403			0.244			
02-Feb-87	0.214	0.69	0.38	0.31	1.070	5.846	5.70	0.200			0.202	97.077	0.66	lect hay que sumarle 0.35 mts. Diferencia de NA aforo con NA de la mira
06-Mar-87	0.553	0.80	0.45	0.35	1.520		6.90	0.364			0.220			Minimolinet
13-Mar-87	0.215	0.69	0.33	0.36	1.065	5.650	5.55	0.201			0.215			
23-Abr-87	0.161	0.75	0.38	0.37	0.951	5.784	5.60	0.166			0.218			
04-May-87	0.191	0.78	0.38	0.40	0.986	6.223	6.00	0.204			0.201			
02-Jun-87	0.333	0.79	0.38	0.41	0.856	5.728	5.40	0.363			0.181	0.46	Hr	
18-Jun-87	0.272	0.77	0.55	0.22	0.956	5.423	4.90	0.306			0.232	0.34	ho	
01-Jul-87	0.382	0.23	0.38	-0.15	1.324	5.760	5.60	0.328			0.269	97.834	-0.15	Se cambio el cero de la mira y se cambio la seccion de aforos.

Aforos Históricos Microcuenca Río Lato – Estación PROANDES



FECHA	Q (m³/s)	Lec LM (mts)	H real (mts)	Ho (mts)	A (m²)	PM (m)	ANCHO (m)	Vm (m/s)	V Super (m/s)	FC	PROFU M(m)	COTA "0"	Ho	METADATOS
30-Jul-87	0.317	0.27	0.36	-0.09	1.086	5.560	5.50	0.304			0.229			
11-Ago-87	0.233	0.26	0.32	-0.06	0.942	5.350	5.30	0.263			0.200			
25-Ago-87	0.153	0.24	0.30	-0.06	0.740	5.360	5.20	0.225			0.166			
08-Sep-87	0.292	0.28	0.35	-0.07	1.066	5.760	5.60	0.267			0.214			
22-Sep-87	0.286	0.28	0.36	-0.08	1.062	5.740	5.60	0.265			0.215			
30-Oct-87	0.652	0.36	0.41	-0.05	1.482	7.120	7.00	0.454			0.277			
04-Nov-87	0.851	0.39	0.48	-0.09	1.685	7.240	7.10	0.543			0.274	97.846	0.01	lect hay que sumarle 0,1 mts diferencia de NA aforo con NA de la mira
30-Nov-87	0.345	0.28	0.32	-0.04	1.093	5.240	5.20	0.311			0.232			
13-Ene-88	0.190	0.18			0.550		3.50	0.346			0.160	97.847	-0.22	Minimolinete
13-Abr-88	0.312	0.24	0.35	-0.11	1.262	6.070	5.90	0.260			0.219			
10-May-88	0.253	0.22	0.30	-0.08	1.222	5.830	5.80	0.189			0.222			
26-May-88	0.223	0.22	0.38	-0.16	1.257	6.580	6.50	0.157			0.209			
29-Sep-88	0.401	0.27	0.38	-0.11	1.323	6.600	6.40	0.305			0.231			
11-Oct-88	0.509	0.29	0.38	-0.09	1.499	6.750	6.60	0.331			0.240			
06-Dic-88	1.032	0.43	0.51	-0.08	2.317	8.250	8.20	0.434			0.300			
22-Dic-88	0.612	0.35	0.48	-0.13	1.742	6.850	6.65	0.359			0.288			
04-Ene-89	0.736	0.40	0.53	-0.13	2.128	7.480	7.30	0.339			0.335			
18-Ene-89	0.440	0.34	0.45	-0.11	1.642	6.860	6.70	0.261			0.270			
30-Mar-89	1.143	0.44	0.42		1.856	7.910	7.80	0.592			0.258	97.848	0.02	
13-Abr-89	0.406	0.33	0.33	0.00	1.370	6.650	6.60	0.299			0.207			
12-May-89	0.465	0.32	0.36	-0.04	1.365	6.550	6.50	0.340			0.237			
26-May-89	0.995	0.42	0.47	-0.05	2.103	8.100	8.00	0.490			0.293			
18-Ago-89	0.224	0.38	0.40	-0.02	1.543	6.260	6.20	0.187			0.252			
27-Sep-89	0.296	0.38	0.47	-0.09	1.675	6.550	6.40	0.221			0.298			
10-Oct-89	0.219	0.34	0.44	-0.10	1.308	5.840	5.70	0.206			0.272			
26-Oct-89	0.540	0.44	0.57	-0.13	2.173	8.040	7.80	0.262			0.323			
21-Nov-89	0.302	0.35	0.43	-0.08	1.441	6.550	6.40	0.222			0.243			
17-Ene-90	0.498	0.35	0.40	-0.05	1.413	6.220	6.10	0.354			0.252			
01-Mar-90	0.075	0.18	0.19	-0.01	0.437	4.070	4.00	0.181			0.111			La mira estaba colmatada - No sirve
27-Mar-90	0.729	0.39	0.61	-0.22	2.188	8.110	7.95	0.367			0.292			
26-Abr-90	0.411	0.30	0.50	-0.20	1.682	6.980	6.80	0.269			0.276			

Aforos Históricos Microcuenca Río Lato – Estación PROANDES



FECHA	Q (m ³ /s)	Lec LM (mts)	H real (mts)	Ho (mts)	A (m ²)	PM (m)	ANCHO (m)	Vm (m/s)	V Super (m/s)	FC	PROFU M(m)	COTA "0"	Ho	METADATOS
06-Jun-90	0.136	0.17	0.35	-0.18	0.934	5.190	5.10	0.153			0.207			
06-Jul-90	0.151	0.18	0.40	-0.22	0.977	5.060	4.90	0.153			0.211			
15-Ago-90	0.175	0.16	0.36	-0.20	1.150	6.150	5.05	0.169			0.199			
02-Sep-90	0.176	0.21	0.41	-0.20	0.977	5.300	5.20	0.168			0.190			
08-Oct-90	0.323	0.25	0.32	-0.07	1.248	7.080	7.00	0.284			0.196			
30-Ene-91	0.040	0.20	0.22	-0.02	0.433	3.730	3.70	0.099			0.157			
30-Oct-91	0.230	0.30	0.40	-0.10	1.196	6.910	6.80	0.235			0.227			
12-Nov-91	0.485	0.39	0.47	-0.08	1.742	8.240	8.10	0.291			0.241			
26-Feb-92	0.115	0.21	0.35	-0.14	0.777	4.150	4.05	0.147			0.204			
04-Jun-92		0.24										97.799	-0.05	No se encontro el aforo.
26-Ene-93	0.084	0.22	0.34	-0.12	1.096	5.59	5.50	0.087			0.23			
02-Feb-93	1.898	0.75	0.88	-0.13	4.995	9.07	8.90	0.388			0.57			
11-Mar-93	0.143	0.22	0.31	-0.09	1.127	6.29	6.10	0.133			0.22			
24-Mar-93	0.274	0.26	0.37	-0.11	1.239	6.21	6.00	0.211			0.23			
21-May-93	0.202	0.22	0.32	-0.10	1.191	6.60	6.50	0.166			0.24			
31-May-93	1.400	0.46	0.80		4.213	8.40	8.00	0.324			0.54			es de carabineros
17-Jun-93	0.244	0.27	0.40	-0.13	1.250	6.81	6.60	0.209			0.25			
27-Jul-93	0.145	0.20	0.31	-0.11	0.813	4.68	4.60	0.191			0.20			
13-Ago-93	0.140	0.21	0.31	-0.10	0.786	4.93	4.80	0.171			0.19			
22-Sep-93	0.126	0.20	0.30	-0.10	0.724	4.67	4.50	0.174			0.19			
14-Ene-94	0.241	0.26	0.22	-0.07	0.800	5.29	5.25	0.270			0.16			
01-Feb-94	0.108	0.26	0.33	-0.07	0.732	5.09	5.00	0.157			0.16			
21-Feb-94	0.108	0.22	0.28	-0.06	0.555	4.46	4.40	0.194			0.15	97.802	-0.05	
11-Mar-94	0.178	0.27	0.33	-0.06	0.912	5.15	5.00	0.207			0.21			
23-Mar-94	0.145	0.22	0.33	-0.11	0.746	5.06	4.90	0.216			0.18			
05-Abr-94	0.191	0.25	0.31	-0.06	0.879	5.26	5.10	0.219			0.20			
20-May-94	0.395	0.23	0.37	-0.14	1.748	8.21	7.95	0.219			0.24			
29-Jul-94	0.180	0.15	0.30	-0.15	1.063	7.28	7.20	0.150			0.15			
23-Ago-94	0.135	0.10	0.32	-0.22	0.906	6.79	6.70	0.162			0.18	97.855	-0.31	Solamente se hallo la cota cero
20-Sep-94												97.870		
04-Oct-94	0.227	0.15	0.40	-0.25	1.136	5.73	5.60	0.193			0.21			
04-Nov-94	0.447	0.25	0.35	-0.10	1.527	7.60	7.40	0.280			0.23			
19-Ene-95	0.133	0.12	0.22	-0.10	0.744	5.13	5.10	0.177			0.15			
08-Feb-95	0.082	0.09	0.25	-0.16	0.456	3.47	3.40	0.182			0.14			

Aforos Históricos Microcuenca Río Lato – Estación PROANDES



FECHA	Q (m ³ /s)	Lec LM (mts)	H real (mts)	Ho (mts)	A (m ²)	PM (m)	ANCHO (m)	Vm (m/s)	V Super (m/s)	FC	PROFU M(m)	COTA "0"	Ho	METADATOS
18-Abr-95	0.125	0.11	0.32	-0.21	0.779	4.30	4.20	0.157			0.22			No realizo aforo liquido. Suponemos que hubo cambio de mira.
08-Sep-95												95.919		
20-Dic-95	0.689	0.84	0.40	0.44	1.883	8.20	8.10	0.427			0.24			
23-Ene-96	0.448	0.77	0.37	0.40	1.525	8.25	8.10	0.331			0.20			
29-Jul-96	0.950	0.90	0.50	0.40	2.296	7.29	7.20	0.385			0.33			
26-Ago-96	0.709	0.83	0.45	0.38	1.989	6.18	6.05	0.331			0.30			
19-Nov-96	1.285	0.92	0.50	0.42	2.385	8.15	8.00	0.582			0.22			
27-Feb-97	0.245	0.73	0.36	0.37	1.188	5.79	5.60	0.221			0.25			
13-Mar-97	0.517	0.78	0.38	0.40	1.593	7.28	7.20	0.317				95.887	0.53	en esta refer. Incluyo Q del 13/Mar/97
21-Abr-97														
19-May-97	0.283	0.78	0.18	0.60	0.855	6.53	6.50	0.318			0.13			
03-Jun-97	0.424	0.79	0.50	0.29	1.940	6.58	6.50	0.204			0.30			
14-Jul-97	0.255	0.74	0.50	0.24	1.497	6.10	6.00	0.184			0.27			
01-Oct-97	0.171	0.70	0.48	0.22	1.527	6.21	6.10	0.112			0.29			
10-Nov-97	0.315	0.74	0.45	0.29	1.773	7.08	7.00	0.158			0.27			
02-Feb-98	0.341	0.70	0.30	0.40	1.370	8.06	8.00	0.226			0.18			
23-Feb-98	0.236	0.70	0.45	0.25	1.912	7.12	7.05	0.116			0.27			
09-Mar-98												95.893	0.25	en esta refer. Incluyo Q del 23/Febr/98
13-Abr-98	0.300	0.75	0.75	0.00	2.724	6.47	6.30	0.102			0.45			
08-Jun-98	0.288	0.72	0.43	0.29	1.471	6.62	6.55	0.177			0.23			
06-Jul-98	0.374	0.73	0.52	0.21	1.988	6.58	6.50	0.177			0.31			
21-Ago-98	0.421	0.70	0.42	0.28	1.615	6.97	6.95	0.249			0.23			
18-Sep-98	0.376	0.83	0.58	0.25	2.572	7.15	7.05	0.135			0.38			
01-Oct-98	0.182	0.70	0.48	0.22	1.598	6.20	6.10	0.100			0.28			
05-Feb-99	0.304	0.70	0.62	0.08	2.531	7.19	7.05	0.108			0.38	95.892	0.08	
12-Mar-99	0.176	0.68	0.55	0.13	2.380	7.41	7.30	0.069			0.33			
27-May-99	0.185	0.66	0.52	0.14	2.140	6.50	6.40	0.082			0.35			
10-Ago-99	0.535	0.73	0.28	0.45	1.264	6.65	6.60	0.413			0.20			
23-Ago-99	0.523	0.72	0.28	0.44	1.364	7.28	7.20	0.360			0.19			
07-Sep-99	2.438	0.90	0.40	0.50	2.558	8.25	8.20	1.057			0.30			
16-Sep-99	0.351	0.71	0.27	0.44	1.048	6.29	6.20	0.298			0.17			
28-Sep-99	7.948	1.24	0.80	0.44	5.535	9.62	9.50	1.320			0.56			
18-Nov-99	1.523	0.92	0.45	0.47	2.403	8.16	8.50	0.624			0.28			
17-Ene-00	0.641	0.77	0.29	0.48	1.538	7.54	7.50	0.419			0.21			
31-Mar-00	0.884	0.81	0.33	0.48	1.865	8.10	8.00	0.445			0.25			

Aforos Históricos Microcuenca Río Lato – Estación PROANDES



FECHA	Q (m³/s)	Lec LM (mts)	H real (mts)	Ho (mts)	A (m²)	PM (m)	ANCHO (m)	Vm (m/s)	V Super (m/s)	FC	PROFU M(m)	COTA "0"	Ho	METADATOS
15-May-00	0.275	0.77	0.25	0.52	1.398	7.74	7.70	0.201						
12-Jun-00	0.472	0.74	0.26	0.48	1.316	7.14	7.05	0.349						
21-Jul-00	0.738	0.70	0.28	0.42	1.915	8.02	8.00	0.368						
14-Ago-00	0.242	0.72	0.23	0.49	0.776	4.25	4.20	0.293						
11-Sep-00	0.561	0.72	0.28	0.44	1.688	7.56	7.50	0.350						
03-Oct-00	0.655	0.78	0.29	0.49	1.835	7.84	7.80	0.346						
10-Nov-00	2.840	0.91	0.45	0.46	4.428	13.18	13.00	0.542						
09-Feb-01	0.169	0.66	0.25	0.41	0.738	5.54	5.50	0.206						
23-Abr-01	0.259	0.63	0.24	0.39	0.983	7.04	7.00	0.247						
07-May-01	0.139	0.64	0.16	0.48	0.700	6.84	6.80	0.186						
04-Jun-01	0.247	0.68	0.23	0.45	0.990	7.76	7.70	0.241						
23-Jul-01	0.501	0.70	0.24	0.46	1.580	10.04	10.00	0.251						
24-Ago-01	0.498	0.74	0.28	0.46	0.498	7.39	7.30	0.322						
10-Oct-01	0.178	0.67	0.25	0.42	0.960	6.55	6.50	0.169						
19-Nov-01	0.704	0.82	0.32	0.50	1.955	8.58	8.50	0.368						
11-Dic-01	0.355	0.70	0.22	0.48	1.078	7.02	7.00	0.317						
15-Feb-02	0.136	0.63	0.20	0.43	0.743	7.03	7.00	0.183						
30-Abr-02	0.520	0.70	0.30	0.40	1.575	8.29	8.20	0.296						
24-May-02	0.455	0.75	0.30	0.45	1.460	8.05	8.00	0.302						
12-Jul-02	0.331	0.71	0.21	0.50	1.005	8.07	8.00	0.306						
27-Ago-02	0.225	0.68	0.17	0.51	1.054	9.62	9.60	0.223						
21-Oct-02	0.272	0.65	0.21	0.44	1.022	9.93	9.90	0.265						
17-Nov-02	0.357	0.72	0.23	0.49	1.103	8.63	8.60	0.312						
08-May-03	0.575	0.69	0.30	0.39	1.314	7.00	6.90	0.394			0.20	95.851	0.39	Se cambio el BM, la seccion de Aforos. Lect hay que restarle 0,13 mts. Diferencia de NA afor con NA de la mira. Orlando S - Cristian Q
22-Jul-03	0.431	0.65	0.27	0.38	0.949	6.65	6.62	0.499						
03-Sep-03	0.558	0.67	0.32	0.35	1.234	6.76	6.70	0.458						
08-Oct-03	0.847	0.70	0.36	0.34	1.685	6.87	6.75	0.509						
05-Nov-03	0.970	0.68	0.47	0.21	2.045	7.64	7.55	0.413						Aforo realizado por vertimientos
18-Dic-03	0.429	0.66	0.19	0.47	1.003	6.74	6.70	0.535						
25-Feb-04	0.426	0.64	0.23	0.41	0.994	6.71	6.65	0.407			0.15	95.968	0.40	A las Lect hay que restarle 0,13 mts. Diferencia de NA afor con NA de la mira. Orlando S - Cristian Q
31-May-04	0.521	0.79	0.29	0.50	1.21	6.95	6.80	0.387						

Aforos Históricos Microcuenca Río Lato – Estación PROANDES



FECHA	Q (m ³ /s)	Lec LM (mts)	H real (mts)	Ho (mts)	A (m ²)	PM (m)	ANCHO (m)	Vm (m/s)	V Super (m/s)	FC	PROFU M(m)	COTA "0"	Ho	METADATOS
02-Sep-04	0.207	0.70	0.18	0.52	0.68	6.66	6.63	0.356			0.11			
12-Oct-04	0.424	0.76	0.25	0.51	1.178	6.74	6.70	0.328			0.18			
28-Oct-04	0.983	0.87	0.45	0.42	2.24	6.83	6.75	0.465			0.33			
13-Dic-04	0.584	0.78	0.32	0.46	1.35	6.67	6.60	0.426			0.22			
10-Feb-05	1.017	0.90	0.38	0.52	1.909	7.04	6.88	0.491			0.28	95.856	0.38	A las Lect hay que restarle 0,14 mts. Diferencia de NA afor con NA de la mira. Oriando S - Cristian Q
14-Abr-05	0.285	0.71	0.27	0.44	1.048	6.69	6.65	0.327			0.19			
16-May-05	0.526	0.77	0.35	0.42	1.506	1.506	6.70	0.384			0.25			
13-Jun-05	0.632	0.80	0.30	0.50	1.632	6.72	6.70	0.440			0.21			
14-Jul-05	0.437	0.77	0.25	0.52	1.174	7.06	7.00	0.386			0.18			
08-Ago-05	0.250	0.74	0.25	0.49	0.929	6.71	6.65	0.222			0.15			
21-Sep-05	0.341	0.77	0.25	0.52	1.057	7.17	7.10	0.226			0.16			
25-Oct-05	0.566	0.77	0.25	0.52	1.171	6.73	6.64	0.466			0.18			
02-Nov-05	0.622	0.79	0.55	0.24	1.93	6.84	6.66	0.276			0.30			
19-Dic-05	0.430	0.71	0.49	0.22	1.433	6.83	6.62	0.194	0.260	0.75	0.22			Capacitacion del IDEAM. Se llevara el promedio de la velocidad Superficial, y se utilizaran otros tipos de metodos de aforo. Se comenzo a calcular la velocidad media con un FC de 0.85.

Aforos Históricos Microcuenca Río Lato – Estación PROANDES