
CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DEL COMPONENTE CLIMÁTICO

TABLA DE CONTENIDO

1.1	Introducción	2
1.2	PRESENTACIÓN	3
1.2.1	Precipitación	7
1.2.2	Número de días con Precipitación	10
1.2.3	Precipitaciones Máximas en 24 Horas	12
1.2.4	Temperatura Media	14
1.2.5	Humedad Relativa	15
1.2.6	Evapotranspiración Potencial	16
1.2.7	Balances Hídricos Climáticos	19
1.2.8	Zonificación Climática	21
1.2.9	Clasificación del Clima por el Método de Caldas Lang	26

CAPÍTULO 1. EVALUACIÓN DEL COMPONENTE CLIMÁTICO

1.1 Introducción

El clima constituye el conjunto de condiciones de la atmósfera, que caracterizan el estado o situación del tiempo atmosférico y su evolución en un lugar dado. El clima se determina por el análisis espacio tiempo de los elementos que lo definen y los factores que lo afectan.

Entre los elementos del clima se tiene precipitación, temperatura, humedad, brillo solar, vientos, entre otros; los dos primeros son los más importantes por cuanto permiten definir, clasificar y zonificar el clima de una región dada, en tanto que los otros se presentan como atributos caracterizadores de las unidades ya definidas.

Los factores del clima, pendiente, altitud, formas del relieve, generan cambios climáticos a nivel regional o local, mientras que la cobertura vegetal es causa y efecto del clima tanto como su indicador.

El clima es importante, desde el punto de vista físico-biótico por su directa intervención en la evolución de los suelos y el paisaje. Además por ser uno de los elementos o insumos necesarios para la determinación de las amenazas naturales y desde el punto de vista socioeconómico por su influencia en la decisión de utilización de las tierras para determinados usos.

A efectos de apoyar las actividades de planeación que viene adelantando la Corporación en la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur y que tienen que ver, entre otras, con la realización de futuros proyectos, se ha elaborado el análisis climático el cual se compone de una interpretación de las series históricas obtenidas en el IDEAM a través del uso de gráficas donde se representa la distribución temporal de los elementos del clima considerados. Por otro lado se calculó la evapotranspiración potencial, los balances hídricos climáticos y se establecieron las zonas climáticas que conforman la cuenca.

Además y mediante mapas temáticos se representan la ubicación de las estaciones utilizadas, las isoyetas e isotermas y las zonas climáticas obtenidas por los métodos de Thorthwaite y Caldas Lang.

Finalmente, este estudio pretende constituirse en una herramienta climática básica para evaluar, junto con la información socioeconómica, el impacto climático sobre el aspecto económico de la cuenca y las posibles repercusiones sociales de este impacto, teniendo en cuenta que la estructura de la base económica de un asentamiento humano depende tanto de los recursos naturales que eventualmente la soportan como de la manera como esos recursos se explotan.

1.2 PRESENTACIÓN

En este estudio climatológico se lleva a cabo la descripción del funcionamiento general del clima de la región natural de la cuenca del río Cravo Sur con jurisdicción en los departamentos de Boyacá y Casanare hasta su clasificación climática, utilizando para ello un sistema de clasificación, el cual es descrito más adelante.

Para lograr lo anterior, se fijó como objetivo principal el de determinar el conjunto fluctuante de los valores de los elementos y variables meteorológicas características de los estados y evoluciones del tiempo, estableciendo los valores de mayor parte de los elementos climatológicos básicos y de algunos sintéticos, su distribución espacial y temporal, las características de sus variaciones y el comportamiento del clima.

Previa una descripción del marco o mecanismo general del clima que actúa en Colombia, en general, y en la región oriental y occidental de los departamentos de Boyacá y Casanare, respectivamente. En particular, se analizan los datos básicos utilizados, se determina el modelo que relaciona los elementos meteorológicos con los factores climáticos, se definen las características de la mayor parte de elementos meteorológicos y, finalmente, se establecen los diferentes tipos climáticos que se presentan en la cuenca del río Cravo Sur y sus afluentes.

Los análisis climatológicos efectuados, posibilitan deducir e interpretar el comportamiento de la atmósfera y permiten definir las bases para comprender las causas de ese comportamiento, determinar el cómo y el porqué del clima, tener una base para evaluar las fluctuaciones climáticas y poder definir los efectos y relaciones de la atmósfera con otros comportamientos naturales.

En especial se destaca: a) La existencia de áreas con muy alta pluviosidad y muy altos excesos hídricos que, muy sucesivamente, se convierten en unas de las más lluviosas de la cuenca; b) La presencia de un gradiente térmico vertical con altas variaciones.

Geográficamente la cuenca se localiza entre los 4°41'13" hasta los 5°56'37" de Latitud Norte y entre los 71°34'09" y 72°46'28" de Longitud al Oeste de Greenwich, en conjunto con la influencia que ejerce la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), condicionan las propiedades físicas de la atmósfera que definen el tiempo y el clima. Actúan también sobre las características climáticas de la cuenca del río Cravo Sur, todas las condiciones físicas que le son propias (forma, orientación, rango de altitudes, topografía, vegetación, etc.) y que producen o modifican los elementos que crean el clima.

La situación geográfica de Colombia, ubicada en el extremo noroccidental de América del Sur, entre aproximadamente 4° de Latitud Sur y algo más de 13° de Latitud Norte, hace que casi toda su extensión quede condicionada a la influencia de la ZCIT. Por tal razón, las condiciones y variaciones, a través del tiempo, de las masas de aire que define e influyen sobre el tiempo y el clima en Colombia, están muy ligadas a la presencia de la ZCIT que es, entonces, el sistema meteorológico que fija el mecanismo general del clima.

La ZCIT, es una zona de la atmósfera en la que concluyen dos masas de aire con baja presión relativa, se sitúa aproximadamente paralela al Ecuador y está ubicada entre dos núcleos de alta presión atmosférica. Esta zona, y las masas de aire que concluyen en ella, se desplaza con respecto al Ecuador siguiendo el movimiento aparente del sol, con un retraso de 5 a 6 semanas y una amplitud latitudinal media, aproximada, de 20° en Africa, 30° en Asia y 20° en América del Sur.

La diferencia de presión entre los núcleos de altas presiones y la ZCIT, da origen a movimientos horizontales del aire desde los trópicos hacia el Ecuador; el aire se desvía por el movimiento de rotación de la tierra y sopla finalmente, desde el noreste en el sector ubicado en el norte y desde el sureste en el sur.

Las áreas que no están, en un período dado, bajo la influencia de la ZCIT, se condicionan a los efectos de masas de aire relativamente seco, subsidente y estable, y están bajo la influencia de la

ZCIT, el cielo es nuboso y se presentan abundantes lluvias; algunas veces se originan turbulencias dinámicas y/o térmicas que ocasionan procesos de fuerte convección (ascenso de aire), condensación del vapor de agua (al enfriarse por el ascenso) y precipitación.

En Colombia la ZCIT fluctúa, aproximadamente, entre 0° de latitud, posición en la que se encuentra en enero - febrero, y 10° de latitud norte, posición extrema que se puede alcanzar en julio - agosto. El desplazamiento ocasiona que en la mayor parte de Colombia se presente, durante el año, un doble máximo y un doble mínimo de precipitaciones y, por supuesto, también de los demás elementos meteorológicos.

Es decir, la ZCIT, pasa por el centro de Colombia dos veces al año:

- Una primera vez entre abril y mayo, cuando se desplaza hacia el norte y ocasiona el primer período lluvioso que va acompañado de un pequeño descenso en las temperaturas medias, con una disminución de las máximas y aumento de las mínimas;
- Una segunda vez entre septiembre y octubre, cuando regresa de su posición norte más extrema, alcanzada en julio - agosto, y se dirige al sur, originando el segundo período lluvioso que es el más fuerte y también se acompaña de un descenso en las temperaturas medias, disminución de las máximas y aumento de las mínimas.

Los procesos zonales de convección térmica y dinámica, junto con la influencia extensiva de la ZCIT, juegan una importancia decisiva en el régimen climático, notándose su acción especialmente en las áreas planas de las regiones septentrionales y orientales de Colombia.

Además de los procesos convectivos, térmicos y dinámicos mencionados, y de los ascensos y descensos de aire que guardan una relación directa con la ZCIT, también se hacen presentes movimientos del aire, horizontales y verticales, determinados por causas locales y condicionadas básicamente por la configuración del relieve, la vegetación y la relación tierra - agua que originan estabilización o inestabilización de la atmósfera lo cual ocasiona, a su vez, muy escasas o muy abundantes precipitaciones, respectivamente. También influyen los efectos de las circulaciones locales, como las brisas de montaña - valle y valle - montaña o pendiente - arriba y pendiente - abajo, que demuestran su presencia básicamente porque refuerzan la influencia de los otros procesos o sistemas meteorológicos actuantes y determinan el período del día en el cual se

presenta una mayor precipitación y coadyuvan a su producción en las épocas en las cuales esos otros procesos o sistemas meteorológicos no son totalmente condicionantes.

Para efectuar la caracterización climática de la cuenca del río Cravo Sur, se realizó el inventario y recopilación de la información disponible de las diferentes estaciones meteorológicas (16) representativas de esta cuenca. (Ver Tabla 1.1 y Mapa de Localización de Estaciones Meteorológicas).

TABLA 1.1 ESTACIONES METEOROLOGICAS

ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	MUNICIPIO	DEPTO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	ELEVACION (m.s.n.m)	AÑOS REGISTROS
AGUAZUL	3519503	CO	AGUAZUL	CASANARE	0511N - 7233W	380	1974 – 2005
AEROPUERTO YOPAL	3521501	CP	YOPAL	CASANARE	0519N - 7223W	325	1974 – 2005
EL CARDON	3523501	CO	SOCOTA	BOYACÁ	0601N - 7232W	3590	1974 – 2005
CARIMAGUA	3303501	AM	PUERTO GAITAN	META	0435N - 7122W	200	1972 – 2005
LA CHAPARRERA	3521005	PG	YOPAL	CASANARE	0529N - 7214W	395	1995 – 2005
CORINTO	3519505	CO	PAJARITO	BOYACÁ	0525N - 7243W	1550	1984 – 2005
CURITAL	2403069	PM	SOCHA	BOYACÁ	0600N - 7240W	3052	1974 – 2005
HACIENDA EL DESECHO	3521006	PG	NUNCHIA	CASANARE	0535N - 7203W	345	1995 – 2005
MODULOS	3522502	CO	OROCUE	CASANARE	0452N - 7124W	130	1981 – 2005
MOLINOS DE CASANARE	3521004	PG	YOPAL	CASANARE	0524N - 7219W	330	1995 – 2005
MÓNGUA	2403056	PM	MÓNGUA	BOYACÁ	0546N - 7249W	2900	1971 – 2005
EL MORRO	3521001	PM	YOPAL	CASANARE	0528N - 7228W	656	1974 – 2005
ESCUELA RURAL NIMICIA	2403064	PM	GAMEZA	BOYACÁ	0548N - 7247W	3200	1974 – 2005
LA POYATA	3518004	PM	MANI	CASANARE	0427N - 7203W	147	1983 – 2005
SAN LUIS PALENQUE	3523001	PM	SAN LUIS DE PALENQUE	CASANARE	0526N - 7145W	170	1974 – 2005
TOQUILLA	3519002	PM	AQUITANIA	BOYACÁ	0531N - 7247W	2950	1971 – 2005

PM : Pluviométrica
 PG : Pluviográfica
 AM : Agrometeorológica
 CO : Climatológica Ordinaria
 CP : Climatológica Principal

La identificación, ubicación geográfica, altitud y los valores de los diferentes elementos meteorológicos que se observaron en cada estación durante el período en que ellas han funcionado, fueron obtenidos de los archivos y de publicaciones del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM.

Después de procesar toda la información, usando los procedimientos estadísticos y meteorológicos generalmente aceptados, se obtuvieron los valores mensuales y se determinaron las características climatológicas de la región.

Sin embargo es importante recalcar que solo 4 estaciones meteorológicas se localizan dentro de la jurisdicción de la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur, las 12 estaciones restantes son de apoyo para el análisis temporal y espacial del clima. En el mapa de Localización de Estaciones Meteorológicas, se puede visualizar su ubicación.

1.2.1 Precipitación

En cuanto a la distribución temporal de las lluvias en la cuenca del río Cravo Sur, el comportamiento de las lluvias durante el año es de tipo monomodal. En términos generales la precipitación presenta las siguientes características:

- La temporada lluviosa se inicia normalmente en el mes de marzo y se prolonga hasta finales de noviembre y principios de diciembre, en total 9 meses; su máxima intensidad se presenta en consecuencia de que en este lapso la ZCIT se desplaza hacia el norte. Esta condición es similar en la parte alta, media y baja de la cuenca.
- La temporada menos lluviosa, en general, tiene lugar en los lapsos comprendidos entre los meses de diciembre, enero y febrero, cuando la ZCIT se encuentra en el sur y no ejerce influencia condicionante al occidente del departamento de Boyacá y oriente del departamento de Casanare.
- La ZCIT en esta parte del año, localiza su mayor actividad en el norte del país causando la temporada lluviosa en la región Caribe. En estos dos meses el área de estudio se encuentra nuevamente lejos de la influencia de la ZCIT y era de esperarse que se registrara el segundo período seco del año. Sin embargo ello no ocurre y por el contrario la lluvia en la región continúa y las cantidades caídas son iguales o mayores a la de los meses anteriores o siguientes.

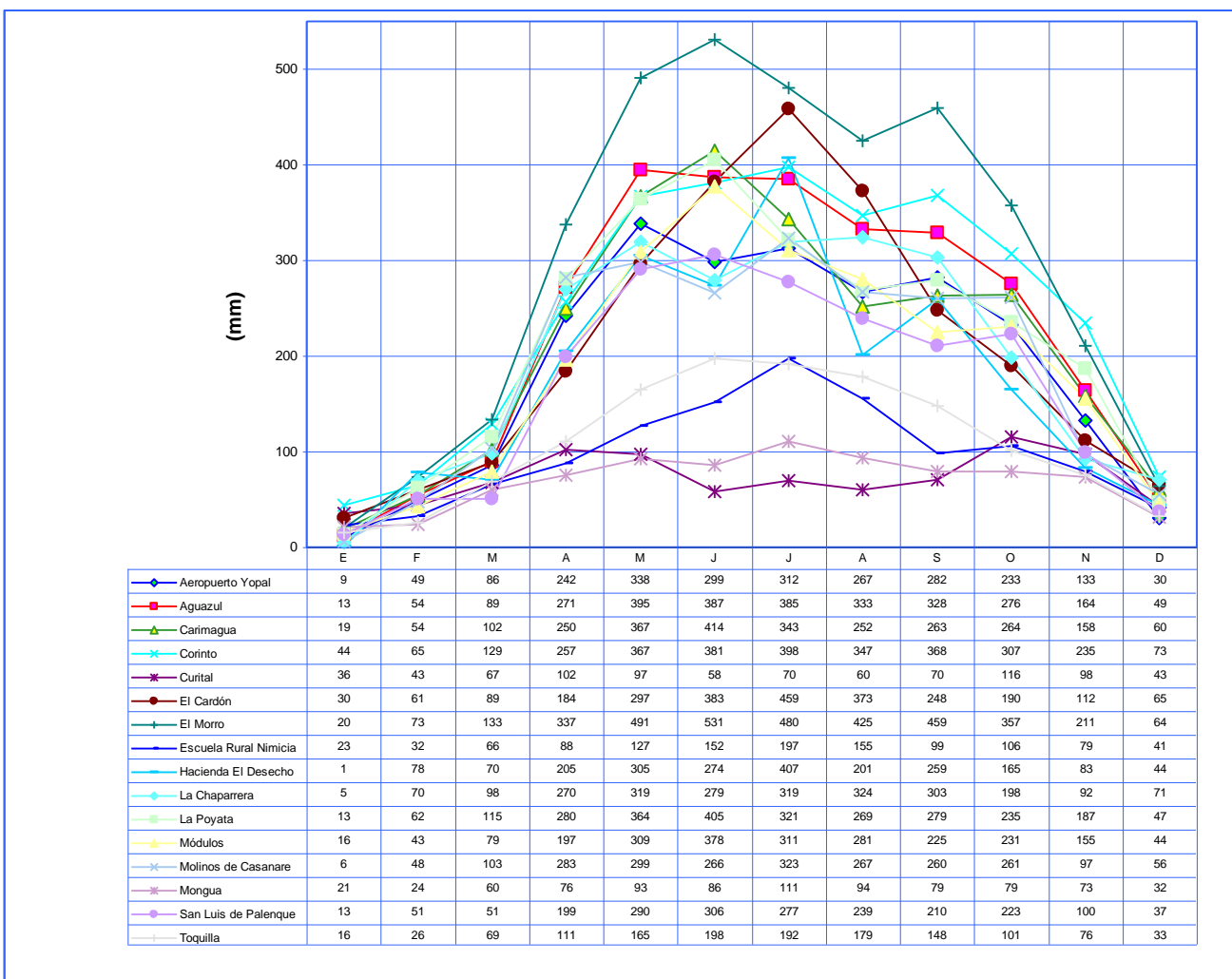


FIGURA 1.1. Distribución anual de precipitación mensual

La explicación a esta situación parece radicar en que por este tiempo los vientos que soplan del oeste a través de las llanuras venezolanas, descargan su contenido de humedad en esta área.

Como se mencionó anteriormente, en la cuenca del río Cravo Sur la precipitación es de tipo monomodal con un fuerte período de lluvias comprendido entre los meses de marzo a noviembre, con valores que oscilan entre 60 mm en marzo por los alrededores del municipio de Móngua y 531

mm en noviembre, en cercanías de El Morro, municipio de Yopal; durante el mismo año alcanzan los 348 mm como se aprecia en el mes de julio.

En relación con la distribución espacial, se puede observar en el mapa de isoyetas anuales, que la parte media de la cuenca registra los valores más altos de precipitación conjuntamente con el sector donde se localiza la divisoria del aguas de la microcuenca del río Chiquito.

Dichos valores de precipitación anual oscilan en general para toda la cuenca entre los 826 mm y 3581 mm. Los valores que oscilan entre los 800 y los 1300 mm anuales se ubican hacia la el noroccidente de la cuenca, en su parte más alta.

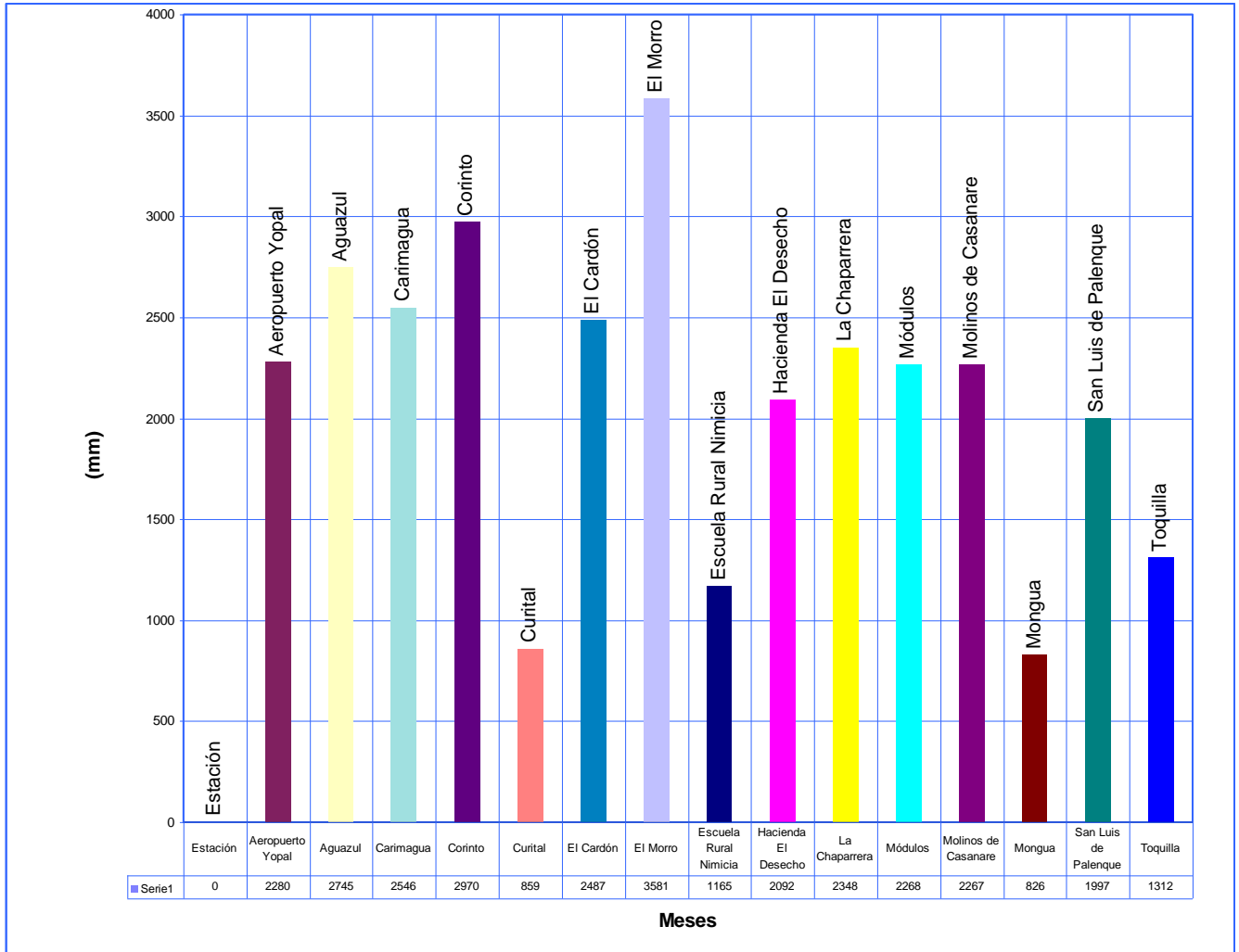


FIGURA 1.2. Distribución de precipitación anual

Hacia la parte plana, en la sabana, los valores anuales de precipitación oscilan entre 2000 y 2750 mm, dejando para el sector de Aguazul los valores más altos del sector con registros anuales que superan los 2700 mm (Ver mapa de Isoyetas anuales).

1.2.2 Número de días con Precipitación

Se puede concluir que el número de días con precipitación, presenta una proporcionalidad con el valor medio mensual de la precipitación y que, por tal proporcionalidad, esa cantidad presenta un régimen de variación, durante el año, similar al de la precipitación media mensual.

El número de días con precipitación en la parte alta de la cuenca, en los alrededores de la estación El Cardón es de 30 días en el mes de agosto, los días comienzan a disminuir hasta llegar a los 8 días en el mes de enero cuando el verano esta en proceso. En otros sectores de la parte alta de la cuenca los valores son menores pero igual que la zona anterior oscilan entre 4 días en el mes de enero y 25 días en el mes de julio.

Más abajo de la cuenca, hacia la parte occidental, los valores de días con precipitación se reducen, oscilando entre 9 y 27 días.

Hacia la parte media de la cuenca, donde se localiza la zona conocida como de piedemonte y que es representada por las estaciones El Morro, La Chaparrera, Molinos de Casanare, Aeropuerto El Yopal y Hacienda El Desecho, los valores de días con precipitación fluctúan entre 0 y 21 días. Los valores más bajos se registran en el mes de enero mientras que los más altos en los meses de mayo y junio, respectivamente.

En la parte baja de la cuenca localizada entre el piedemonte y su confluencia con el río Meta, los valores de días con precipitación disminuyen, registrando valores que oscilan entre 1 y 16 días. Cabe resaltar que esta zona no posee estaciones. La información se obtiene de estaciones que se encuentran en los municipios de Maní y Orocué, en el departamento de Casanare y otra, la de Carimagua, localizada en jurisdicción municipal de Puerto Gaitán.

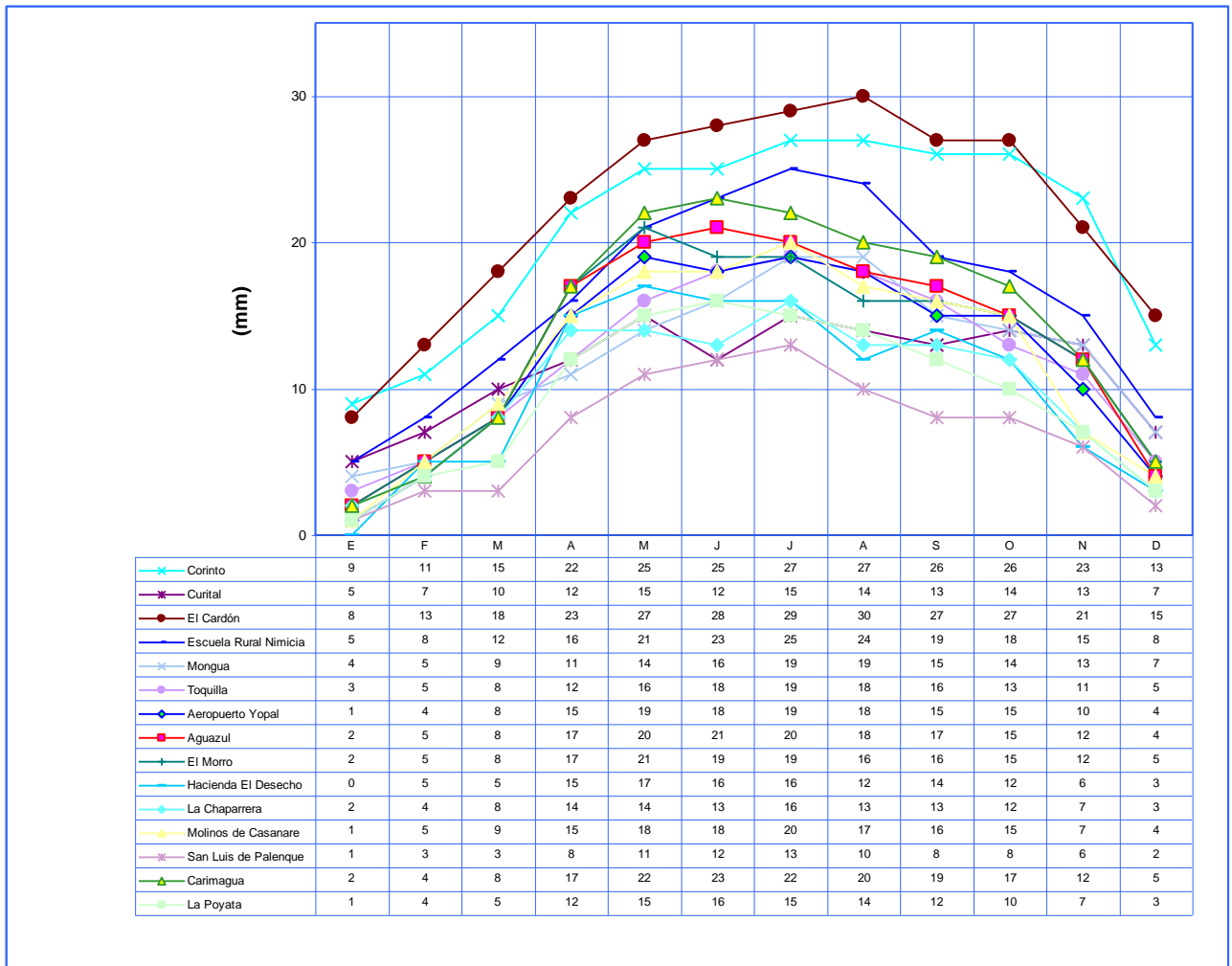


FIGURA 1.3. Distribución anual, número de días con precipitación

1.2.3 Precipitaciones Máximas en 24 Horas

La distribución y variación de los valores de la precipitación máxima absoluta y máxima media recibida en 24 horas, a través del año (Figura 1.4), refleja claramente la diferente influencia de los distintos procesos originados por la lluvia, en especial los relacionados con la unión de los efectos de la ZCIT y las características fisiográficas de la cuenca. Esta situación y el hecho de que se trata de un solo valor extremo mensual que ha sido seleccionado entre los valores máximos diarios de

cada mes durante todo el período analizado, hace que los datos de la precipitación máxima en 24 horas no presenten una perfecta relación con otros valores característicos de la precipitación ni con otros elementos meteorológicos.

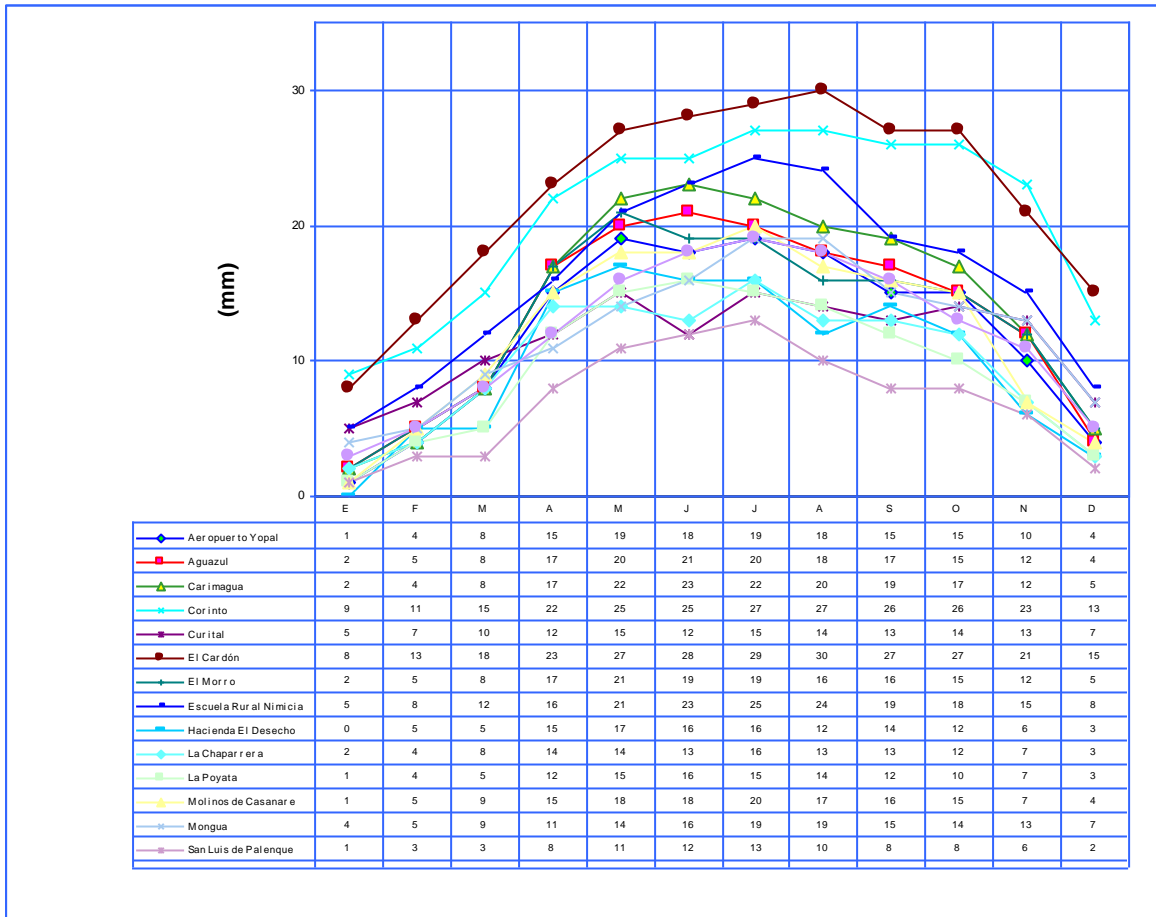


FIGURA 1.4. Precipitación máxima en 24 horas

Sin embargo es de resaltar que los valores máximos de precipitación en 24 horas presentan un comportamiento monomodal para toda la cuenca. Escasamente este parámetro supera los 30 mm mensuales en el período de mayor precipitación en la parte alta, mientras que los demás sectores de la cuenca estos valores oscilan entre 10 y 25 mm mensuales en el período húmedo. En el período seco los valores oscilan entre 0 y 13 mm.

1.2.4 Temperatura Media

Los diferentes valores de temperatura obtenidos con base en la información recopilada en las estaciones meteorológicas ubicadas en el área presentan muy pocas variaciones durante el año, en general cambia para la cuenca según las características propias de la misma, como la altitud. Hacia la parte alta en los alrededores de la estación El Cardón, los valores medios de temperatura oscilan entre 5,2 y 6,6°C. En otros sectores esta oscila entre 7,7°C y 11,1°C. A medida que se va descendiendo la temperatura aumenta, así se puede observar en los alrededores de El Morro, donde los valores oscilan entre 22,4°C y 25,7°C, el primero en el mes de julio y el segundo en el mes de enero.

La parte baja de la cuenca presenta otra situación térmica. Las temperaturas en los alrededores de Yopal y la zona que se cubre la cuenca del río Cravo Sur hasta su confluencia con el río Meta registran un rango oscilatorio de 6°C. En sí la altitud incide en los valores que inician en los 23,1°C y alcanza los 29,4°C. Ver Figura 1.5 – Distribución Anual de la Temperatura.

La sensación térmica en la cuenca es variable, es decir que los climas que se encuentran van desde el frío y llega hasta el muy cálido.

Como se puede apreciar en el mapa de Isotermas Anuales, la temperatura media aumenta o disminuye según las condiciones orográficas de los diferentes sectores de la cuenca. Se elaboró un mapa utilizando un rango el rango de 2°C y se representó mediante una degradación de colores.

En términos generales la temperatura media es muy estable y la amplitud de las oscilaciones en la mayoría de las estaciones no supera los 2°C. Los valores anuales fluctúan entre 6,1°C en la parte alta y 27,3°C en la parte alta. (Ver Mapa de Isotermas Anuales).

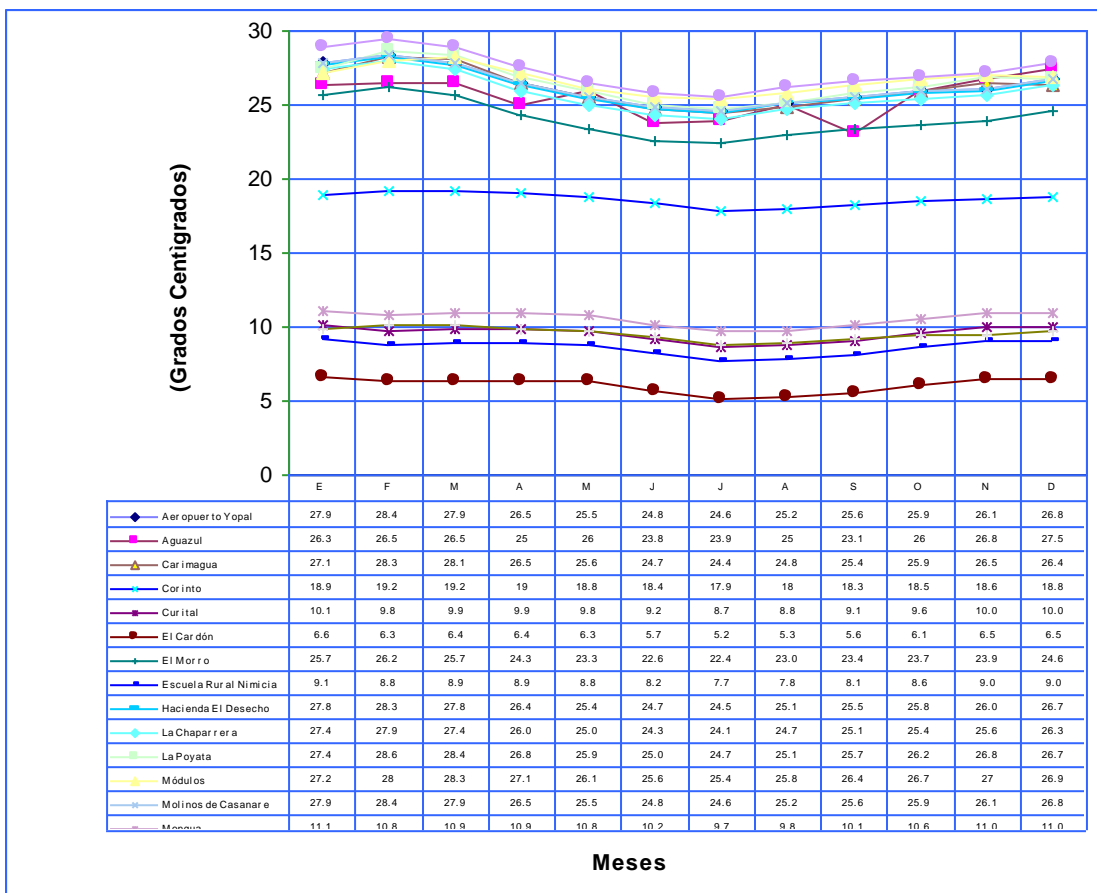


FIGURA 1.5. Distribución anual de la temperatura

1.2.5 Humedad Relativa

Los valores medios de los principales indicadores de la humedad relativa que se presentan en la cuenca permiten concluir lo siguiente:

Los registros para cada una de las zonas representativas del área de estudio son muy constantes. La humedad relativa anual es alta en la parte alta de la cuenca, presentando valores que fluctúan entre 86% y 98%, notándose la incidencia de mayor humedad en el área de El Cardón. Hacia las partes media y baja la humedad relativa desciende considerablemente con valores que oscilan

entre 60 y 70% en los meses de verano y entre 80 y 90% en los meses más húmedos. Los meses de transición entre los períodos húmedo y seco, la humedad relativa está entre el 65 y 80%.

Los rangos oscilatorios entre la parte alta y media alcanzan el 15% mensual, es por eso que es posible identificar cuales períodos del año registran menor o mayor humedad relativa. Dichos períodos coinciden con los períodos de lluvias y los períodos secos, es decir que a mayor precipitación, mayor humedad, mientras que a menor precipitación, menor humedad.

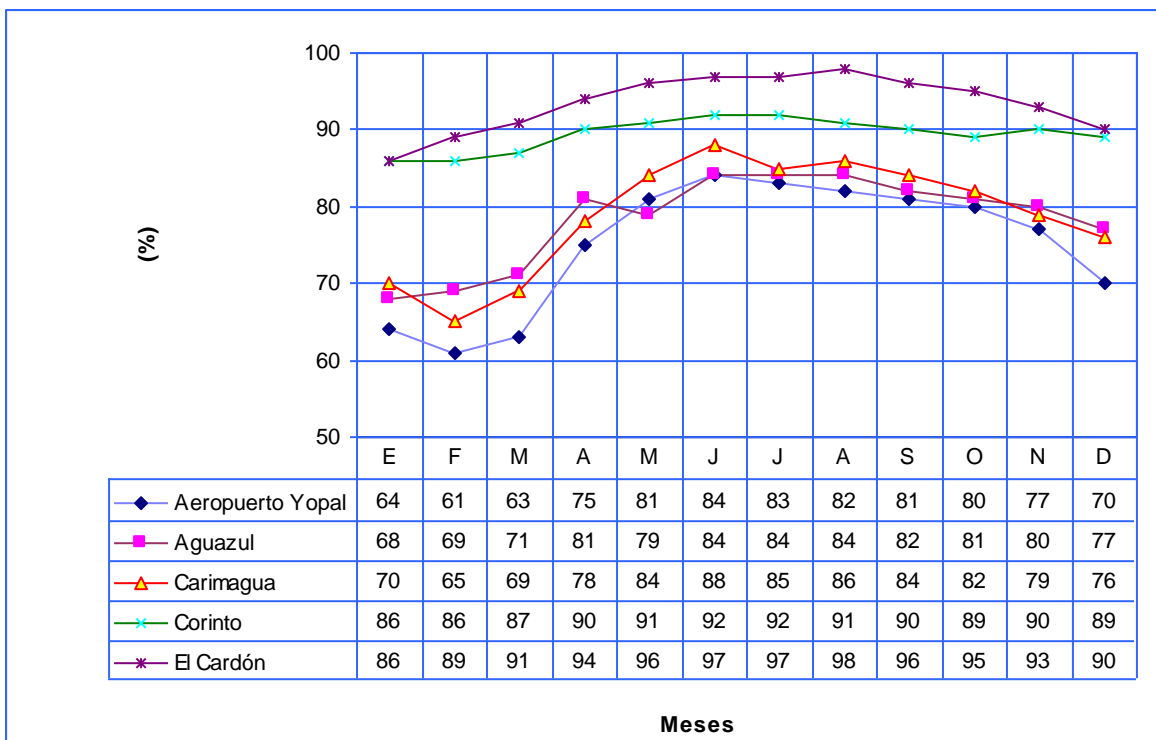


FIGURA 1.6. Distribución anual de la humedad relativa

1.2.6 Evapotranspiración Potencial

Con el propósito de estimar la evapotranspiración potencial y teniendo en cuenta la falta de algunos parámetros meteorológicos como radiación global, vientos y punto de rocío, se determinó emplear las fórmulas de Thornthwaite y García - López, esta última mostrando buenos resultados en el trópico.

La metodología propuesta por **C. W. Thornthwaite** (1948), se encuentra condensada en su fórmula de ETP:

$$ETP = 0.53 (10 \cdot T/I)^a$$

donde:

T = Temperatura media mensual (grados centígrados)
I = Índice calórico anual, suma de los doce índices calóricos mensuales

$$I = 12 ((T. \text{ anual} / 5)^{1.514})$$

a = Exponente, que va en función de I, dado por:

$$a = (675 \cdot 10^{-9}) I^3 - (771 \cdot 10^{-7}) I^2 + (179 \cdot 10^{-4}) I + 0.492$$

La metodología propuesta por **García y López** (1970) es condensada en su fórmula de ETP:

$$ETP = (1.21 \cdot 10n \cdot (1-0.01 HR)) + 0.21T - 2.30$$

La evapotranspiración potencial a nivel mensual presenta el siguiente comportamiento:

En la parte alta los resultados de aplicar la metodología de Thornthwaite arrojaron que la ETP sobrepasa escasamente los 50 mm mensuales. Los valores más bajos se registran en los alrededores de la estación El Cardón con 41 mm. Los meses de mayor valor se localizan en el período seco que va desde enero hasta marzo y una parte en el mes de diciembre.

Los valores de ETP van aumentando a medida que se desciende en la cuenca, por el sector de la microcuenca del río Chiquito, los valores oscilan entre 56 mm y 71 mm; en cercanías de El Morro, sobre la cuenca del río Cravo Sur, los valores entre 86 y 127 mm mensuales, correspondiendo el más bajo al mes más húmedo y el más alto al mes más seco.

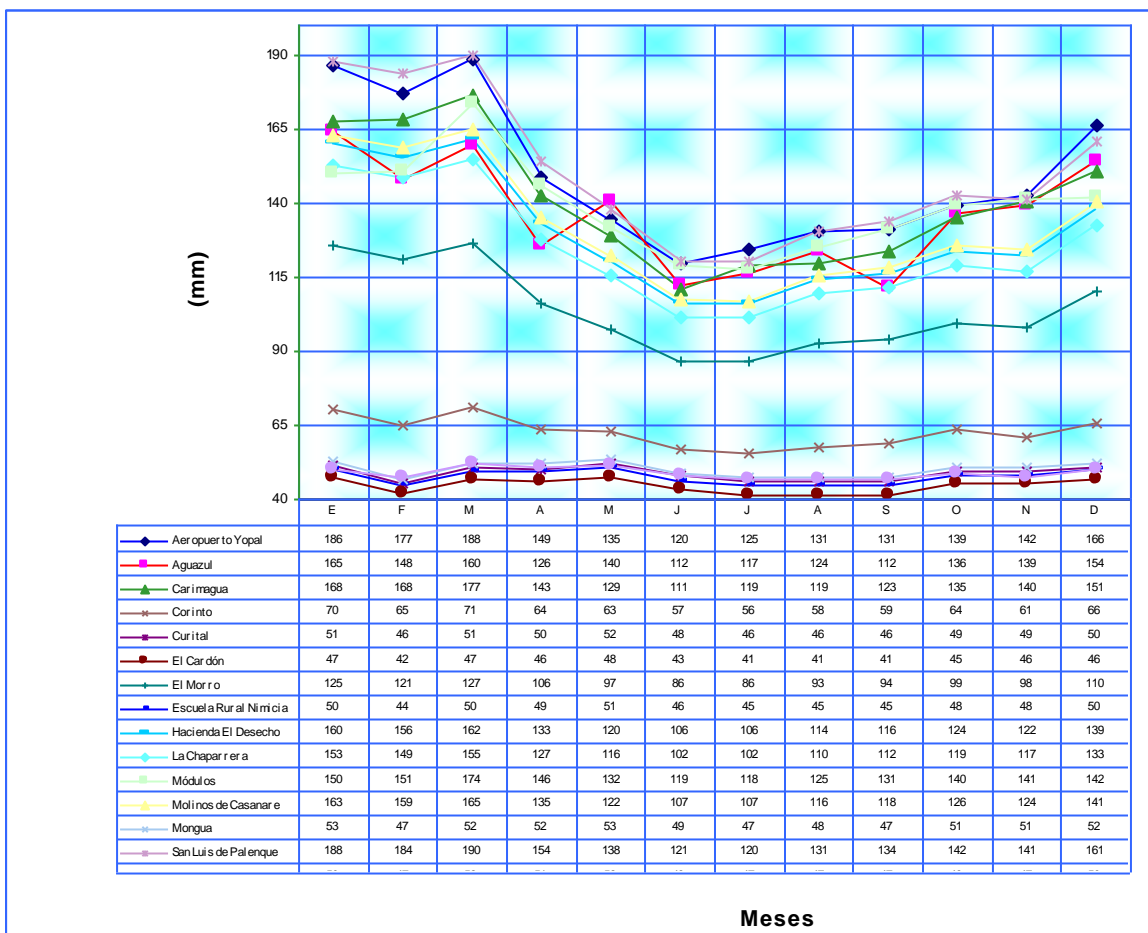


FIGURA 1.7. Evapotranspiración potencial

Para el resto de la cuenca, es decir la parte baja, se presentan los valores más altos de ETP, los cuales oscilan entre 107 mm y 190 mm. Los valores más altos se localizan en los alrededores de las estaciones de El Yopal y San Luis de Palenque con valores que oscilan entre 120 y 190 mm.

Es evidente que las variaciones de la ETP durante el año registran variaciones muy altas, donde se puede concluir que el período seco muestra los valores más altos, mientras que el período húmedo los valores más bajos. Adicionalmente los valores obtenidos de ETP se convierten en el insumo principal para el cálculo del balance hídrico, componente fundamental de la zonificación climática de la cuenca.

1.2.7 *Balances Hídricos Climáticos*

Los balances hídricos permiten conocer en una determinada área, la disponibilidad media de agua a lo largo del año, lo que puede ser de utilidad para programar muchas actividades relacionadas con la planeación de acuerdo con la distribución de la precipitación y con la disponibilidad de agua durante los periodos lluviosos y/o secos.

Los balances fueron calculados mediante la aplicación del programa **Water Balance**, el cual fue desarrollado por el Instituto Aeroespacial para el Levantamiento del Suelo (ITC) de Holanda.

Este programa calcula el balance hídrico a partir de los datos de precipitación media mensual y la evapotranspiración potencial mensual, los cuales combina con la capacidad de almacenamiento de los suelos y un porcentaje de escorrentía directa.

Los datos que arroja el balance hídrico y en especial el de Water Balance, son la evapotranspiración real, excesos de agua, déficit, agua que utiliza realmente el suelo y la escorrentía directa (Runoff).

Los balances hídricos climáticos para las estaciones representativas de la cuenca del río Cravo Sur, indican lo siguiente:

Hacia la parte alta, más específicamente en la zona donde se encuentra la estación El Cardón, los excesos son los que predominan durante todo el año con valores que superan los 1900 mm anuales. A nivel mensual los excesos comienzan en el mes de febrero con 3 mm y van aumentando a medida que se incrementan las lluvias hasta alcanzar los 418 mm en el mes de julio. Las lluvias comienzan a disminuir y con ellas los excesos también, terminando el año con 19 mm en diciembre. El déficit en esta zona alta es de 0 mm.

Igual comportamiento se registra en otras zonas de la parte alta de la cuenca, en cuanto a los excesos anuales se refiere. Sin embargo sus valores no son tan altos, algunos alcanzan escasamente a superar los 250 mm anuales y en otros los 600 mm, como es el caso para las zonas representadas por las estaciones Curital, Escuela Rural Nimicia y Móngua. Los déficit se

evidencian más que en la zona descrita anteriormente, sin embargo éstos no superan los 20 mm anuales.

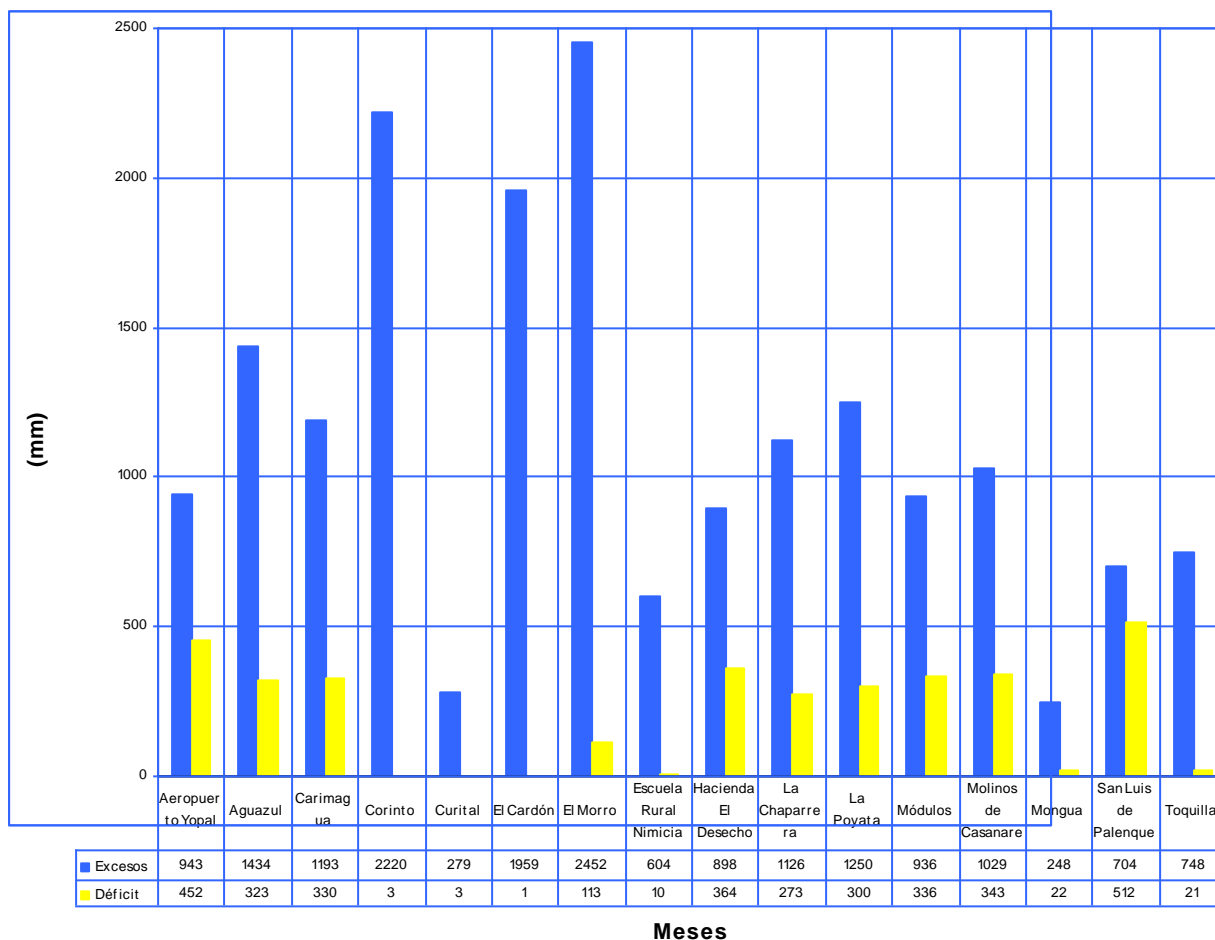


FIGURA 1.8. Distribución de déficit y excesos anuales

En la parte media de la cuenca los excesos también marcan el grado de humedad con valores que superan los 1000 mm anuales. Las estaciones El Morro, La Chaparrera, Molinos de Casanare y Aguazul que se localizan en la parte media de la cuenca, más específicamente el sector de piedemonte muestran que los excesos mensuales comienzan en el mes de abril y culminan en noviembre.

La zona de El Morro se constituye en la región donde se localiza el mayor volumen de excesos de toda la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur, con valores anuales que superan los 2450 mm.

Para la parte baja de la cuenca, en donde las condiciones de altitud y temperatura son más homogéneas, donde los excesos disminuyen considerablemente y se localizan entre los 500 y 1000 mm anuales. Esto permite que los déficit ausentes en la parte alta y media de la cuenca aparezcan con valores que oscilan entre los 300 y 500 mm anuales. A nivel mensual los valores tanto en los excesos como en los déficit son marcados y registran rangos oscilatorios que van desde los 0 hasta los 185 mm mensuales en excesos y para los déficit entre 0 y 150 mm mensuales.

Es evidente que los excesos se enmarcan básicamente en el período húmedo y los déficit en el período seco. Estado de Excesos y Déficit.

1.2.8 Zonificación Climática

El análisis de las zonas climáticas identificadas permitirá ver claramente la variedad de climas. Dicho de otra forma y de acuerdo a las condiciones físicas de la zona el clima en toda la cuenca puede presentar variaciones significativas, las cuales serán detectadas durante el análisis de cada uno de los elementos del clima con los factores que los generan.

Con el fin de realizar la zonificación climática, se empleó la denominada nueva clasificación de Thornthwaite que se basa en un índice hídrico, un índice térmico y la variación estacional del índice hídrico. A continuación se hace la descripción de cada uno de ellos:

- **Índice Hídrico**

El índice hídrico se calcula de acuerdo con la expresión:

$$I = I_h - \frac{6}{10} * I_a$$

Donde:

I = Índice Hídrico

I_h = Índice de humedad

I_a = Índice de aridez

$$I_h = \frac{[100 * Excesodeagua]}{[Necesidaddeagua]}$$

Pero,

$$I_a = \frac{[100 * Deficienciadeagua]}{[Necesidaddeagua]}$$

Entonces:

$$I = \frac{[100 * excesodeagua] - [60 * deficienciadeagua]}{[necesidaddeaguadisponible]}$$

En los climas áridos el índice adquiere valores negativos mientras que en los húmedos valores positivos.

- **Índice Térmico:** Este índice se fundamenta en la evapotranspiración potencial y los tipos climáticos que resultan con sus correspondientes límites. Cabe anotar que los índices son hasta cierto punto arbitrarios y sirven para establecer comparaciones y no para describir la realidad absoluta de un clima.

- **Variación Estacional del Índice Hídrico:** La variación estacional del índice hídrico, tiene en cuenta si se trata de un clima húmedo (A, B, C2) o de un clima seco (C1, D, E) y para establecer las características de cada uno de ellos considera el índice de aridez y humedad respectivamente.

Los factores antes anunciados se calcularon a partir de los balances hídricos generales de las estaciones emplazadas en la zona. La combinación de los índices y la variación del primero darán como resultado las zonas climáticas para la cuenca.

La combinación de los índices hídrico y térmico y la variación estacional del primero da como resultado unas zonas climáticas, las cuales se obtienen a partir de los valores generados por el balance hídrico para exceso de humedad y necesidad de humedad anual.

La combinación de los índices hídrico y térmico y la variación estacional del primero da como resultado las siguientes zonas climáticas (Ver Mapa de Zonificación Climática).

- **Zona Climática ARA´:** Esta zona se clasifica como Perhúmeda Megatermal y se presenta por tener índices hídricos mayores a 100 mm (**A**), con un índice térmico que es mayor a 1146 mm (**A´**), con variación estacional del índice hídrico localizado dentro del clima húmedo con nula o pequeña deficiencia de agua en el período seco (**R**). Se ubica sobre la parte media de la cuenca del río Cravo Sur, en el sector de El Morro, en donde los excesos de agua son los más altos de la toda la cuenca del río Cabrera. La evapotranspiración potencial supera los 1146 mm anuales, lo que la localiza dentro del tipo climático megatermal. El área aproximada que cubre esta zona es de 60.485 Ha.
- **Zona Climática ARC´₂:** Esta zona se clasifica como Perhúmeda Microtermal y se presenta por tener índices hídricos mayores a 100 mm (**A**), con un índice térmico que es mayor a 500 mm (**C´₂**), con variación estacional del índice hídrico localizado dentro del clima húmedo con nula o pequeña deficiencia de agua en el período seco (**R**). Se ubica sobre la parte alta de la cuenca del río Cravo Sur, en el sector de El Cardón, en donde los excesos de agua ocupan el tercer lugar en los más altos de la cuenca. La evapotranspiración potencial alcanza los 530 mm anuales, lo que la localiza dentro del tipo climático microtermal. El área aproximada que cubre esta zona es de 6.153 Ha.

- **Zona Climática ARB₂'**: Esta zona se clasifica como Perhúmeda Mesotermal y se presenta por tener índices hídricos mayores a 100 mm (**A**), con un índice térmico que es mayor a 907 mm (**B₂'**), con variación estacional del índice hídrico localizado dentro del clima húmedo con nula o pequeña deficiencia de agua en el período seco (**R**). Se ubica sobre la parte media de la cuenca del río Cravo Sur, en el sector limítrofe con la cuenca del río Cusiana, en donde los excesos de agua ocupan el segundo lugar de la cuenca. La evapotranspiración potencial alcanza los 907 mm anuales, lo que la localiza dentro del tipo climático mesotermal. El área aproximada que cubre esta zona es de 42.430 Ha.
- **Zona Climática ARB₁'**: Esta zona se clasifica como Perhúmeda Microtermal y se presenta por tener índices hídricos mayores a 100 mm (**A**), con un índice térmico que es mayor a 907 mm (**B₁'**), con variación estacional del índice hídrico localizado dentro del clima húmedo con nula o pequeña deficiencia de agua en el período seco (**R**). Se ubica sobre la parte alta de la cuenca del río Cravo Sur, en los sectores que representan las estaciones Escuela Rural Nimicia y Toquilla, recargada hacia la divisoria de aguas con el río Cusiana, en donde los excesos son menores los cuales se sitúan entre los 500 y 1000 mm anuales. La evapotranspiración potencial es baja y tan solo alcanza los 570 mm anuales, lo que la ubica dentro del tipo climático microtermal. El área aproximada que cubre esta zona es de 101.367 Ha.
- **Zona Climática B₂RB₁'**: Esta zona se clasifica como Húmeda Microtermal y se da por tener índices hídricos que oscilan entre 40 y 60 mm (**B₂**), con un índice térmico que es mayor a 570 mm (**B₁'**), con variación estacional del índice hídrico localizado dentro del clima húmedo con nula o pequeña deficiencia de agua en el período seco (**R**). Se ubica hacia la parte alta de la cuenca, en los alrededores de la estación Curital, donde los excesos de agua son también altos. La evapotranspiración potencial alcanza los 584 mm anuales, lo que la sitúa dentro del tipo climático microtermal. El área de cobertura de esta zona es aproximadamente de 8.122 Ha.
- **Zona Climática B₁RB₁'**: Esta zona se clasifica como Ligeramente Húmeda Microtermal y se da por tener índices hídricos que oscilan entre 20 y 40 mm (**B₁**), con un índice térmico que es mayor a 570 mm (**B₁'**), con variación estacional del índice hídrico localizado dentro del clima húmedo con nula o pequeña deficiencia de agua en el período seco (**R**). Se ubica

hacia la parte alta de la cuenca, en los alrededores del municipio de Móngua, específicamente en los alrededores de la estación Móngua, donde los excesos de agua son también altos. La evapotranspiración potencial supera los 602 mm anuales, lo que la sitúa dentro del tipo climático microtermal. El área de cobertura de esta zona es aproximadamente de 6.633 Ha.

- **Zona Climática B₃SA´:** Esta zona se clasifica como Húmeda Megatermal y se caracteriza por tener índices hídricos que oscilan entre 60 y 80 mm (B₃), con un índice térmico que es mayor a 1146 mm (A´), con variación estacional del índice hídrico localizado dentro del clima húmedo con deficiencia de agua moderada en el período seco (S). Se localiza en las partes media y baja, en los municipios de Yopal (sector de La Chaparrera), Aguazul y Maní, zona sur de la cuenca, en donde los excesos de agua son relativamente altos. La evapotranspiración potencial supera los 1146 mm anuales, como consecuencia queda ubicada dentro del tipo climático megatermal. El área aproximada que cubre esta zona es de 54.437 Ha.
- **Zona Climática B₂SA´:** Esta zona se clasifica como Moderadamente Húmeda Megatermal y se caracteriza por tener índices hídricos que oscilan entre 40 y 60 mm (B₂), con un índice térmico que es mayor a 1146 mm (A´), con variación estacional del índice hídrico localizado dentro del clima húmedo con deficiencia de agua moderada en el período seco (S). Se localiza en los alrededores de las estaciones Hacienda El Desecho, Molinos de Casanare y Módulos, en donde los excesos de agua son relativamente altos. La evapotranspiración potencial supera los 1146 mm anuales, como consecuencia queda ubicada dentro del tipo climático megatermal. El área aproximada que cubre esta zona es de 268.186 Ha.
- **Zona Climática B₁SA´:** Esta zona se clasifica como Ligeramente Húmeda Megatermal y se caracteriza por tener índices hídricos que oscilan entre 20 y 40 mm (B₁), con un índice térmico que es mayor a 1146 mm (A´), con variación estacional del índice hídrico localizado dentro del clima húmedo con deficiencia de agua moderada en el período seco (S). Se localiza en los alrededores de las estaciones Yopal y San Luis de Palenque, en donde los excesos de agua son relativamente altos. La evapotranspiración potencial

supera los 1146 mm anuales, como consecuencia queda ubicada dentro del tipo climático megatermal. El área aproximada que cubre esta zona es de 17.300 Ha.

En total fueron determinadas 9 zonas climáticas, las cuales representan los resultados de la combinación entre los elementos del clima y los factores que las generan.

1.2.9 Clasificación del Clima por el Método de Caldas Lang

Richard Lang (1955), estableció una clasificación climática basada en el valor obtenido para cada lugar al dividir la precipitación total anual en milímetros, por la temperatura media anual en grados centígrados. Este cociente se conoce con el nombre de índice de efectividad de la precipitación o factor de lluvia de Lang.

De acuerdo con lo anterior, la clasificación climática resultante de la relación Precipitación y Temperatura (P/T), utilizando los índices presentes es la siguiente:

P/T	CLIMA
< 40	Árido
40 – 60	Semiárido
60 – 100	Semihúmedo
100 – 160	Húmedo
> 160	Superhúmedo

Para el total de estaciones utilizadas, el factor (P/T) arrojó como resultado los siguientes valores que se presentan en la Tabla 1.2.

Continuando con el sistema de clasificación climática de Caldas – Lang utilizado para el presente análisis, se procedió a establecer el gradiente vertical de temperatura según los límites expuestos por Caldas, mediante pisos térmicos, así:

- **Piso Térmico Cálido:** Localizado entre los 0 m y 1000 m, con valores superiores a 24°C, con un margen de altitud en el límite superior de 400 m.

- **Piso Térmico Templado:** Localizado entre los 1000 m y 2000 m, con temperaturas mayores o iguales a 17,5° C y con un margen de amplitud en sus límites superior e inferior de 500 m.

TABLA 1.2 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA SEGÚN ESTACIÓN METEOROLÓGICA

ESTACIÓN	Altura m.s.n.m.	Precipitación Anual (mm)	Temperatura Anual (°c)	Prec/Tem	Clima
Aeropuerto Yopal	325	2280	26,3	86,8	Semihúmedo
Aguazul	380	2745	25,5	107,5	Húmedo
Carimagua	200	2546	26,1	97,4	Semihúmedo
Corinto	1550	2970	18,6	159,4	Húmedo
Curital	3052	859	9,6	89,8	Semihúmedo
El Cardón	3590	2487	6,1	409,3	Superhúmedo
El Morro	656	3581	24,1	148,7	Húmedo
Escuela Rural Nimicia	3200	1165	8,6	135,3	Húmedo
Hacienda El Desecho	345	2092	26,1	80,0	Semihúmedo
La Chaparrera	395	2348	25,8	91,1	Semihúmedo
La Poyata	147	2577	26,5	97,3	Semihúmedo
Módulos	130	2268	26,7	84,9	Semihúmedo
Molinos de Casanare	330	2267	26,3	86,3	Semihúmedo
Móngua	2900	826	10,6	78,2	Semihúmedo
San Luis de Palenque	170	1997	27,3	73,2	Semihúmedo
Toquilla	2950	1312	9,5	137,6	Húmedo

Fuente: Environmental Ingenieros Ltda – 2005

- **Piso Térmico Frío:** Localizado entre los 2000 m y 3000 m de altitud, con temperaturas no inferiores a 12° C y un margen en sus límites latitudinales superior e inferior de 400 m.
- **Piso Térmico Muy Frío o Páramo Bajo:** Localizado entre los 3000 m y los 3700 m, se caracteriza por tener un intervalo de temperatura entre 7 °C y 12 °C

- **Piso Térmico Páramo Alto:** Localizado entre los 3700 m y los 4200 m., aproximadamente con una temperatura inferior a los 7 °C.

TABLA 1.3 PARÁMETROS BÁSICOS DEL MODELO CLIMÁTICO DE CALDAS

PISO TÉRMICO	ALTITUD (m)	TEMPERATURA (°C)
Cálido	0 – 1000	Mayor a 24,0
Templado	1001 – 2000	17,5 a 24,0
Frío	2001 – 3000	12,0 a 17,5
Páramo Bajo	3001 – 3700	7,0 a 12,0
Páramo Alto	3701 – 4200	Menor de 7,0

Una vez obtenidos los resultados de cada método propuesto, éstos fueron combinados y el resultado fue la siguiente clasificación:

TABLA 1.4 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA SEGÚN MODELO DE CALDAS – LANG

Tipo de Clima	Símbolo
Cálido Húmedo	Ch
Cálido Semihúmedo	Ci
Templado Húmedo	Th
Frío Húmedo	Fh
Frío Semihúmedo	Fi
Páramo Bajo Semihúmedo	Pi
Páramo Bajo Húmedo	Ph
Páramo Bajo Superhúmedo	Pu

Fuente: Environmental Ingenieros, 2005

Como resultado de la metodología expuesta, la cuenca del río Cravo Sur cuenta con ocho (8) unidades climáticas: (Ver mapa de Clasificación Climática Caldas Lang):

Calido Semihúmedo (Ci): Corresponde al sector más amplio de la cuenca, se localiza en los alrededores de Yopal (piedemonte) y toda la zona de sabana aproximadamente por debajo de los 400 m.s.n.m.

Cálido Húmedo (Ch): Localizado en los alrededores de El Morro y el sector localizado hacia la parte suroccidental de Yopal, esta unidad climática es transición entre el piedemonte y la sabana, por debajo de los 400 y los 1000 m.s.n.m.

Templado Húmedo (Th): Zona occidental de la cuenca media del río Cravo Sur en límites con la cuenca del río Cusiana, localizada entre los 1000 y 2000 m.s.n.m.

Frío Húmedo (Fh): Corresponde a la parte alta de la cuenca de los ríos Cravo Sur, Payero y Tocaría, localizada por encima de los 2000 m.s.n.m., cubierto de bosques naturales.

Frío Semihúmedo (Fi): Zona Sector superior de la cuenca alta de los ríos Cravo Sur, Payero y Tocaría por encima de los 2000 m.s.n.m., actualmente cubierto en bosques.

Páramo Bajo Semihúmedo (Pi): Franja similar a la anterior que sigue a la ocupada por la vegetación arbórea de la región Andina, tan solo varía en los límites altitudinales que están entre los 3000 y 3200 m.s.n.m., Se caracteriza también por el predominio de la vegetación arbustiva, con elementos florísticos de la familia Compositae.

Páramo Bajo Húmedo (Ph): Franja que sigue a la ocupada por la vegetación arbórea de la región Andina, sus límites altitudinales están entre los 3200 y 3500 m.s.n.m., Se caracteriza por el predominio de la vegetación arbustiva, con elementos florísticos de la familia Compositae.

Páramo Bajo Superhúmedo (Pu): Se localiza en la parte más alta de la cuenca hidrográfica del río Cravo Sur, por encima de los 3500 m.s.n.m., cubierto por páramo de gramíneas en donde la vegetación dominante son los pastizales y los frailejones.