

CARACTERISTICAS DE LA INSOLACION (Brillo solar) EN LA CUENCA DEL CAUCA SUPERIOR

Por *Jesús Eslava R.**

RESUMEN

A pesar de que la insolación es el elemento climático fundamental, sólo muy recientemente se le reconoció esa importancia científica y técnica al desarrollarse diferentes métodos para la transformación de la energía solar en otros tipos de energía aprovechables por la humanidad.

En este trabajo se analiza la información disponible sobre la duración de la Insolación y se determina su distribución espacial y temporal en la cuenca hidrográfica del Cauca Superior y, colateralmente y de forma adicional en sus alrededores. Así mismo, se formulan modelos matemáticos que muestran las leyes naturales de variación espacial y temporal de la insolación y permiten determinar sus valores medios para cualquier sitio con la sola condición de conocer su ubicación geográfica y su altitud.

1. INTRODUCCION

Las necesidades inherentes al desarrollo del país imponen profundizar o, en la mayor parte de los casos, iniciar el análisis del régimen normal de los diferentes e innumerables elementos climáticos básicos y/o sintéticos. El primero en orden de importancia es, sin duda, la radiación solar y más concretamente la parte de esa energía que logra penetrar en el sistema tierra-atmósfera y moverla.

Utilizar la energía del sol, para transformarla con mecanismos diseñados por el hombre, constituye sólo parte final del problema, puesto que todos los mecanismos están totalmente condicionados a la contingencia o intermitencia de la luz solar. Por tal razón, la utilización eficiente de la energía solar está supeditada a la medición y análisis de la distribución y duración espacial y temporal de la insolación.

En el presente estudio se intenta determinar, por primera vez en Colombia y específicamente

para la cuenca hidrográfica del Cauca Superior y sus alrededores, el régimen normal de la insolación. Se emplea para ello la información diaria de la duración de esa insolación facilitada por la Federación Nacional de Cafeteros— FNC (hasta diciembre de 1980) y por el Himat (procesada y disponible para uso público hasta diciembre de 1977).

Se procedió inicialmente al inventario y recopilación de la información disponible y luego a un análisis previo de la calidad de esos datos. Posteriormente se efectuó el procesamiento estadístico de la información de la insolación media diaria, con el objeto de verificar, corregir, depurar y homogeneizar las series. Simultáneamente para cada serie se derivaron los datos de duración de la insolación media diaria para cada uno de los doce meses y para el año completo.

Con el propósito de lograr un análisis espacial y temporal satisfactorio y exacto del elemento insolación, se zonificó toda la región; después, se formularon modelos matemáticos que establecieron relaciones e interrelaciones entre los datos de las diferentes estaciones climatológicas, y entre ellas y los factores climáticos. Con base en estos resultados se procedió nuevamente a verificar, corregir y depurar la información.

La anterior labor también permitió la selección de estaciones climatológicas de referencia para que, con base en ellas, se pudiera depurar y ampliar la información de las otras estaciones a un período homogéneo de 30 años continuos (1951-1980), lo cual, a su vez, posibilita hablar de régimen normal. Finalmente, con ayuda de gráficas representativas, y obviamente de todas las ecuaciones y datos obtenidos, se procedió a determinar la variación espacial y la variación temporal de la duración de la insolación en la cuenca del Cauca Superior y en sus alrededores.

* Departamento de Geociencias - Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

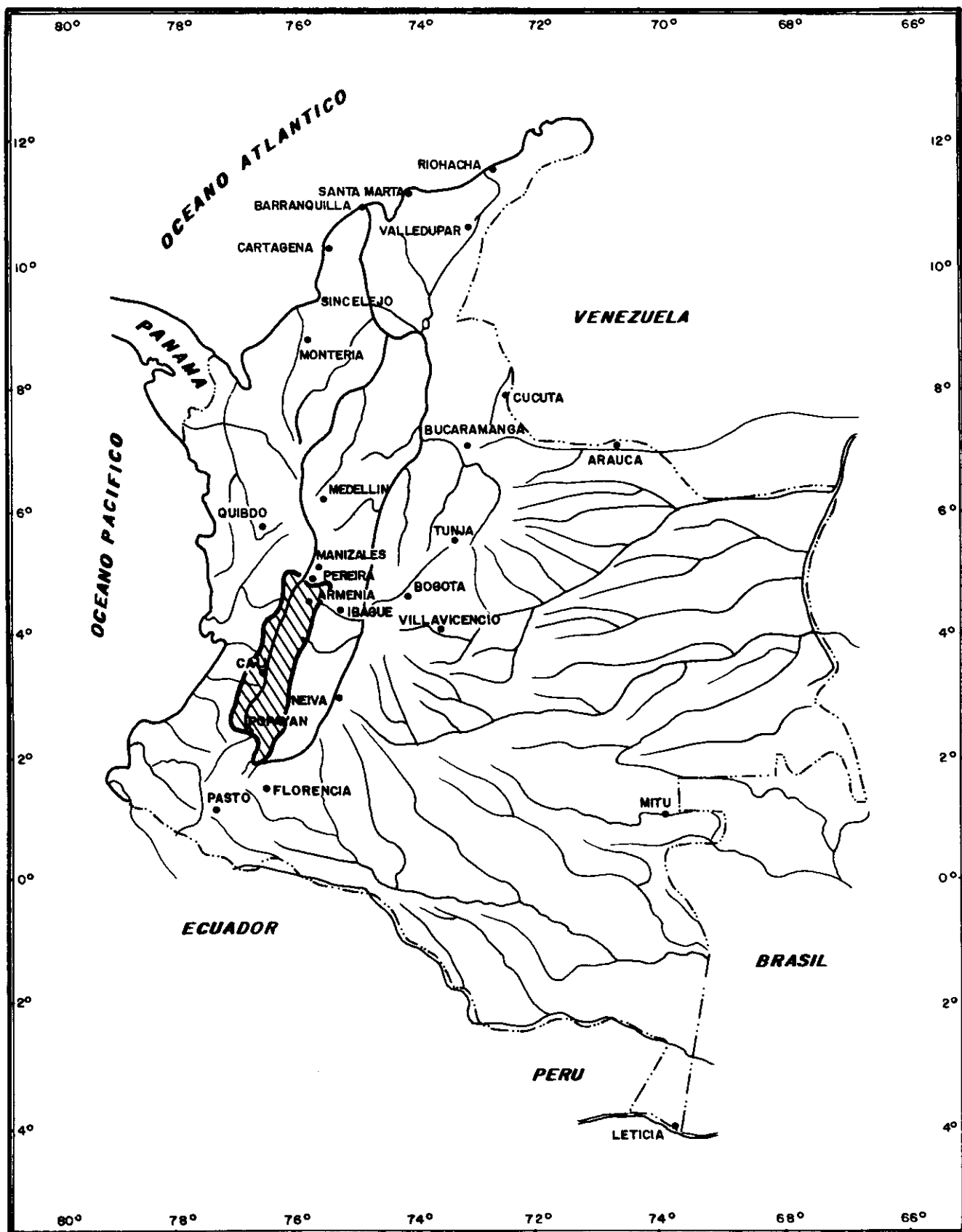


Fig 1. MAPA DE LOCALIZACION GENERAL DE LA CUENCA DEL CAUCA SUPERIOR

2. GENERALIDADES

2.1 DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA

El marco geográfico de este estudio se localiza en la denominada cuenca del Cauca Superior, comprendiendo dentro de ella todas las tierras que abarcan las áreas de captación del río Cauca, desde su origen hasta el puerto de La Virginia, donde inicia su encañonamiento. Se ubica en el sector centro occidental de Colombia, en términos estrictos lo que tradicionalmente se ha denominado tierras caucanas. Se trata de una depresión alargada con dirección sur-norte enmarcada por las cordilleras Occidental y Central (Figs. 1 y 2).

El río Cauca nace en el corazón mismo del macizo colombiano, en la laguna del Buey, Páramo de las Papas, corre entre las cordilleras Central y Occidental y finalmente entre las llanuras del Caribe, bañando esa región cenagosa y desembocando en el río Magdalena, del cual es su principal afluente y más largo del occidente colombiano. Tiene características generales semejantes a las del Magdalena, ya que primero recorre regiones quebradas y abruptas, luego se hace navegable hasta el "Cañón del Cauca" y, en los últimos kilómetros es un río maduro dentro de un valle abierto. También al igual que el Magdalena, se formó por una dislocación o fractura y la fosa fue rellenada por sedimentación.

El río Cauca tiene una longitud de 1015 kilómetros desde la Laguna del Buey hasta su confluencia con el río Magdalena, de la cual aproximadamente 650 kilómetros son navegables. Sus afluentes principales son los ríos San Jorge y Nechí. Su cuenca de captación cubre unos 62.000 kilómetros cuadrados.

La cuenca hidrográfica del Cauca Superior puede dividirse en los cuatro sectores siguientes:

- a) "Valle del Paletará". Desde el centro mismo del Macizo Colombiano, el río atraviesa este alto, frío y húmedo valle (cerca de 22 kilómetros de largo por 5,5 de ancho) y las tierras quebradas que lo circundan. Sustenta algunos cultivos y ganadería.
- b) "Valle de Popayán o de Pubenza". Es una zona típica, templada y agradable, en donde las abruptas montañas han disminuido considerablemente de altura para convertirse en lomas bajas. Este Valle enmarca a la colonial capital del Cauca y permite el predominio de la industria pecuaria.
- c) "Meseta Caucana o Meseta de Popayán". Se extiende desde el Palacé en el sur de este sector, hasta las inmediaciones de la población de Santander. A la derecha del profundo cauce del río, ella presenta elevaciones considerables, aunque se intercalan lomas con tierras suaves, ásperas o estériles. En general, se trata de tierras de poca capacidad agrícola y están más aptas a la ganadería.

- d) "Valle del Cauca". Alargada planicie de 1000 metros de altitud media (aproximadamente 250 kilómetros de largo por 22 a 30 de ancho). Constituye un fértil, cálido y pintoresco valle, es una de las regiones más bellas, alegres y progresistas de Colombia. Por su abundante producción agrícola y ganadera, complementada por sus innumerables industrias, el Valle del Cauca es un "Valle de Ciudades" a la cabeza de las cuales se encuentra Cali, capital departamental.

A la deleitable planicie del Valle, fin de la cuenca del Cauca Superior, le siguen las ásperas tierras caldenses y antioqueñas que conforman la cuenca del Cauca medio.

En general, la forma de la cuenca del Cauca Superior semeja un rectángulo, cuyos puntos extremos corresponden a las siguientes coordenadas geográficas: al suroriente de $01^{\circ}58'$ de latitud norte y $76^{\circ}34'$ de longitud oeste, al suroccidente de $02^{\circ}27'$ latitud norte y $77^{\circ}00'$ de longitud oeste, al noroccidente de $05^{\circ}02'$ de latitud norte y $76^{\circ}05'$ de longitud oeste, al nororiente de $75^{\circ}23'$ de latitud norte y $04^{\circ}43'$ de longitud oeste. El cauce del río Cauca, colector principal, atraviesa el rectángulo por el sector occidental y deja, aproximadamente el 80% del área de captación en el sector oriental, donde también se ubica la mayor parte de sus afluentes. En la región predominan las características montañosas con elevaciones mínimas de 900 metros y máximas de 3.900 metros en la Cordillera Occidental y 5.700 metros en la Central.

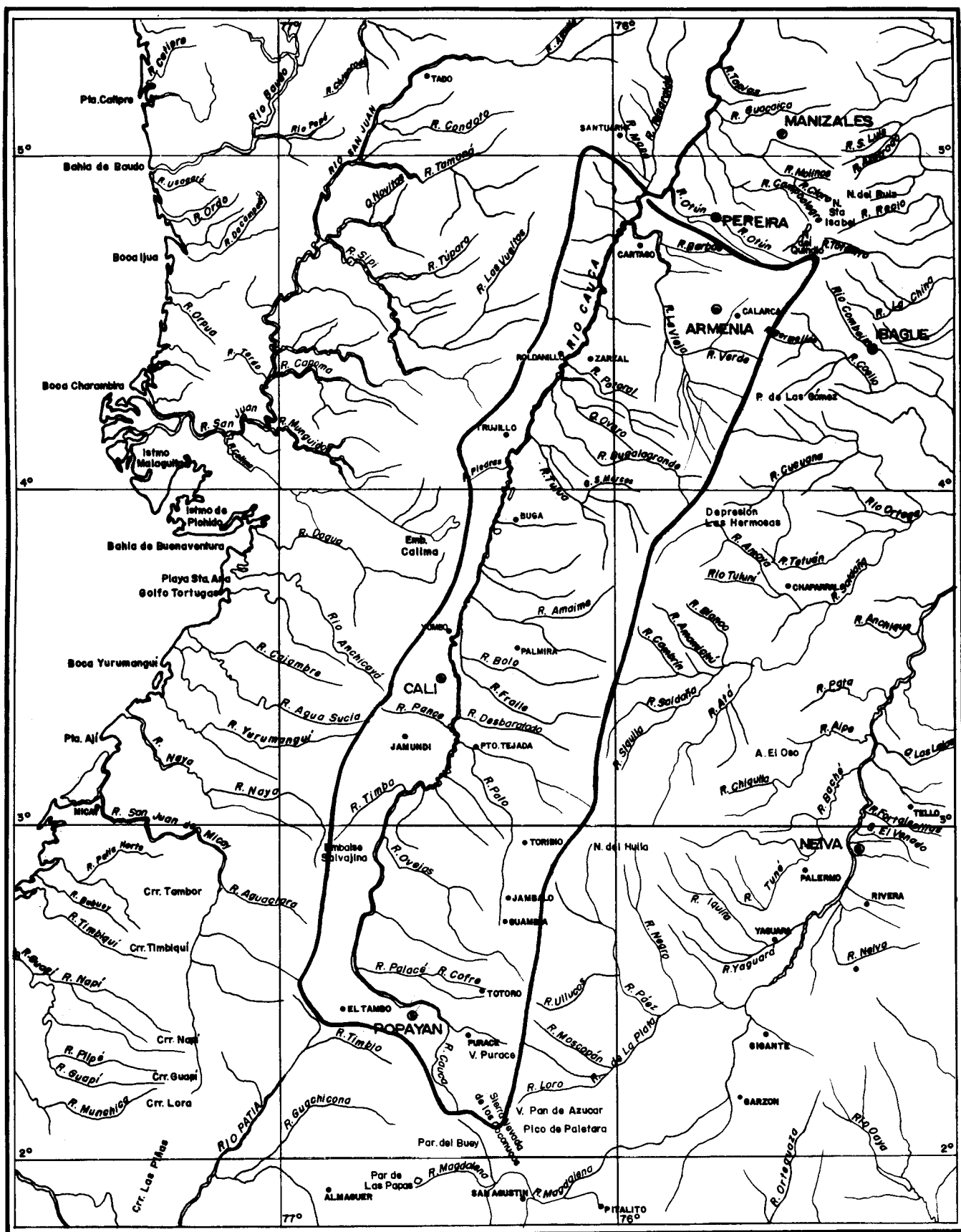
El límite norte de la cuenca se encuentra aguas arriba de la confluencia del Cauca con el río Cañaveral, donde comienza el sector hidrográfico de captación del Cauca medio. Hacia el sur limita con la cuenca del río Patía. Lateralmente se encuentra separada de las afluentes de la Vertiente del Pacífico y de los cauces que tributan sus aguas al Alto Magdalena por las cordilleras Occidental y Central, respectivamente; cadenas montañosas, estas, que, consecuentemente conforman sus fronteras naturales al Occidente y Oriente.

2.2 MEDIDA DE LA DURACION DE LA INSOLACION

2.2.1 Objetivo

Puesto que los climas comprenden sistemas interconectados de diversos elementos y factores, nuestra comprensión de ellos, tendiente a su aprovechamiento, dependerá en gran medida de un excelente y apropiado cubrimiento de las mediciones y análisis de, por lo menos, los elementos fundamentales.

La insolación, ya sea que se considere como la cantidad de energía radiante (radiación) que emite un cuerpo o que este recibe de otro, o que se considere como el tiempo durante el cual un cuerpo recibe energía radiante de otro (duración de la



insolación), es con toda seguridad y por excelencia, el elemento climático fundamental.

Las razones básicas por las cuales la insolación constituye el elemento climático fundamental, se pueden resumir en los siguientes puntos:

- a) Condiciona la elaboración de materia orgánica a través de la fotosíntesis;
- b) Condiciona la distribución de temperatura en la superficie del terreno y, por lo tanto, la distribución de los cultivos.
- c) Es la fuente de energía del ciclo hidrológico.
- d) Es la fuente de energía de la circulación general de la atmósfera y, por lo tanto, del estado del tiempo.

Todos los días, sin excepción, el mayor reactor nuclear de nuestro sistema solar —el sol—, nos entrega parte de la energía que produce y que representa una cantidad miles de veces superior a la empleada por la naturaleza y la que, por sus capacidades y desarrollo, aprovecha o puede aprovechar el hombre.

Las aplicaciones que ha logrado o que puede lograr la humanidad, son diversas y entre ellas se pueden mencionar las siguientes: destilación y desalinización del agua, calentamiento del agua, calefacción de ambientes, generación de temperaturas superiores a los 180°C, casas solares, aire acondicionado, bombeo de agua subterránea, calefacción de piscinas, cocinas solares, hornos solares, centrales helio-eléctricas y/o helio-hidroeléctricas, espejos solares como soles suplementarios, modificación general del estado del tiempo, luz solar contra la contaminación por petróleo, obtención de hidrógeno por descomposición termoquímica del agua, energía solar para la industria fotoquímica, fotosíntesis en laboratorio (Rau, 1981).

Utilizar la energía del sol, capturándola y transformándola con el mecanismo que sea, es sólo una parte del problema, puesto que los dispositivos estarán forzosamente supeditados a la intermitencia o contingencia de la luz del sol, es decir a la duración de la insolación.

Por lo tanto, para poder emplear con eficiencia la energía solar, es requisito previo e indispensable la medición y determinación de la distribución espacial y temporal de la insolación, ya sea como radiación o como duración de la insolación. Al estudiar este parámetro se resuelve, por lo tanto, una buena parte del problema.

En el mundo, y especialmente en Colombia, solo un número muy reducido de las estaciones climatológicas existentes están equipadas para efectuar mediciones regulares de la radiación solar directa y, todavía más pocas cuentan con equipos para medir la radiación saliente de onda larga o la radiación total resultante. Por esta razón, ante la dificultad de disponer de medidas de radiación muchos autores han logrado correlacionar los valores de radiación global recibida en un lugar con la duración de la insolación, las correlaciones han

resultado muy bien definidas para valores medios diarios mensuales o medios diarios anuales (Angstrom, Penman, Gloser & MacCulloch, Koopman, Black, Bonython & Prescott; Smith; en Sellers 1972; Frère, Rijks & Rea 1978). De donde resulta que, es posible determinar los valores de radiación global a partir de los valores de duración de la insolación, para aquellos lugares en los cuales no se mide el primero de ellos, por ejemplo en Colombia.

Pero los valores de duración de la insolación no solamente son útiles para evaluar la radiación solar, sino que su análisis sirve para otros objetivos directos igualmente importantes, tales como los estudios de fisiología vegetal, contaminación atmosférica, determinación de índices climáticos, cálculos de evapotranspiración, determinación de balances hídricos, etc.

2.2.2 Instrumento de Medida

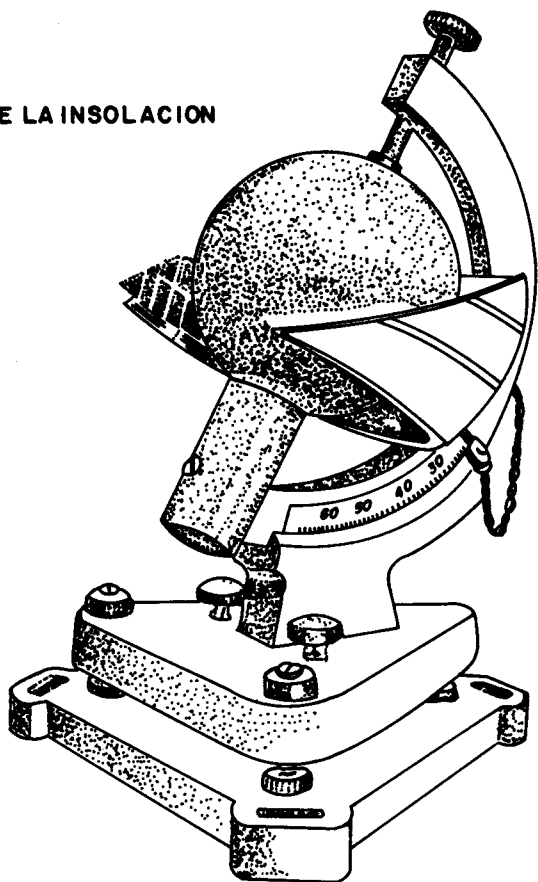
El Heliógrafo es el instrumento meteorológico diseñado para registrar el número de horas diarias, durante las cuales la intensidad de la luz solar es superior a cierto valor, que para todos los fines prácticos es igual a la duración de la insolación (Fig. 3), (World Meteorological Organization, 1971; Eslava, 1980).

El elemento medidor es una esfera de cristal óptico, de 96 milímetros de diámetro, trabajada con gran precisión, transparente y perfectamente pulida, cuyo objetivo es concentrar los rayos solares provenientes de cualquier dirección en un punto focal próximo a ella. La esfera está sostenida por un arco, de manera que los rayos del sol se enfoquen en la superficie de una gráfica de cartón que la sujeta a un casco metálico unido al arco. Este tiene la forma de un semianillo, es metálico de regular anchura, y está situado en la parte inferior de la esfera de cristal. Sus dimensiones están calculadas para que durante todas las horas del día la luz concentrada de los rayos solares caiga en alguna parte de su superficie. Este semianillo metálico está provisto de tres canales para colocar igual número de gráficas diferentes, con las cuales se equipa el instrumento en diversas épocas, según la posición del sol respecto al plano ecuatorial.

Los canales para las gráficas quedan colocados en dirección este-oeste, de manera que cuando el sol se mueve en el firmamento en dirección este-oeste, su imagen se desplaza sobre la superficie del casco en sentido oeste-este.

El instrumento, está diseñado para producir un haz de luz concentrado que causa una línea de quemadura en el cartón marcando así, en la gráfica, las horas de luz solar. El cartón está especialmente preparado para que en los momentos de luz solar fuerte, la quemadura no se extienda demasiado, y que cuando la luz solar sea muy poco intensa deje señales visibles de quemadura. En definitiva se tiene una línea de quemaduras proporcional al tiempo que la luz ha logrado llegar a la superficie

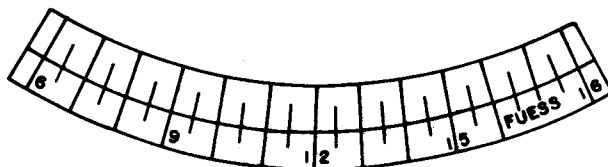
A) - REGISTRADOR DE LA INSOLACION



B) - GRAFICAS DEL REGISTRADOR DE LA INSOLACION

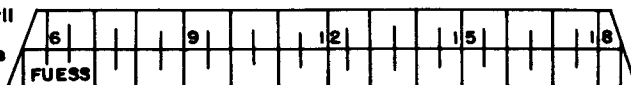
HEMISFERIO NORTE

22 de Octubre
A
21 de Febrero



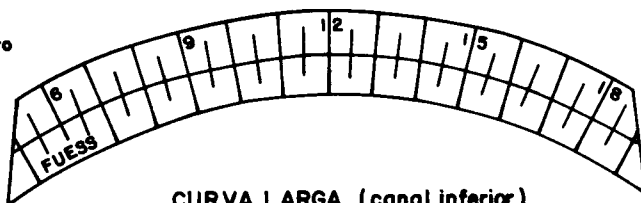
CURVA CORTA (Canal Superior)

22 de Febrero A 20 de Abril
23 de Agosto A 21 de Octubre



RECTA (canal central)

21 de Abril A 22 de Agosto



CURVA LARGA (canal inferior)

HEMISFERIO SUR

21 de Abril
A
22 de Agosto

22 de Febrero A 20 de Abril
23 de Agosto A 21 de Octubre

22 de Octubre A 21 de Febrero

Fig. 3. ESQUEMA DEL HELIOGRAFO

con interrupciones sin quemadura, correspondientes al lapso en que el sol ha permanecido oculto. El cartón está impreso con una línea central y líneas perpendiculares a ella que representan las horas y medias horas, de tal forma que se puede medir no solo la duración de la luz solar, en horas y décimos de hora, sino también la hora exacta en que comenzó o terminó cada uno de los períodos de insolación.

El sitio donde se instala un heliógrafo debe tener características tales que la luz del sol, desde la salida hasta la puesta, caiga directamente sobre la esfera de cristal, sin verse obstaculizada por factores distintos a la nubosidad. Es decir, no deberán existir a su alrededor obstáculos (edificios, vegetación, postes, etc.) o accidentes topográficos que impidan que los rayos solares le lleguen directamente durante todo el día y en las distintas épocas del año.

3. RECOLECCION Y DEPURACION DE LA INFORMACION

Los datos bases fueron recopilados de los archivos y de las diferentes publicaciones de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (1949-1980) y del Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (1935-1977). Para realizar la depuración y homogeneización de la información, se aplicaron sólidos criterios meteorológicos y los métodos estadísticos más adecuados, especialmente los recomendados por Brooks & Carruthers (1953), Panofsky & Brier (1958), Organización Meteorológica Mundial (1970), Essenwanger (1976), World Meteorological Organization (1976), Eslava, Parra & Villalba (1985).

3.1 Inventario y recopilación de la información disponible

Para efectuar el análisis de la duración de la insolación en la cuenca hidrográfica del Cauca Superior, primero se realizó el inventario de las estaciones climatológicas, que han funcionado y/o funcionan en dicha región o en las vecinas, en las cuales se efectúan o se han efectuado mediciones de la insolación. De un total de 150 estaciones inventariadas se recopiló la información de 75, de las cuales 30 están ubicadas dentro del área de estudio y las restantes en las zonas vecinas.

En el cuadro No. 1 se presenta la identificación, ubicación geográfica y otros datos importantes de esas estaciones. El número de orden corresponde también al número con que se identifican en el mapa de localización de estaciones (Fig. 4) y en los demás cuadros.

3.2 Depuración y homogeneización de la información

En la práctica no se puede decir que existen datos climáticos perfectos, todos ellos tienen un cierto rango de inexactitud a causa de inseguridades y errores de diferente índole imputables a la instalación del instrumento, a su lectura, anotación,

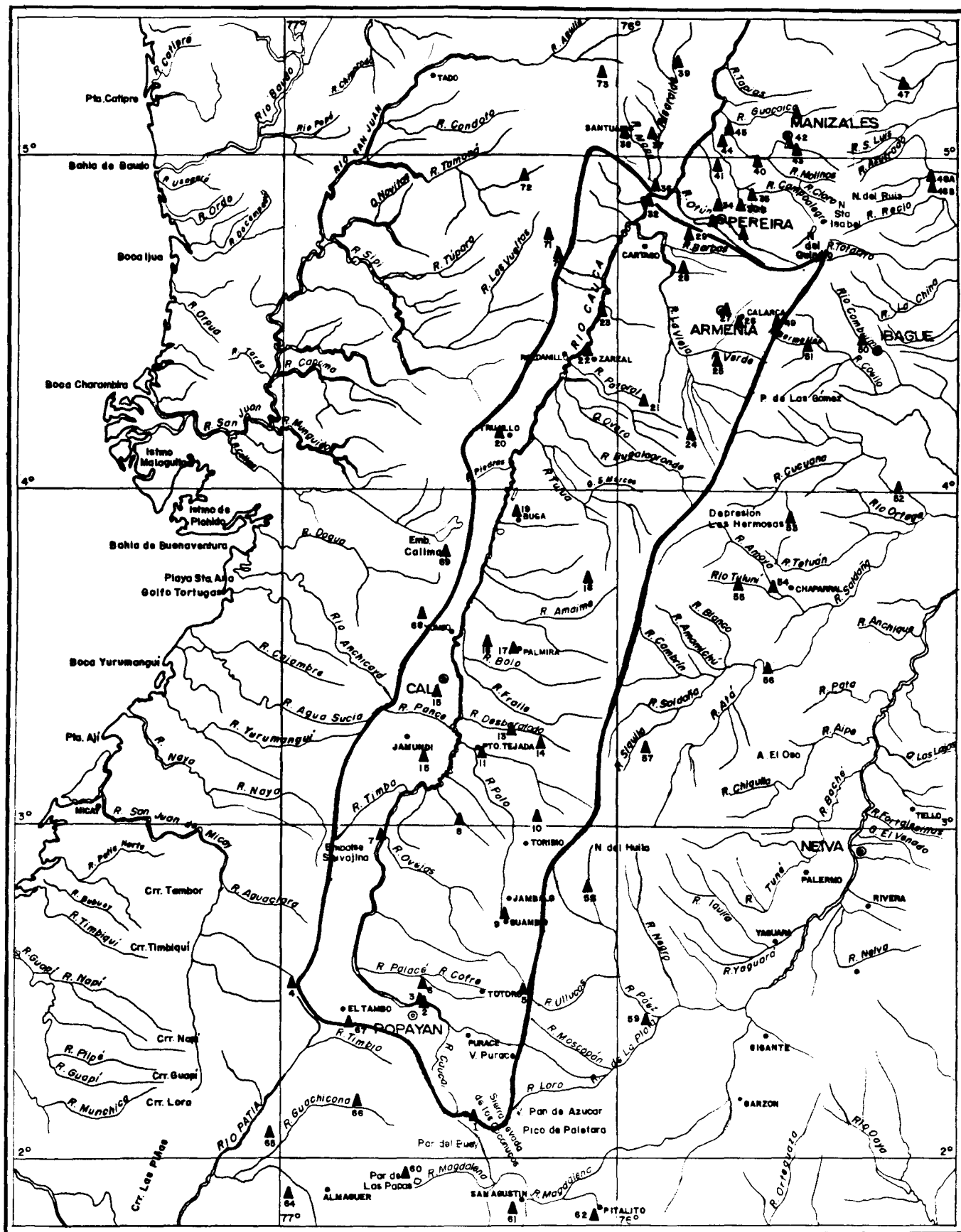
comunicación, recopilaciones sucesivas, etc. Esto obliga, en todos los casos, a verificar los datos y ajustarlos, es decir a depurarlos y homogeneizarlos hasta donde las leyes estadísticas, el grado de exactitud del instrumental y de los métodos de observación lo permitan, aunque se debe evitar violar la integridad del dato original y su característica científica. A pesar de que existen diversas pruebas para verificar la homogeneidad de una serie de datos registrados, aquella que se elija debe ser aplicada de una manera uniforme con el objeto de mantener la inexactitud al más bajo nivel posible.

En nuestro caso concreto, a fin de alcanzar este objetivo, se procedió inicialmente a una verificación y revisión preliminar de todos y cada uno de los datos disponibles con el propósito de descubrir errores numéricos o de lectura, sistemáticos o no sistemáticos, fallas instrumentales o valores no representativos originados por la exposición o instalación inadecuada del instrumento, para luego proceder a su eliminación.

Posteriormente se recurrió a la prueba de simetría (independiente del parámetro al cual se aplica), llamada también prueba no paramétrica de rachas. Esta se realiza estableciendo dos categorías (mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivas), que se construyen comparando los datos individuales con el valor central (mediana o media) de cada serie mensual, ordenada de una manera natural, por ejemplo cronológicamente, para lo cual se consideran como elementos de tipo 1 a los datos cuyos valores son inferiores a los del valor central, y como elementos de tipo 2 a aquellos valores iguales o superiores al central.

Un ejemplo de la utilización de esta prueba se obtiene procesando la serie de 30 datos de duración de la insolación media diaria (horas y décimos), de los meses de enero de 1951 a 1980, y correspondientes a la estación climatológica de Chinchiná-Cenicafé.

Eneros	Inso-	Elemento	Eneros	Inso-	Elemento
Año	lación	Tipo	Año	lación	Tipo
	Media-			Media-	
	diaria			diaria	
1951	5.4	1	1966	6.9	2
1952	6.4	2	1967	5.9	1
1953	5.1	1	1968	7.3	2
1954	6.1	1	1969	6.3	2
1955	5.8	1	1970	6.2	1
1956	5.7	1	1971	5.5	1
1957	7.2	2	1972	4.9	1
1958	6.7	2	1973	7.8	2
1959	7.5	2	1974	3.9	1
1960	6.2	1	1975	5.8	1
1961	6.0	1	1976	6.0	1
1962	6.0	1	1977	7.6	2
1963	7.5	2	1978	6.8	2
1964	8.2	2	1979	6.2	1
1965	5.7	1	1980	6.2	1
Elementos Tipo 1 = 18			Elementos Tipo 2 = 12		



CUADRO 1

**UBICACION GEOGRAFICA DE LAS ESTACIONES CLIMATOLOGICAS CON DATOS DE DURACION DE LA INSOLACION EN LA CUENCA DEL CAUCA SUPERIOR
Y AREAS ADYACENTES**

No.	Nombre de la estación	Coord. Geogra.		Altitud (m)	Municipio	Depto.	Cuenca	Subcuenca	Período con Información		Entidad
		Lat. N.	Lon. O.								
1	Paletará	02°08'	76°25'	2900	Coconuco	Cauca	Cauca	Cauca	1971	1979	HIMAT
2	La Florida - José María Obando	02°27'	76°35'	1850	Popayán	Cauca	Cauca	Cauca	1951	1980	FNC
3	Aeropuerto Machangara	02°28'	76°35'	1730	Popayán	Cauca	Cauca	Cauca	1974	1978	HIMAT
4	Cerro Munchique	02°31'	76°58'	3012	El Tambo	Cauca	Cauca	Sucio	1971	1978	HIMAT
5	Gabriel López	02°30'	76°17'	3000	Totoro	Cauca	Cauca	Palacé	1971	1978	HIMAT
6	Venta de Cajibío	02°31'	76°35'	1800	Cajibío	Cauca	Cauca	Cajibío	1972	1977	HIMAT
7	La Salvajina	02°58'	76°42'	1100	Buenos Aires	Cauca	Cauca	Cauca	1972	1978	HIMAT
8	Japio	03°01'	76°28'	1015	Caloto	Cauca	Cauca	Cauca	1968	1976	HIMAT
9	Pitayo	02°44'	76°20'	2980	Silvia	Cauca	Cauca	Palo	1971	1974	HIMAT
10	Tacueyó	03°02'	76°14'	1790	Toribío	Cauca	Cauca	Palo	1972	1977	HIMAT
11	Ingenio Bengala	03°15'	76°25'	1000	Puerto Tejada	Cauca	Cauca	Palo	1968	1972	HIMAT
12	Jamundí - Potrerito	03°14'	76°35'	1010	Jamundí	Valle	Cauca	Jamundí	1977	1978	HIMAT
13	Ingenio Cauca	03°17'	76°19'	1000	Miranda	Cauca	Cauca	Desbaratado	1966	1977	HIMAT
14	Miranda	03°15'	76°14'	1200	Miranda	Cauca	Cauca	Desbaratado	1968	1978	HIMAT
15	Universidad del Valle	03°24'	76°32'	970	Cali	Valle	Cauca	Meléndez	1965	1978	HIMAT
16	Aeropuerto Palmaseca	03°33'	76°23'	961	Palmira	Valle	Cauca	Guachal	1972	1978	HIMAT
17	Palmira - Ica.	03°31'	76°19'	975	Palmira	Valle	Cauca	Palmira	1951	1978	HIMAT
18	Tenerife	03°44'	76°05'	2609	Cerrito	Valle	Cauca	Amaine	1972	1979	HIMAT
19	Balboa - Ica	03°56'	76°18'	960	Buga	Valle	Cauca	Cauca	1969	1977	HIMAT
20	Trujillo - Manuel Mallarino	04°10'	76°21'	1380	Trujillo	Valle	Cauca	Nare	1969	1980	FNC
21	Sevilla - Heracio Uribe	04°16'	75°55'	1540	Sevilla	Valle	Cauca	Saldaña	1954	1980	FNC
22	Tierra Blanca	04°25'	76°06'	930	Roldanillo	Valle	Cauca	Cauca	1971	1978	HIMAT
23	Centro Administrativo La Unión	04°32'	76°03'	920	La Unión	Valle	Cauca	Cauca	1967	1978	HIMAT
24	Cumbarco	04°10'	75°47'	1740	Sevilla	Valle	Cauca	Barragán	1973	1978	HIMAT
25	Paraguaycito	04°23'	75°42'	1250	Buenavista	Quindío	Cauca	Santo Domingo	1962	1980	FNC
26	La Bella	04°30'	75°38'	1450	Calarcá	Quindío	Cauca	Santo Domingo	1956	1980	FNC
27	El Sena	04°32'	75°42'	1500	Armenia	Quindío	Cauca	Quindío	1962	1980	FNC
28	Arturo Gómez	04°40'	75°48'	1320	Alcalá	Valle	Cauca	Cauca	1966	1980	FNC
29	La Joya	04°46'	75°47'	1250	Pereira	Risaralda	Cauca	Consota	1976	1980	FNC
30 A	Aeropuerto Matecaña	04°35'	75°44'	1342	Pereira	Risaralda	Cauca	Consota	1977	1978	HIMAT
30 B	Veracruz	04°51'	75°38'	1684	Santa Rosa de Cabal	Risaralda	Cauca	San Eugenio	1978	1978	HIMAT
31	Universidad Tecnológica de Pereira	04°48'	75°42'	1354	Pereira	Risaralda	Cauca	Otún	1964	1971	HIMAT
32	La Bohemia	04°52'	75°54'	1020	Pereira	Risaralda	Cauca	Cauca	1963	1978	HIMAT
33	El Cedral	04°47'	75°37'	2120	Pereira	Risaralda	Cauca	Otún	1968	1980	FNC
34	Dos Quebradas - La Rosa	04°51'	75°42'	1470	Santa Rosa de Cabal	Risaralda	Cauca	Otún	1956	1969	FNC

(Continuación Cuadro 1)

No.	Nombre de la estación	Coor. d. Geogra.		Altitud (m)	Municipio	Depto.	Cuenca	Subcuenca	Período con Información		Entidad
		Lat. N.	Lon. O.								
35	El Jazmín - Pedro Uribe	04°53'	75°36'	1600	Santa Rosa de Cabal	Risaralda	Cauca	Campoalegre	1961	1980	FNC
36	Ingenio San Francisco	04°54'	75°54'	1000	La Virginia	Risaralda	Cauca	Risaralda	1976	1980	FNC
37	La Cecilia	05°04'	75°53'	1028	Viterbo	Caldas	Cauca	Risaralda	1963	1971	HIMAT
38	La Camelia	05°05'	75°58'	1670	Santuario	Risaralda	Cauca	Mapaí	1963	1977	HIMAT
39	Bellavista	05°17'	75°49'	2000	Anserma	Caldas	Cauca	Guática	1963	1978	HIMAT
40	Chinchiná - Cenicafe	04°59'	75°35'	1310	Chinchiná	Caldas	Cauca	Chinchiná	1951	1980	FNC
41	Naranjal	04°58'	75°42'	1400	Chinchiná	Caldas	Cauca	Chinchiná	1956	1980	FNC
42	Facultad de Agronomía - Manizales	05°03'	75°29'	2150	Manizales	Caldas	Cauca	Chinchiná	1956	1980	FNC
43	Aeropuerto La Nubia	05°02'	75°28'	2080	Manizales	Caldas	Cauca	Chinchiná	1970	1978	HIMAT
44	Santágueda - Luker	05°03'	75°41'	1020	Palestina	Caldas	Cauca	Chinchiná	1975	1980	FNC
45	Santágueda - Facultad	05°05'	75°40'	1010	Palestina	Caldas	Cauca	Chinchiná	1968	1980	FNC
46	Las Palomas	05°08'	75°28'	2700	Manizales	Caldas	Cauca	Chinchiná	1959	1970	FNC
47	Llanadas	05°13'	75°09'	1470	Manzanares	Caldas	Magdalena	Guarino	1956	1980	FNC
48 A	Granja Líbano	04°56'	75°04'	1520	Líbano	Tolima	Magdalena	Recio	1951	1975	FNC
48 B	La Trinidad	04°55'	75°04'	1430	Líbano	Tolima	Magdalena	Recio	1976	1980	FNC
49	El Paso	04°31'	75°31'	3264	Cajamarca	Tolima	Magdalena	Coello	1975	1977	HIMAT
50	Chapetón - Mariano Melendro	04°27'	75°16'	1300	Ibagué	Tolima	Magdalena	Combeima	1956	1980	FNC
51	Cajamarca	04°26'	75°26'	1760	Cajamarca	Tolima	Magdalena	Coello	1969	1977	HIMAT
52	Varsovia	04°01'	75°10'	400	San Luis	Tolima	Magdalena	Cucuana	1968	1977	HIMAT
53	San Antonio	03°55'	75°29'	1500	San Antonio	Tolima	Magdalena	Ortega	1976	1977	HIMAT
54	Granja Demostración Chaparral	03°43'	75°32'	1040	Chaparral	Tolima	Magdalena	Amoya	1965	1973	HIMAT
55	El Limón	03°43'	75°38'	990	Chaparral	Tolima	Magdalena	Saldaña	1971	1980	FNC
56	Mesa de Pole	03°28'	75°33'	500	Ataco	Tolima	Magdalena	Saldaña	1969	1977	HIMAT
57	Aeropuerto Planadas	03°14'	75°45'	1355	Planadas	Tolima	Magdalena	Ata	1968	1977	HIMAT
58	Toeiz	02°49'	76°05'	1997	Paez	Cauca	Magdalena	Paez	1972	1977	HIMAT
59	Escuela Agropecuaria La Plata	02°25'	75°55'	1070	La Plata	Huila	Magdalena	La Plata	1970	1977	HIMAT
60	Valencia	01°57'	76°37'	2900	San Sebastián	Cauca	Magdalena	Caquetá	1971	1977	HIMAT
61	Parque Arqueológico - San Agustín	01°51'	76°18'	1800	San Agustín	Huila	Magdalena	Naranjo	1975	1977	HIMAT
62	Sevilla - Quindío	01°50'	76°03'	1320	Pitalito	Huila	Magdalena	Guarapas	1975	1978	HIMAT
63	Mercaderes	01°46'	77°10'	1174	Mercaderes	Cauca	Patía	Guaitara	1971	1978	HIMAT
64	Bolívar	01°53'	76°58'	1510	Bolívar	Cauca	Patía	Sambingo	1971	1977	HIMAT
65	Sajandí - La Fonda	02°05'	77°01'	730	El Bordo	Cauca	Patía	Patía	1971	1977	HIMAT
66	La Sierra	02°10'	76°46'	1870	La Sierra	Cauca	Patía	Guachicono	1971	1977	HIMAT
67	El Tambo - Manuel Mejía	02°24'	76°48'	1700	El Tambo	Cauca	Patía	Cauca	1956	1980	FNC
68	La Cumbre	03°38'	76°35'	1580	La Cumbre	Valle	Dagua	Cauca	1961	1967	FNC
69	Restrepo - Julio Fernández	03°49'	76°31'	1360	Restrepo	Valle	Dagua	Grande	1954	1980	FNC
70	La Cúchilla - El Recreo	04°42'	76°11'	1600	Argelia	Valle	San Juan	Las Vueltas	1972	1978	HIMAT
71	Subestación Albán	04°46'	76°13'	1400	El Cairo	Valle	San Juan	Las Vueltas	1974	1980	FNC
72	San José Del Palmar	04°57'	76°17'	1100	San José del Palmar	Chocó	San Juan	Tamaná	1973	1978	HIMAT
73	Pueblo Rico	05°15'	76°03'	1515	Pueblo Rico	Risaralda	San Juan	Mistrató	1973	1978	HIMAT

En una distribución perfectamente normal la cantidad de elementos Tipo 1 deberá ser cuantitativamente igual a la de elementos de Tipo 2, y consecuentemente las dos cantidades serán iguales a la mitad del total de datos colectados en la serie, si ella es par o una diferencia de un dato, si la serie es impar. Puesto que los elementos meteorológicos tienen frecuentemente una alta variabilidad y, para casi todas las aplicaciones meteorológicas los intervalos de confianza más satisfactorios son los de 90%, se considera que las distribuciones, de los elementos y sus valores, fuera de esos límites de confianza son heterogéneas.

Si retomamos el ejemplo y tenemos en cuenta que la serie consta de 30 datos, en una distribución normal, con límites de confianza del 90%, la cantidad de elementos tipo 1 o tipo 2 debe encontrarse entre el intervalo de 12 a 19, lo cual efectivamente se cumple; por lo tanto, puede considerarse que la serie es homogénea. Sometiendo a la misma prueba, para cada mes, los registros originales de las estaciones con períodos superiores a 20 años, se pudo determinar su homogeneidad, lo que permite utilizar tales estaciones como climatológicas de referencia.

Las estaciones climatológicas de referencia son aquellas cuyos datos están destinados a determinar las tendencias climáticas, por lo cual se requiere que los registros sean homogéneos, obtenidos en sitios donde las modificaciones del medio ambiente por las actividades humanas hayan sido y/o se esperen siendo mínimas y correspondan a períodos de tiempo largos (30 años de registro directo o ajustados, como mínimo).

Si las pruebas determinan que una serie es heterogénea, se procede a buscar las posibles causas de tal heterogeneidad y, en caso de detectarlas, se corrigen o suprimen aquellos datos erróneos causantes de la irregularidad.

En este caso la homogeneización de los datos y su ajuste sirven para eliminar o reducir al mínimo las influencias extrañas no propias del elemento en estudio, además sirve para hacer que las series de datos, y sus valores promedios, sean comparables con series de la misma índole procedentes de otros lugares. Sin embargo, es necesario hacer notar que al tratar de homogeneizar las diferentes series no se intenta derivar una serie de valores individuales con las mismas propiedades de una prueba de la propia población; dicho de otra forma, si para una estación determinada no se dispone de la medida de un día o de todo un mes, será imposible reproducir los datos individuales, por cuanto eso significa cambiar el grado de dispersión de la distribución de frecuencia. Sin embargo, es posible ajustar ciertos datos estadísticos de la serie, de tal forma que esos datos ajustados, sean efectivamente parecidos a aquellos obtenidos a través de pruebas tomadas de la propia población.

Estos ajustes se hacen, respecto a los valores medios de las series de datos, con el propósito de

obtener valores normales que meteorológicamente son más aceptables y representativos, que se definen como las medias calculadas para un período relativamente largo y uniforme, que abarque datos homogéneos de, por lo menos, tres períodos consecutivos de 10 años, cada uno; cuando los datos no son continuos se pueden calcular normales ajustadas.

Se elaboraron más de cuatrocientos diagramas de dispersión con el propósito de coadyuvar en la homogeneización de las series, de modo que puedan servir de base para los ajustes posteriores, estimación de datos faltantes, igualación de series y determinación de las normales climatológicas directas y ajustadas.

Cada una de las series de datos de una estación se correlacionó, de esa forma, como mínimo con tres (promedio con cinco) series de estaciones vecinas, de las cuales, por lo menos una de ellas debe ser una estación climatológica de referencia. En esos diagramas, obviamente se representaron datos de duración de la insolación media diaria, de dos estaciones distintas. Del análisis de los diagramas pudieron determinarse los valores que representan datos extremos y/o combinaciones excepcionales; además, se pusieron en evidencia, y se identificaron, todos aquellos datos que podrían ser causas de heterogeneidad. Esta heterogeneidad, una vez comprobada, se elimina, prescindiendo de esos datos.

De las 75 series iniciales, se seleccionaron solo 71 después de depurarlas y comprobar su homogeneidad. De esas 71 se desecharon posteriormente 3 estaciones (números 21, 26 y 46) que, a pesar de ser homogéneas tienen involucrado un error sistemático ocasionado por la no representatividad del sitio exacto donde está instalado el instrumento o por sus datos de elevación incorrectos.

De las 68 estaciones seleccionadas finalmente, 26 están ubicadas dentro del área del estudio y 42 en los alrededores. De esas 68 estaciones, 9 pudieron designarse como estaciones climatológicas de referencia.

Las 68 estaciones utilizadas son las que aparecen relacionadas en el cuadro 4 y las de referencia se indican en el cuadro 3.

3.3. Selección del período de estudio

En los estudios meteorológicos efectuados hasta la fecha en Colombia, se ha demostrado que los períodos que abarcan desde el año 1951 son representativos para todos los efectos de determinar valores medios e inclusive extremos (Stanescu & Rodríguez 1972; Oster 1979; Eslava, Parra & Villalba, 1985).

En Colombia son muy pocas las estaciones climatológicas en las que se dispone de información para años anteriores a 1951. En el caso específico de los valores de insolación en el Cauca Superior, solo dos estaciones poseen datos anteriores a 1951: Chinchiná-Cenicafé (dos años) y Pamira-Ica (15 años); sin embargo, estos datos no son adecua-

dos para someterlos a procesos estadísticos tendientes a determinar la representatividad de los diferentes períodos.

Los datos de los años 1949 y 1950 de Chin-chiná no aportan nada nuevo, obviamente su análisis solo serviría para probar que el período 1951-1980 es representativo de 1949-1980. Por otra parte, los 15 años adicionales de Palmira incluyen valores erróneos que introducen heterogeneidades considerables, dentro de la serie total y, que al no poder ser comparados con otras estaciones son imposibles de corregir, lo cual impide efectuar la prueba de representatividad. Sin embargo, lo comprobado por otros estudios para el país y para esta cuenca en particular, con respecto a la representatividad de los períodos que abarcan desde 1951 y, principalmente el hecho mismo de que el lapso entre 1951 y 1980 abarca treinta años con tres décadas consecutivas y posibilita establecer las "Normales Climatológicas", permite asegurar que ese período (1951-1980) es también representativo y que los estadísticos que se determinen, a partir de él, representan eficientemente a los parámetros calculados a partir de una población mayor.

3.4 Estimación de datos faltantes

En términos generales, todos los métodos que se usan para ajustar promedios o igualar series en cuanto a su período de registro, se sirven de una estación climatológica de referencia con un registro homogéneo y suficientemente largo. Esa estación debe estar lo más cerca posible a la que se quiere ajustar, puesto que la efectividad del ajuste dependerá de las correlaciones entre las dos estaciones.

En este estudio, las estaciones de referencia están ubicadas en la misma zona climática que las que se homogeneizaron a partir de ellas y, en general, a distancias no mayores a los 80 kilómetros.

Cada estación se ajusta con base en otra de referencia como mínimo pero, naturalmente en una buena parte de los casos la correlación se efectúa con dos o tres, y de ellas se selecciona, en definitiva, la mejor.

El ajuste de las estaciones de referencia a las que les falta una parte del período a comparar, se realizó utilizando las series de referencia vecinas que sí poseen ese subperíodo.

El procedimiento fue en todos los casos similar: los 400 diagramas de dispersión elaborados con el primer propósito inicial de detectar heterogeneidades, fueron dispuestos sucesivamente con el objeto de comparar todos los diagramas que involucraban una estación que necesitaba ser ajustada, y de cada grupo se seleccionó el o los diagramas que mejor correlación presentaban, es decir el o los que menos dispersión mostraban.

Las parejas de estaciones (series) que figuran en cada diagrama de dispersión seleccionado, se correlacionaron por el método de los mínimos cuadra-

dos y se encontró el coeficiente de correlación y la ecuación de regresión.

Se determinó, por otra parte, que el modelo debería ser de regresión lineal y no logarítmica, exponencial potencial o de otro tipo, por cuanto los diagramas de dispersión mostraban en todos los casos, esa relación lineal.

De todas las ecuaciones de regresión lineal determinadas —cerca de 200— se seleccionó para cada estación sujeta a ajuste (variable dependiente) la que mostrara el coeficiente de correlación más alto (mínimo 0.70), y que en lo posible, la otra estación (variable independiente) fuera una estación climatológica de referencia.

Solo en cinco casos fue necesario aceptar ecuaciones de regresión lineal con coeficientes de correlación inferiores, pero muy cercanos, a 0.70, el más bajo alcanzó 0.65 y se trata de una estación ubicada fuera de la cuenca.

La significación de un coeficiente de correlación no depende únicamente de su magnitud sino también de la cantidad de pares de valores a partir de los cuales ha sido calculado, así como de las propiedades estadísticas de cada una de las series entre las cuales existe correlación. En este sentido sólo en dos casos la cantidad de pares fue inferior a treinta, ya que en el resto se superó ampliamente el valor crítico de los treinta pares, llegando a valores extremos que superan los trescientos pares.

En los dos casos mencionados fue necesario estimar los datos medios con el fin de poder utilizar esos registros (muy parciales) ya que se hace indispensable disponer de esa información debido a su ubicación en áreas geográficas críticas. De todas formas esa información puede ser considerada satisfactoria, en razón de que en el análisis espacial y temporal, los resultados de la estimación se ajustaron al análisis general y, además porque esas estimaciones constituyen las mejores posibles dentro de las posibles.

Es de anotar que en los estudios meteorológicos hechos en Colombia, para otros elementos por supuesto, los coeficientes de correlación aceptados como mínimos son de 0.60 (Godoy, Sánchez, & Cabrera 1975; Eslava, Parra & Villalba, 1985).

Las ecuaciones de regresión lineal y sus correspondientes coeficientes de correlación, los podemos apreciar en el cuadro 2.

A las estaciones climatológicas de referencia se les calcularon los valores característicos de media, media máxima, media mínima, desviación típica, coeficiente de variación (relación entre media y desviación típica) y la diferencia entre el valor medio de cada mes con el valor anual; todos estos datos se presentan en el cuadro 3.

Utilizando como variables independientes los valores característicos medios mensuales de las estaciones de referencia y aplicando las ecuaciones de regresión lineal ya mencionadas y que aparecen

**ECUACIONES DE REGRESION LINEAL Y
COEFICIENTES DE CORRELACION**

No. Estación		Ecuación de Regre- sión lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coeficientes de correlación lineal	No. Estación		Ecuación de Regre- sión lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coeficientes de correlación lineal
y	x			y	x		
1	5	$y = 0.57 + 0.68 x$	0.69	40	29	$y = 0.64 + 1.05 x$	0.89
3	2	$y = 0.17 + 1.01 x$	0.84	40	44	$y = -0.84 + 0.98 x$	0.95
4	67	$y = -0.45 + 0.87 x$	0.71	41	40	$y = -0.74 + 1.07 x$	0.86
5	7	$y = -0.82 + 0.83 x$	0.66	42	40	$y = -0.98 + 1.08 x$	0.91
6	2	$y = 0.74 + 0.73 x$	0.70	43	40	$y = -0.94 + 1.09 x$	0.90
7	17	$y = 0.51 + 0.83 x$	0.86	44	40	$y = 1.36 + 0.92 x$	0.95
8	17	$y = 0.39 + 0.93 x$	0.73	45	40	$y = 1.54 + 0.83 x$	0.89
10	17	$y = -0.48 + 0.80 x$	0.76	48A	47	$y = 0.68 + 0.96 x$	0.82
11	17	$y = 0.68 + 0.89 x$	0.79	48B	47	$y = -0.90 + 1.26 x$	0.84
13	17	$y = 0.80 + 0.76 x$	0.81	49	26	$y = -0.72 + 0.79 x$	0.81
14	17	$y = -0.95 + 1.03 x$	0.88	50	48A	$y = 1.53 + 0.70 x$	0.84
15	17	$y = 0.19 + 0.96 x$	0.84	51	50	$y = 1.98 + 0.55 x$	0.65
16	17	$y = 0.14 + 1.02 x$	0.92	52	50	$y = 2.77 + 0.63 x$	0.73
17	2	$y = 2.64 + 0.56 x$	0.76	53	50	$y = 2.36 + 0.61 x$	0.67
18	17	$y = -0.89 + 0.96 x$	0.83	54	50	$y = 1.78 + 0.72 x$	0.85
19	17	$y = 0.92 + 0.80 x$	0.75	55	50	$y = 0.89 + 0.81 x$	0.87
20	27	$y = 1.66 + 0.81 x$	0.91	56	17	$y = 2.37 + 0.57 x$	0.71
22	27	$y = 3.77 + 0.58 x$	0.85	57	50	$y = 1.01 + 0.62 x$	0.76
23	27	$y = 3.82 + 0.56 x$	0.72	58	17	$y = -1.55 + 0.94 x$	0.81
24	27	$y = 0.59 + 0.83 x$	0.86	59	2	$y = 1.82 + 0.48 x$	0.67
25	40	$y = 0.26 + 0.93 x$	0.88	60	2	$y = 0.64 + 0.51 x$	0.69
27	40	$y = -0.55 + 0.89 x$	0.80	61	2	$y = 0.68 + 0.78 x$	0.79
28	27	$y = 2.47 + 0.70 x$	0.82	62	2	$y = 1.96 + 0.51 x$	0.74
29	40	$y = 1.62 + 0.75 x$	0.89	63	67	$y = 1.57 + 0.80 x$	0.85
31	40	$y = -0.16 + 0.97 x$	0.90	64	67	$y = 0.04 + 0.99 x$	0.81
32	40	$y = 2.30 + 0.69 x$	0.73	65	67	$y = 2.69 + 0.65 x$	0.73
33	40	$y = -1.46 + 0.83 x$	0.81	66	67	$y = -1.06 + 1.05 x$	0.85
34	40	$y = 0.14 + 0.88 x$	0.85	67	2	$y = 1.58 + 0.67 x$	0.73
35	40	$y = -0.40 + 0.95 x$	0.92	68	69	$y = 0.62 + 0.83 x$	0.81
36	40	$y = 3.02 + 0.64 x$	0.82	69	17	$y = 0.55 + 0.84 x$	0.72
37	40	$y = 1.55 + 0.76 x$	0.88	70	27	$y = 1.45 + 0.80 x$	0.80
38	40	$y = -0.52 + 1.03 x$	0.82	71	27	$y = 0.14 + 0.95 x$	0.76
39	40	$y = -0.67 + 0.89 x$	0.74	72	27	$y = 0.36 + 0.62 x$	0.81
40	36	$y = 0.93 + 0.96 x$	0.88	73	40	$y = 0.14 + 0.75 x$	0.87

en el cuadro 2, se determinaron todos los valores medios mensuales, y con base en ellos el valor medio anual, de la duración de la insolación media diaria. Esto se hizo para todas y cada una de las otras 59 estaciones climatológicas, que son los datos que aparecen en el cuadro 4.

Por último, es conveniente mencionar el hecho de que cada uno de los datos medios mensuales, resulta del procesamiento de otros que alcanzan los 13.000. Por ejemplo, el dato de 6.3 (horas y décimos) de insolación media diaria que se determinó como valor medio para el mes de enero en la estación de Chinchiná-Cenicafé, proviene del análisis de 930 gráficas, una por cada uno de los días transcurridos durante los diferentes eneros, desde 1951 hasta 1980 (30 eneros por 31 días cada uno); a su vez, cada gráfica se compone de 14 datos, uno por cada hora con probabilidad de tener luz solar.

4. ANALISIS DE LA INSOLACION

4.1 Variación espacial

El análisis de la variación espacial de la duración de la insolación media diaria tiene dos objetivos principales:

- Establecer una zonificación climática (proceso explicado en detalle más adelante y,
- Definir las relaciones de generalización.

El segundo objetivo se logra por medio del establecimiento de modelos de regresión que permiten determinar los valores de la insolación en todos aquellos sitios donde ese elemento no se ha medido en forma directa, pero que están ubicados dentro de la cuenca del Cauca Superior, o en sus alrededores.

CUADRO 3

VALORES CARACTERISTICOS DE LAS SERIES DE INSOLACION MEDIA DIARIA (HORAS Y DECIMOS) ESTACIONES CLIMATOLOGICAS DE REFERENCIA
PERIODO 1951 - 1980

No.	Nombre		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
2	La Florida - José María Obando (Popayán)	Media Máxima	8.4	8.2	6.1	5.8	5.4	7.2	7.3	6.7	6.7	5.7	7.3	6.9	8.4
		Media	5.9	5.6	4.8	4.0	4.0	4.9	5.6	5.5	5.1	4.3	4.3	5.0	4.9
		Media Mínima	4.2	3.5	3.1	2.7	2.7	3.1	3.5	3.3	3.9	2.2	2.0	2.6	2.0
		Desviación Típica	1.02	1.20	0.74	0.70	0.69	0.98	0.92	0.74	0.79	0.91	0.94	0.94	0.57
		Coefficiente Variación	0.17	0.21	0.15	0.18	0.17	0.20	0.16	0.13	0.15	0.21	0.22	0.19	0.12
		Media Mensual - Media Anual	1.0	0.7	-0.1	-0.9	-0.9	0.0	0.7	0.6	0.2	-0.6	-0.6	0.1	
17	Palmira - Ica	Media Máxima	8.2	8.3	6.1	6.5	6.5	6.4	6.9	6.8	6.8	6.1	6.7	6.5	8.3
		Media	6.1	5.9	5.3	4.8	4.8	5.2	5.8	5.7	5.4	5.1	5.1	5.5	5.4
		Media Mínima	5.0	3.8	4.2	3.8	3.5	3.9	4.7	3.7	3.6	3.2	3.5	4.3	3.2
		Desviación Típica	0.74	0.88	0.49	0.58	0.59	0.59	0.59	0.66	0.63	0.65	0.67	0.59	0.26
		Coefficiente de Variación	0.12	0.15	0.09	0.12	0.12	0.11	0.10	0.12	0.13	0.12	0.13	0.11	0.05
		Media Mensual - Media Anual	0.7	0.5	-0.1	-0.6	-0.6	-0.2	0.4	0.3	0.0	-0.3	-0.3	0.1	
27	El Sena - Armenia	Media Máxima	7.4	6.4	5.7	5.5	4.9	5.9	7.0	6.0	5.5	5.1	4.8	5.6	7.4
		Media	4.8	4.5	4.0	3.6	3.6	4.1	5.4	5.1	4.2	3.4	3.4	4.2	4.2
		Media Mínima	2.5	2.3	2.1	2.4	2.5	2.3	3.2	3.1	2.9	1.8	1.9	1.8	1.8
		Desviación Típica	0.99	1.13	0.86	0.71	0.54	0.69	0.92	0.70	0.74	0.82	0.65	0.86	0.52
		Coefficiente de Variación	0.21	0.25	0.22	0.20	0.15	0.17	0.17	0.14	0.18	0.24	0.19	0.20	0.12
		Media Mensual - Media Anual	0.6	0.3	-0.2	-0.6	-0.6	-0.1	1.2	0.9	0.6	-0.8	-0.8	0.0	
40	Cenicafé	Media Máxima	8.2	8.0	7.0	6.2	6.1	6.5	7.3	7.2	6.8	5.8	6.0	7.3	8.2
		Media	6.3	6.1	5.4	4.6	4.5	5.0	6.0	5.9	5.2	4.6	4.8	5.6	5.3
		Media Mínima	3.9	3.4	3.8	3.3	3.3	4.2	4.3	3.9	3.6	3.1	3.2	3.4	3.1
		Desviación Típica	0.92	1.05	0.83	0.77	0.60	0.56	0.63	0.72	0.80	0.71	0.60	0.91	0.49
		Coefficiente de Variación	0.15	0.17	0.15	0.17	0.13	0.11	0.10	0.12	0.15	0.15	0.12	0.16	0.09
		Media Mensual - Media Anual	1.0	0.8	0.1	-0.7	-0.8	-0.3	0.7	0.6	-0.1	-0.7	-0.5	0.3	
47	Llanadas - Manzanares	Media Máxima	5.8	6.3	6.2	5.5	5.6	5.7	6.7	7.4	7.2	5.6	5.6	5.0	7.4
		Media	4.3	4.4	3.9	3.8	4.4	4.5	5.4	5.5	5.0	3.8	3.6	3.8	4.4
		Media Mínima	2.0	2.4	2.2	1.7	3.1	3.3	3.6	3.2	2.9	1.3	2.4	2.1	1.3
		Desviación Típica	0.87	1.11	1.01	0.89	0.64	0.54	0.61	0.81	0.97	0.97	0.81	0.81	0.52
		Coefficiente de Variación	0.20	0.25	0.26	0.23	0.14	0.12	0.11	0.15	0.19	0.26	0.22	0.21	0.12
		Media Mensual - Media Anual	-0.1	0.0	-0.5	0.6	0.0	0.1	1.0	1.1	0.6	-0.6	-0.8	-0.6	

(Continuación Cuadro 3)

No.	Nombre		Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
48A	Granja Líbano	Media Máxima	7.2	7.6	5.9	5.3	6.5	7.3	8.1	7.8	7.8	5.7	5.5	6.3	8.1
		Media	4.9	4.9	4.2	4.1	4.6	5.2	6.2	6.3	5.6	4.2	4.0	4.4	4.9
		Media Mínima	2.9	1.8	1.9	2.3	3.7	3.7	4.2	5.0	3.9	1.9	2.9	2.7	1.8
		Desviación Típica	0.98	1.29	0.98	0.73	0.58	0.79	0.73	0.76	0.98	0.83	0.67	0.88	0.48
		Coefficiente de Variación	0.20	0.26	0.23	0.18	0.13	0.15	0.12	0.12	0.18	0.20	0.17	0.20	0.10
		Media Mensual - Media Anual	0.0	0.0	-0.7	-0.8	-0.3	0.3	1.3	1.4	0.7	-0.7	-0.9	-0.5	
50	Chapetón - Mariano Melendro (Ibagué)	Media Máximo	7.9	7.1	6.4	5.4	6.8	6.6	7.0	7.0	7.2	5.5	5.0	6.4	7.9
		Media	5.2	5.0	4.5	4.1	4.8	5.3	5.8	5.7	5.4	4.3	4.2	4.7	4.9
		Media Mínima	3.4	2.7	2.9	3.0	4.0	3.5	4.5	4.1	4.4	2.9	3.1	2.8	2.7
		Desviación Típica	1.04	1.22	0.89	0.65	0.68	0.59	0.60	0.67	0.61	0.66	0.47	0.89	0.44
		Coefficiente de Variación	0.20	0.24	0.20	0.16	0.14	0.11	0.10	0.12	0.11	0.15	0.11	0.19	0.09
		Media Mensual - Media Anual	0.3	0.1	-0.4	-0.8	-0.1	0.4	0.9	0.8	0.5	-0.6	-0.7	-0.2	
67	El Tambo - Manuel Mejía	Media Máxima	7.2	7.2	5.9	6.3	5.8	7.0	7.5	7.7	6.9	6.3	6.5	6.8	7.7
		Media	5.4	5.4	4.7	4.3	4.4	4.9	5.8	5.6	4.8	4.4	4.4	4.8	4.9
		Media Mínima	4.3	3.9	3.4	2.4	3.1	3.7	4.1	4.0	3.6	3.1	2.6	3.1	2.4
		Desviación Típica	0.78	0.74	0.66	0.83	0.70	0.77	0.85	0.75	0.76	0.75	0.80	0.86	0.48
		Coefficiente de Variación	0.14	0.14	0.14	0.19	0.16	0.16	0.15	0.13	0.16	0.17	0.18	0.18	0.10
		Media Mensual - Media Anual	0.5	0.5	-0.2	-0.6	-0.5	0.0	0.9	0.7	-0.1	-0.5	-0.5	-0.1	
69	Restrepo - Julio Fernández	Media Máxima	7.2	7.5	6.7	5.8	6.0	5.8	7.1	6.5	6.6	6.1	6.2	6.2	7.5
		Media	5.7	5.6	5.2	4.4	4.6	4.9	5.7	5.6	5.2	4.7	4.6	5.1	5.1
		Media Mínima	3.7	3.4	3.9	3.2	3.0	4.0	4.1	4.2	3.8	3.2	2.7	3.2	2.7
		Desviación Típica	0.70	0.90	0.71	0.60	0.61	0.50	0.64	0.59	0.64	0.71	0.72	0.66	0.37
		Coefficiente de Variación	0.12	0.16	0.14	0.14	0.13	0.10	0.11	0.10	0.12	0.15	0.16	0.13	0.07
		Media Mensual - Media Anual	0.6	0.5	0.1	-0.7	-0.5	-0.2	0.6	0.5	0.1	-0.4	-0.5	0.0	

CUADRO 4

VALORES NORMALES MENSUALES Y ANUALES DE INSOLACION MEDIA DIARIA (HORAS Y DECIMOS)
PERIODO 1951 – 1980

No.	Nombre de la Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
1	Paletará	3.2	3.1	2.8	2.5	2.5	2.7	3.0	3.0	2.9	2.7	2.7	2.9	2.8
2	La Florida - José María Obando	5.9	5.6	4.8	4.0	4.0	4.9	5.6	5.5	5.1	4.3	4.3	5.0	4.9
3	Aeropuerto Machangara	6.1	5.8	5.0	4.2	4.2	5.1	5.8	5.7	5.3	4.5	4.5	5.2	5.1
4	Cerro Munchique	4.2	4.2	3.6	3.3	3.4	3.8	4.6	4.4	3.7	3.4	3.4	3.7	3.8
5	Gabriel López	3.8	3.7	3.3	2.9	2.9	3.2	3.6	3.5	3.4	3.1	3.1	3.4	3.3
6	Venta de Cajibío	5.0	4.8	4.2	3.7	3.7	4.3	4.8	4.8	4.5	3.9	3.9	4.4	4.3
7	La Salvajina	5.6	5.4	4.9	4.5	4.5	4.8	5.3	5.2	5.0	4.7	4.7	5.1	5.0
8	Japio	6.1	5.9	5.3	4.8	4.8	5.2	5.8	5.7	5.4	5.1	5.1	5.5	5.4
10	Tacueyó	4.4	4.2	3.8	3.4	3.4	3.7	4.2	4.1	3.8	3.6	3.6	3.9	3.8
11	Ingenio Bengala	6.1	5.9	5.4	5.0	5.0	5.3	5.8	5.8	5.5	5.2	5.2	5.6	5.5
13	Ingenio Cauca	5.6	5.3	4.8	4.4	4.4	4.8	5.2	5.1	4.9	4.7	4.7	5.0	4.9
14	Miranda	5.3	5.1	4.5	4.0	4.0	4.4	5.0	4.9	4.6	4.3	4.3	4.7	4.6
15	Universidad del Valle	6.0	5.8	5.3	4.8	4.8	5.2	5.8	5.7	5.4	5.1	5.1	5.5	5.4
16	Aeropuerto Palmaseca	6.4	6.2	5.5	5.0	5.0	5.4	6.0	6.0	5.6	5.3	5.3	5.8	5.6
17	Palmira - Ica	6.1	5.9	5.3	4.8	4.8	5.2	5.8	5.7	5.4	5.1	5.1	5.5	5.4
18	Tenerife	5.0	4.8	4.2	3.7	3.7	4.1	4.7	4.6	4.3	4.0	4.0	4.4	4.3
19	Balboa - Ica	5.8	5.6	5.2	4.8	4.8	5.1	5.6	5.5	5.2	5.0	5.0	5.3	5.2
20	Trujillo - Manuel Mallarino	5.6	5.3	4.9	4.6	4.6	5.0	6.0	5.8	5.1	4.4	4.4	5.1	5.1
22	Tierra Blanca	6.6	6.4	6.1	5.8	5.8	6.1	6.9	6.7	6.2	5.7	5.7	6.2	6.2
23	Centro Administrativo RUT	6.5	6.4	6.1	5.8	5.8	6.1	6.9	6.7	6.2	5.7	5.7	6.2	6.2
24	Cumbarco	4.6	4.3	3.9	3.6	3.6	4.0	5.1	4.8	4.1	3.4	3.4	4.1	4.1
25	Paraguaycito	6.1	5.9	5.3	4.5	4.4	4.9	5.8	5.7	5.1	4.5	4.7	5.5	5.2
27	El Sena	4.8	4.5	4.0	3.6	3.6	4.1	5.4	5.1	4.2	3.4	3.4	4.2	4.2
38	Arturo Gómez	5.8	5.6	5.3	5.0	5.0	5.3	6.2	6.0	5.4	4.8	4.8	5.4	5.4
29	La Joya	6.3	6.2	5.7	5.1	5.0	5.4	6.1	6.0	5.5	5.1	5.2	5.8	5.6
31	Universidad Tecnológica de Pereira	6.0	5.8	5.1	4.3	4.2	4.7	5.7	5.6	4.9	4.3	4.5	5.3	5.0
32	La Bohemia	6.6	6.5	6.0	5.5	5.4	5.8	6.4	6.4	5.9	5.5	5.6	6.2	6.0
33	El Cedral	3.8	3.6	3.0	2.4	2.3	2.7	3.5	3.4	2.8	2.4	2.5	3.2	3.0
34	Dos Quebradas - La Rosa	5.7	5.5	4.9	4.2	4.1	4.5	5.4	5.3	4.7	4.2	4.4	5.1	4.8
35	El Jazmín - Pedro Uribe	5.6	5.4	4.7	4.0	3.9	4.4	5.3	5.2	4.5	4.0	4.2	4.9	4.6
36	Ingenio San Francisco	7.0	6.9	6.5	6.0	5.9	6.2	6.8	6.7	6.3	6.0	6.1	6.6	6.4
37	La Cecilia	6.3	6.2	5.6	5.0	5.0	5.4	6.1	6.0	5.5	5.0	5.2	5.8	5.6
38	La Camelia	6.0	5.8	5.0	4.2	4.1	4.6	5.7	5.6	4.8	4.2	4.4	5.2	5.0
39	Bellavista	4.9	4.8	4.1	3.4	3.3	3.8	4.7	4.6	4.0	3.4	3.6	4.3	4.1
40	Chinchiná - Cenicafe	6.3	6.1	5.4	4.6	4.5	5.0	6.0	5.9	5.2	4.6	4.8	5.6	5.3
41	Naranjal	6.0	5.8	5.0	4.2	4.1	4.6	5.7	5.6	4.8	4.2	4.4	5.2	5.0
42	Facultad de Agronomía - Manizales	5.8	5.7	4.8	4.0	3.9	4.4	5.5	5.4	4.6	4.0	4.2	5.1	4.8
43	Aeropuerto La Nubia	5.9	5.7	4.9	4.1	4.0	4.5	5.6	5.5	4.7	4.1	4.3	5.2	4.9
44	Santágueda - Luker	7.2	7.0	6.3	5.6	5.5	6.0	6.9	6.8	6.1	5.6	5.8	6.5	6.3
45	Santágueda - Facultad	6.8	6.6	6.0	5.4	5.3	5.7	6.5	6.4	5.8	5.4	5.5	6.2	6.0
47	Llanadas	4.3	4.4	3.9	3.8	4.4	4.5	5.4	5.5	5.0	3.8	3.6	3.8	4.4
48A	Granja Líbano	4.9	4.9	4.2	4.1	4.6	5.2	6.2	6.3	5.6	4.2	4.0	4.4	4.9
48B	La Trinidad	4.5	4.6	4.0	3.9	4.6	4.8	5.9	6.0	5.4	3.9	3.6	3.9	4.6
49	El Paso	2.5	2.6	2.4	2.0	2.2	2.5	2.9	2.8	2.5	2.1	2.0	2.2	2.4
50	Chapetón - Mariano Melendro	5.2	5.0	4.5	4.1	4.8	5.3	5.8	5.7	5.4	4.3	4.2	4.7	4.9
51	Cajamarca	4.8	4.7	4.4	4.2	4.6	4.9	5.2	5.1	5.0	4.3	4.3	4.6	4.7
52	Varsovia	6.0	5.9	5.6	5.4	5.8	6.1	6.4	6.4	6.2	5.5	5.4	5.7	5.9
53	San Antonio	5.5	5.4	5.1	4.9	5.3	5.6	5.9	5.8	5.6	5.0	4.9	5.2	5.4
54	Granja Demostración Chaparral	5.5	5.4	5.0	4.7	5.2	5.6	6.0	5.9	5.7	4.9	4.8	5.2	5.3
55	El Limón	5.1	4.9	4.5	4.2	4.8	5.2	5.6	5.5	5.3	4.4	4.3	4.7	4.9
56	Mesa de Pole	5.8	5.7	5.4	5.1	5.1	5.3	5.7	5.6	5.4	5.3	5.3	5.5	5.4
57	Aeropuerto Planadas	4.2	4.1	3.8	3.6	4.0	4.3	4.6	4.5	4.4	3.7	3.6	3.9	4.0
58	Toeza	4.2	4.0	3.4	3.0	3.0	3.3	3.9	3.8	3.5	3.2	3.2	3.6	3.5
59	Escuela Agropecuaria La Plata	4.6	4.5	4.1	3.7	3.7	4.2	4.5	4.5	4.3	3.9	3.9	4.2	4.2
60	Valencia	3.6	3.5	3.1	2.7	2.7	3.1	3.5	3.4	3.2	2.8	2.8	3.2	3.1
61	Parque Arqueológico San Agustín	5.3	5.0	4.4	3.8	3.8	4.5	5.0	5.0	4.6	4.0	4.0	4.6	4.5
62	Sevilla - Quindío	5.0	4.8	4.4	4.0	4.0	4.4	4.8	4.8	4.6	4.2	4.2	4.5	4.5

No.	Nombre de la Estación	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Año
63	Mercaderes	5.9	5.9	5.3	5.0	5.1	6.2	6.0	6.0	5.4	5.1	5.1	5.4	5.5
64	Bolívar	5.4	5.4	4.7	4.3	4.4	4.9	5.8	5.6	4.8	4.4	4.4	4.8	4.9
65	Sajandi - La Fonda	6.2	6.2	5.7	5.5	5.6	5.9	6.5	6.3	5.8	5.6	5.6	5.8	5.9
66	La Sierra	4.6	4.6	3.9	3.4	3.6	4.1	5.0	4.8	4.0	3.6	3.6	4.0	4.1
67	El Tambo - Manuel Mejía	5.4	5.4	4.7	4.3	4.4	4.9	5.8	5.6	4.8	4.4	4.4	4.8	4.9
68	La Cumbre	5.4	5.3	4.9	4.3	4.4	4.7	5.4	5.3	4.9	4.5	4.4	4.8	4.8
69	Restrepo - Julio Fernández	5.7	5.6	5.2	4.4	4.6	4.9	5.7	5.6	5.2	4.7	4.6	5.1	5.1
70	La Cuchilla el Recreo	5.3	5.0	4.6	4.3	4.3	4.7	5.8	5.5	4.8	4.2	4.2	4.8	4.8
71	Sub-estación Albán	4.6	4.3	3.8	3.4	3.4	3.9	5.1	4.8	4.0	3.2	3.2	4.0	4.0
72	San José del Palmar	3.3	3.1	2.8	2.6	2.6	2.9	3.7	3.5	3.0	2.5	2.5	3.0	3.0
73	Pueblo Rico	4.9	4.7	4.2	3.6	3.5	3.9	4.6	4.6	4.0	3.6	3.7	4.3	4.1

La determinación de los modelos de regresión se efectúa estableciendo la relación entre los valores de insolación que figuran en el cuadro 4, y los diferentes factores climáticos (latitud, altitud, topografía, posición de las cordilleras, etc.).

No fue posible establecer una relación (ni lineal, ni exponencial, ni logarítmica, ni potencial) entre las variables de duración de la insolación y de la latitud, puesto que ningún coeficiente de correlación resultó superior a 0.20. Se formularon 36 modelos distintos tratando de establecer una relación entre esas variables y, el fracaso en todos los casos, nos permite asegurar, sin duda, que la influencia del factor latitud no es, por sí sola, significativa para determinar los valores de la duración de la insolación en la cuenca del Cauca Superior.

El paso siguiente consistió en tratar de establecer modelos de regresión que relacionaran dicha variable con el factor altitud, para lo cual se realizaron los análisis de la variación espacial de la duración de la insolación. Los resultados nos permiten concluir, sin lugar a dudas, que la duración de la insolación depende en gran medida de la altitud y que esa dependencia en las regiones montañosas predomina sobre los demás factores y elementos. Esto está corroborado por el hecho de que en los diferentes modelos de regresión en los cuales se hizo intervenir la altitud se lograron coeficientes de correlación óptimos.

Aplicando este criterio, se procedió, entonces, a dividir la cuenca del Cauca Superior y sus alrededores, en diferentes zonas, tipificada cada una de ellas por sus factores de altitud, latitud y características topográficas.

Diferentes zonificaciones dieron lugar a modelos de regresión (lineal, exponencial, logarítmica y potencial) y coeficientes de correlación, diferentes. Sin embargo, el afinamiento paulatino permitió alcanzar la zonificación óptima de la Fig. 5, lo mismo que los modelos de regresión lineal, para cada mes y para cada zona, que se presentan en los cuadros 5 a 12.

Los modelos de regresión lineal fueron seleccionados tratando de que fueran los que más adecuadamente representaran la relación entre las dos variables cuantitativas que se incluyen en las ecuaciones que asocian la duración de la insolación media diaria (horas y décimas) y la altitud (metros). Se verificó, también, que los coeficientes de correlación o regresión en cada modelo fueran altamente significativos.

El proceso anterior permitió el establecimiento de tres zonas (enumeradas uno a tres) ubicadas dentro del área de la cuenca del Cauca Superior y cuatro en los alrededores. De estas últimas, la número cuatro se ubica al norte, y corresponde a la cuenca del Cauca medio; la cinco al oriente y pertenece a la cuenca del alto Magdalena; la seis situada al sur y corresponde a la cuenca del río Patía y alrededores y, la séptima se localiza al occidente en la vertiente del Pacífico.

Para cada una de las zonas, la variación territorial de la duración de la insolación media diaria está expresada por trece ecuaciones de regresión lineal (una para cada mes y una para el promedio anual), que aunque diferentes entre sí, son muy similares (cuadros 5 a 12).

A excepción de lo que se observa para la zona VII, (vertiente del Pacífico), las ecuaciones de regresión permiten ver que la insolación es inversamente proporcional a la altitud, hasta elevaciones aproximadas a 3.500 metros (sector de ubicación de las nubes bajas y medias). Aunque los datos no lo muestran, por cuanto la estación climatológica más alta tiene 3.264 metros de elevación, es dable suponer que el gradiente se invierte para altitudes superiores a los 3.500 metros y, por lo tanto, a partir de este nivel, la insolación aumentará con la altura, de acuerdo con la disminución de la cantidad de nubosidad y las características de las nubes que se encuentran a esas alturas. Ese aumento es muy posible que se haga con un gradiente similar al de la zona siete.

CUADRO 5

**DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)**

ZONA UNO

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=8.33 - 1.556 \times 10^{-3} X$	0.87
Febrero	$Y=7.93 - 1.437 \times 10^{-3} X$	0.86
Marzo	$Y=6.82 - 1.217 \times 10^{-3} X$	0.89
Abril	$Y=5.74 - 0.956 \times 10^{-3} X$	0.87
Mayo	$Y=5.73 - 0.936 \times 10^{-3} X$	0.84
Junio	$Y=7.04 - 1.274 \times 10^{-3} X$	0.86
Julio	$Y=7.95 - 1.395 \times 10^{-3} X$	0.80
Agosto	$Y=7.86 - 1.396 \times 10^{-3} X$	0.83
Septiembre	$Y=7.27 - 1.335 \times 10^{-3} X$	0.90
Octubre	$Y=6.06 - 1.016 \times 10^{-3} X$	0.89
Noviembre	$Y=6.06 - 1.016 \times 10^{-3} X$	0.89
Diciembre	$Y=7.10 - 1.276 \times 10^{-3} X$	0.89
Año	$Y=6.98 - 1.236 \times 10^{-3} X$	0.86

CUADRO 6

**DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)**

ZONA DOS

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=6.83 - 0.951 \times 10^{-3} X$	0.87
Febrero	$Y=6.58 - 0.914 \times 10^{-3} X$	0.86
Marzo	$Y=6.00 - 0.875 \times 10^{-3} X$	0.88
Abril	$Y=5.54 - 0.865 \times 10^{-3} X$	0.89
Mayo	$Y=5.54 - 0.865 \times 10^{-3} X$	0.89
Junio	$Y=5.92 - 0.882 \times 10^{-3} X$	0.88
Julio	$Y=6.50 - 0.914 \times 10^{-3} X$	0.87
Agosto	$Y=6.43 - 0.929 \times 10^{-3} X$	0.86
Septiembre	$Y=6.08 - 0.875 \times 10^{-3} X$	0.87
Octubre	$Y=5.82 - 0.882 \times 10^{-3} X$	0.88
Noviembre	$Y=5.82 - 0.882 \times 10^{-3} X$	0.88
Diciembre	$Y=6.23 - 0.912 \times 10^{-3} X$	0.87
Año	$Y=6.12 - 0.904 \times 10^{-3} X$	0.87

En la vertiente del Pacífico, dado el número reducido de estaciones y las altitudes a que ellas se encuentran ubicadas (1.000 a 1.600 metros), es muy difícil asegurar que los modelos de regresión encontrados puedan hacerse extensivos a otras altitudes. Sin embargo, teniendo en cuenta esos modelos de regresión y las conclusiones de otros estudios meteorológicos relacionados con la precipitación en esa zona, (SCMH 1975, Oster 1979), puede llegarse a las siguientes conclusiones cualitativas relacionadas con la posible variación de la insolación con la altitud:

CUADRO 7

**DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)**

ZONA TRES

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=8.10 - 1.781 \times 10^{-3} X$	0.97
Febrero	$Y=7.76 - 1.672 \times 10^{-3} X$	0.94
Marzo	$Y=7.26 - 1.599 \times 10^{-3} X$	0.93
Abril	$Y=6.84 - 1.592 \times 10^{-3} X$	0.92
Mayo	$Y=6.69 - 1.491 \times 10^{-3} X$	0.91
Junio	$Y=7.09 - 1.508 \times 10^{-3} X$	0.93
Julio	$Y=8.23 - 1.678 \times 10^{-3} X$	0.98
Agosto	$Y=8.00 - 1.652 \times 10^{-3} X$	0.98
Septiembre	$Y=7.27 - 1.558 \times 10^{-3} X$	0.94
Octubre	$Y=6.62 - 1.514 \times 10^{-3} X$	0.90
Noviembre	$Y=6.74 - 1.578 \times 10^{-3} X$	0.91
Diciembre	$Y=7.58 - 1.735 \times 10^{-3} X$	0.95
Año	$Y=7.36 - 1.615 \times 10^{-3} X$	0.95

CUADRO 8

**DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)**

ZONAS UNO A TRES – CUENCA DEL CAUCA SUPERIOR

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=7.32 - 1.224 \times 10^{-3} X$	0.87
Febrero	$Y=7.02 - 1.152 \times 10^{-3} X$	0.86
Marzo	$Y=6.47 - 1.120 \times 10^{-3} X$	0.88
Abril	$Y=5.98 - 1.097 \times 10^{-3} X$	0.88
Mayo	$Y=5.92 - 1.057 \times 10^{-3} X$	0.87
Junio	$Y=6.34 - 1.061 \times 10^{-3} X$	0.86
Julio	$Y=7.13 - 1.131 \times 10^{-3} X$	0.83
Agosto	$Y=7.00 - 1.127 \times 10^{-3} X$	0.84
Septiembre	$Y=6.53 - 1.095 \times 10^{-3} X$	0.87
Octubre	$Y=6.08 - 1.083 \times 10^{-3} X$	0.88
Noviembre	$Y=6.12 - 1.102 \times 10^{-3} X$	0.88
Diciembre	$Y=6.72 - 1.185 \times 10^{-3} X$	0.88
Año	$Y=6.56 - 1.128 \times 10^{-3} X$	0.88

- A diferencia de las demás zonas, la insolación aumenta con la altitud según lo indican los modelos de regresión (cuadro 12), que son aplicables para altitudes superiores a los 600 metros, (el óptimo pluviométrico de la zona se encuentra próximo a esta elevación) y,
- Entre el nivel del mar y los 600 metros de elevación la insolación disminuye con la altitud, con gradientes muy similares a los que determinan los modelos de regresión para la zona VI.

CUADRO 9

DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)

ZONA CUATRO

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=8.26 - 1.532 \times 10^{-3} X$	0.79
Febrero	$Y=8.11 - 1.540 \times 10^{-3} X$	0.79
Marzo	$Y=7.70 - 1.716 \times 10^{-3} X$	0.84
Abril	$Y=7.18 - 1.838 \times 10^{-3} X$	0.86
Mayo	$Y=7.12 - 1.855 \times 10^{-3} X$	0.87
Junio	$Y=7.47 - 1.790 \times 10^{-3} X$	0.86
Julio	$Y=8.04 - 1.565 \times 10^{-3} X$	0.80
Agosto	$Y=7.97 - 1.582 \times 10^{-3} X$	0.80
Septiembre	$Y=7.54 - 1.731 \times 10^{-3} X$	0.85
Octubre	$Y=7.18 - 1.838 \times 10^{-3} X$	0.86
Noviembre	$Y=7.31 - 1.809 \times 10^{-3} X$	0.86
Diciembre	$Y=7.81 - 1.651 \times 10^{-3} X$	0.82
Año	$Y=7.63 - 1.691 \times 10^{-3} X$	0.84

CUADRO 10

DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)

ZONA CINCO

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=6.30 - 1.016 \times 10^{-3} X$	0.86
Febrero	$Y=6.15 - 0.979 \times 10^{-3} X$	0.88
Marzo	$Y=5.72 - 0.976 \times 10^{-3} X$	0.88
Abril	$Y=5.51 - 1.034 \times 10^{-3} X$	0.88
Mayo	$Y=5.97 - 1.130 \times 10^{-3} X$	0.85
Junio	$Y=6.32 - 1.115 \times 10^{-3} X$	0.84
Julio	$Y=6.78 - 1.092 \times 10^{-3} X$	0.80
Agosto	$Y=6.77 - 1.112 \times 10^{-3} X$	0.79
Septiembre	$Y=6.52 - 1.138 \times 10^{-3} X$	0.84
Octubre	$Y=5.68 - 1.057 \times 10^{-3} X$	0.89
Noviembre	$Y=5.58 - 1.045 \times 10^{-3} X$	0.88
Diciembre	$Y=5.91 - 1.037 \times 10^{-3} X$	0.86
Año	$Y=6.11 - 1.066 \times 10^{-3} X$	0.88

En el futuro, se harán necesarios estudios específicos para las zonas cuatro a siete, ya que solo ellos podrán verificar con precisión los resultados que, por ahora, pueden considerarse como preliminares, puesto que para llegar a ellos solo se utilizó la información de las estaciones ubicadas en las áreas limítrofes con la cuenca del Cauca Superior.

Los modelos de regresión establecidos para la cuenca del Cauca Superior permiten determinar con suficiente exactitud, los valores medios de duración de la insolación diaria para cada uno de

CUADRO 11

DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)

ZONA SEIS

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=7.24 - 1.244 \times 10^{-3} X$	0.93
Febrero	$Y=7.24 - 1.244 \times 10^{-3} X$	0.93
Marzo	$Y=6.86 - 1.433 \times 10^{-3} X$	0.95
Abril	$Y=6.85 - 1.680 \times 10^{-3} X$	0.96
Mayo	$Y=6.88 - 1.622 \times 10^{-3} X$	0.96
Junio	$Y=7.47 - 1.622 \times 10^{-3} X$	0.87
Julio	$Y=7.33 - 1.081 \times 10^{-3} X$	0.91
Agosto	$Y=7.25 - 1.136 \times 10^{-3} X$	0.91
Septiembre	$Y=6.96 - 1.433 \times 10^{-3} X$	0.95
Octubre	$Y=6.88 - 1.622 \times 10^{-3} X$	0.96
Noviembre	$Y=6.88 - 1.622 \times 10^{-3} X$	0.96
Diciembre	$Y=6.96 - 1.433 \times 10^{-3} X$	0.95
Año	$Y=7.06 - 1.433 \times 10^{-3} X$	0.95

CUADRO 12

DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA
(Y – EN HORAS Y DECIMOS DE HORA) EN FUNCION
DE LA ALTITUD (X – EN METROS)

ZONA SIETE

Período	Ecuación de correlación lineal (Recta de mínimos cuadrados)	Coefficiente de correlación
Enero	$Y=-0.26+3.598 \times 10^{-3} X$	0.78
Febrero	$Y=-0.41+3.563 \times 10^{-3} X$	0.74
Marzo	$Y=-0.51+3.338 \times 10^{-3} X$	0.72
Abril	$Y=-0.42+2.934 \times 10^{-3} X$	0.77
Mayo	$Y=-0.33+2.900 \times 10^{-3} X$	0.70
Junio	$Y=-0.14+3.017 \times 10^{-3} X$	0.74
Julio	$Y=+0.60+3.119 \times 10^{-3} X$	0.73
Agosto	$Y=+0.34+3.187 \times 10^{-3} X$	0.76
Septiembre	$Y=-0.005+3.030 \times 10^{-3} X$	0.70
Octubre	$Y=-0.66+3.115 \times 10^{-3} X$	0.69
Noviembre	$Y=-0.68+3.116 \times 10^{-3} X$	0.72
Diciembre	$Y=-0.14+3.134 \times 10^{-3} X$	0.76
Año	$Y=-0.02+3.031 \times 10^{-3} X$	0.73

los meses y también para el año, para cualquier sitio ubicado en la cuenca, a condición de conocer su ubicación geográfica y su altitud. Por lo tanto, resulta innecesario determinar el campo escalar de la insolación por medio de isopletras. No obstante, de ser necesaria esta representación gráfica, para cada zona, bastaría con reemplazar los valores de las curvas de nivel por los correspondientes valores de duración de la insolación diaria, a nivel mensual y a nivel anual. Estos valores pueden obtenerse con las ecuaciones matemáticas que figuran en los cuadros 5 a 12.

4.2 Variación temporal

En meteorología para realizar un análisis adecuado; debe indicarse el régimen normal de los elementos; es decir debe establecerse la distribución más común y sus características más frecuentes a través del año. Todo lo anterior debe basarse en datos medios mensuales y anuales obtenidos a través de largos períodos de observaciones, generalmente no inferiores a 30 años.

La información en que se basa el presente estudio contempla 30 años de observaciones (1951 a 1980), por lo tanto, resulta factible el establecimiento de la distribución más común durante el año; es decir, es posible la determinación de valores normales y el régimen normal.

Con el fin de establecer la variación de la duración de la insolación, se compararon los valores medios mensuales con el anual, por medio de gráficas elaboradas para cada una de las series de datos. En dichas gráficas se presentan las diferencias entre el valor de cada mes y el valor anual. El valor cero simboliza el valor medio anual, los valores positivos corresponden a aquellos meses cuyo valor medio supera al anual y los negativos a aquellos meses cuyo valor medio es inferior al anual. Obviamente muchas de esas gráficas resultaron similares y pudieron ser agrupadas según su similitud. Teniendo como base las gráficas elaboradas para las estaciones climatológicas de referencia, se pudo comprobar que ellas representan satisfactoriamente, el régimen normal para todas y cada una de las otras estaciones ubicadas en su zona de influencia, que fue establecida para las variaciones de la insolación con la altitud. Se obtuvieron también, las mismas siete grandes zonas, aunque fue necesario subdividir la zona cinco en dos sectores, con régimen normal muy parecido, de todas formas.

En la figura 15 se muestra la zonificación correspondiente y la variación de la duración de la

insolación media diaria-mensual respecto al valor medio diario-anual. De esta figura y de aquellas enumeradas de 6 a 14, que representan valores de las estaciones climatológicas de referencia, se puede concluir la distribución y características principales del régimen normal de la insolación para todas las zonas.

Dentro de esta perspectiva, para la cuenca del Cauca Superior, en especial, puede anotarse lo siguiente:

- La variación de la insolación mensual dentro del año presenta rasgos generales muy semejantes.
- El régimen normal se caracteriza por una distribución bimodal, es decir dos períodos de máxima insolación (enero-febrero y julio-agosto) y dos períodos de mínima insolación (abril-mayo y octubre-noviembre).
- Los períodos de máxima y mínima insolación coinciden, perfectamente, con las épocas menos lluviosas y más lluviosas, respectivamente.
- Los valores medios mensuales oscilan muy cerca del valor medio anual, aunque se alejan de éste en los casos extremos: en + 1.2, en la zona tres, mes de julio, y -0.9, en la zona uno, en abril y mayo.
- Los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre presentan valores muy similares al anual y, es de anotar que esos meses corresponden a aquellos en que se presentan los equinoccios y los solsticios.

Los modelos de regresión establecidos para la cuenca del Cauca Superior permiten determinar con suficientes exactitud, los valores medios de duración de la insolación diaria para cada uno de los meses y también para el año; esto para cualquier sitio ubicado en la cuenca, con la sola condición de conocer su ubicación geográfica y su altitud.

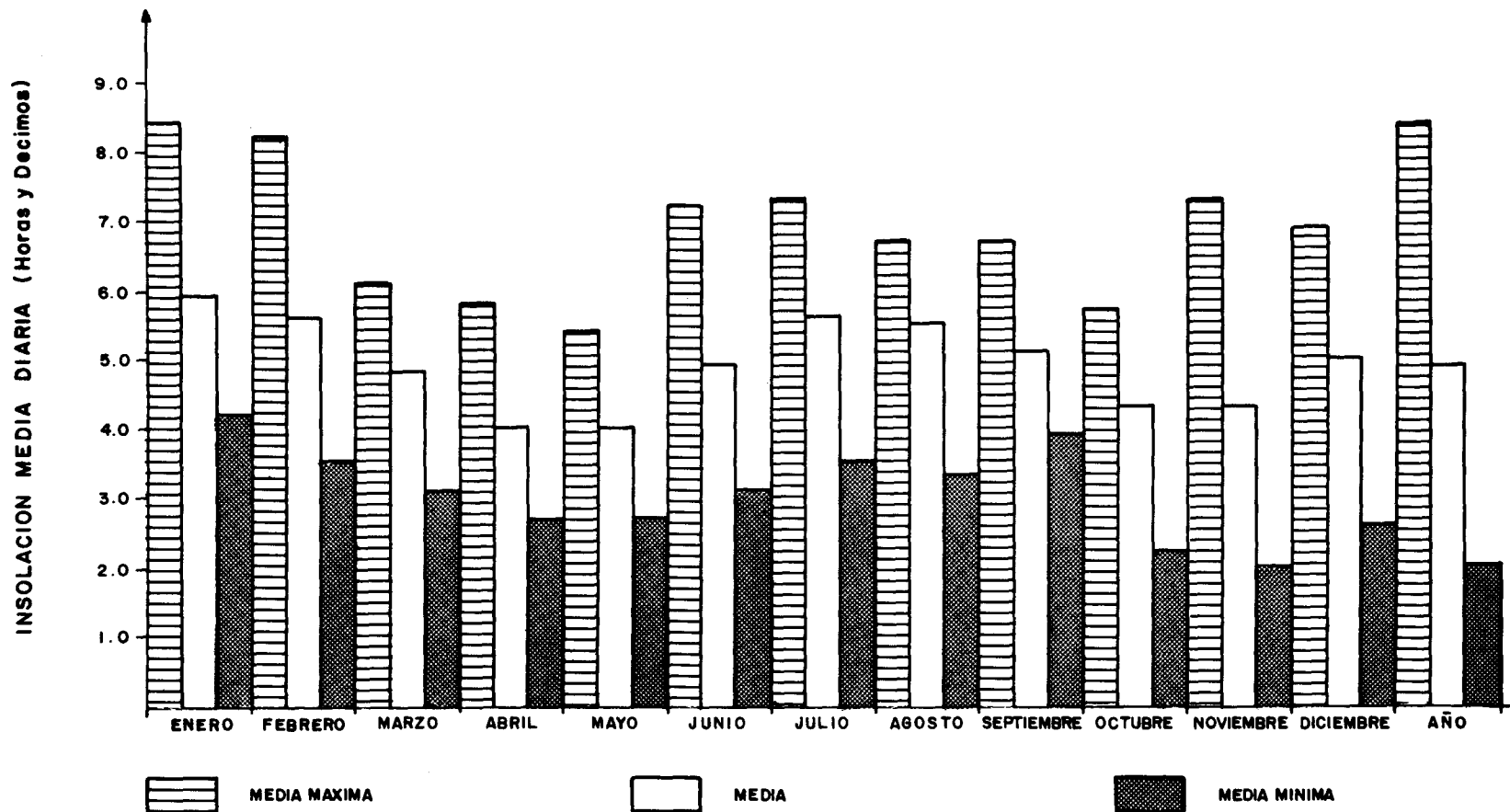


Fig. 6 VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA

ESTACION LA FLORIDA—JOSE MARIA OBANDO (POPAYAN) ZONA I

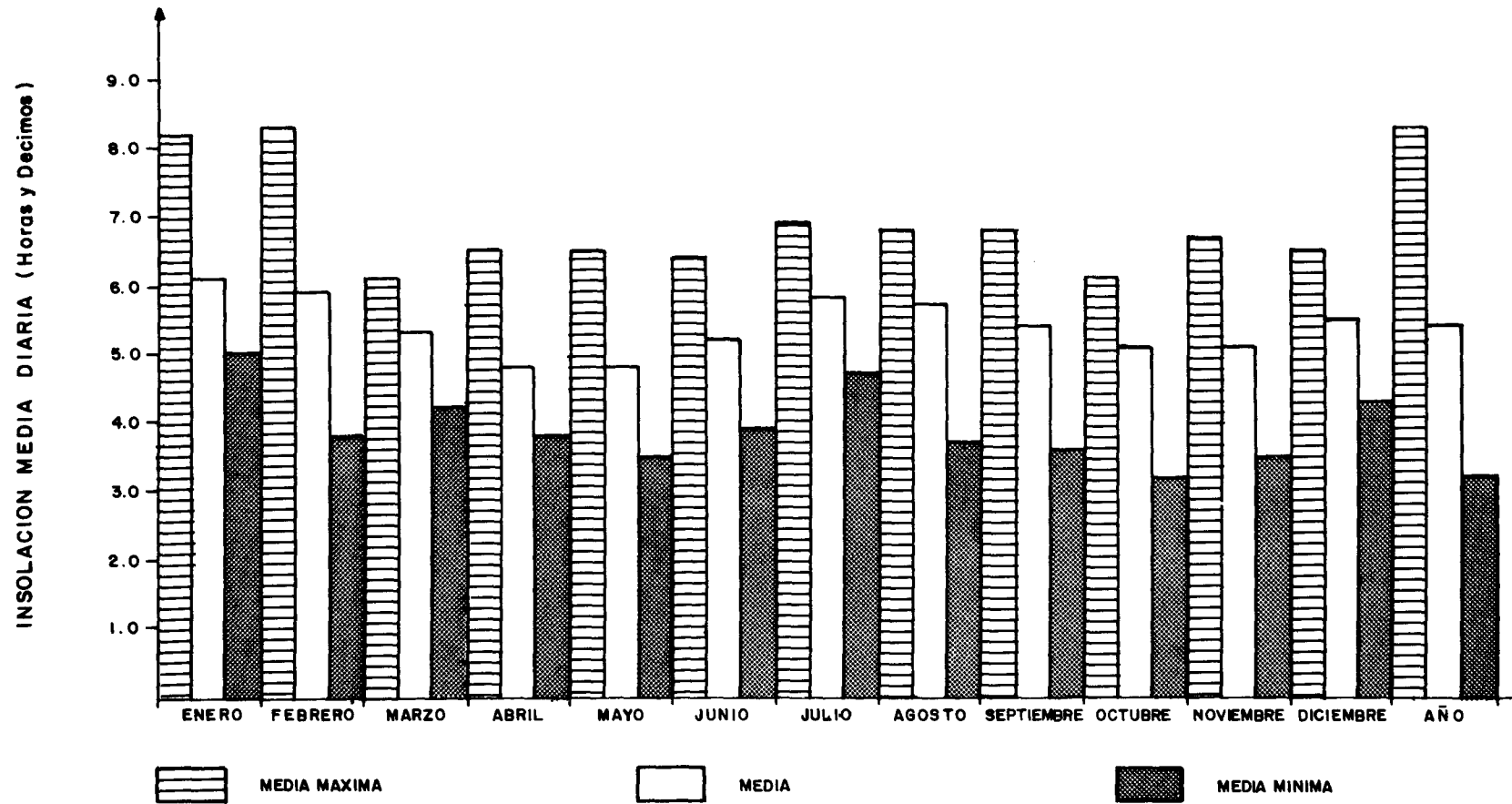


Fig. 7. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA
ESTACION PALMIRA — ZONA II

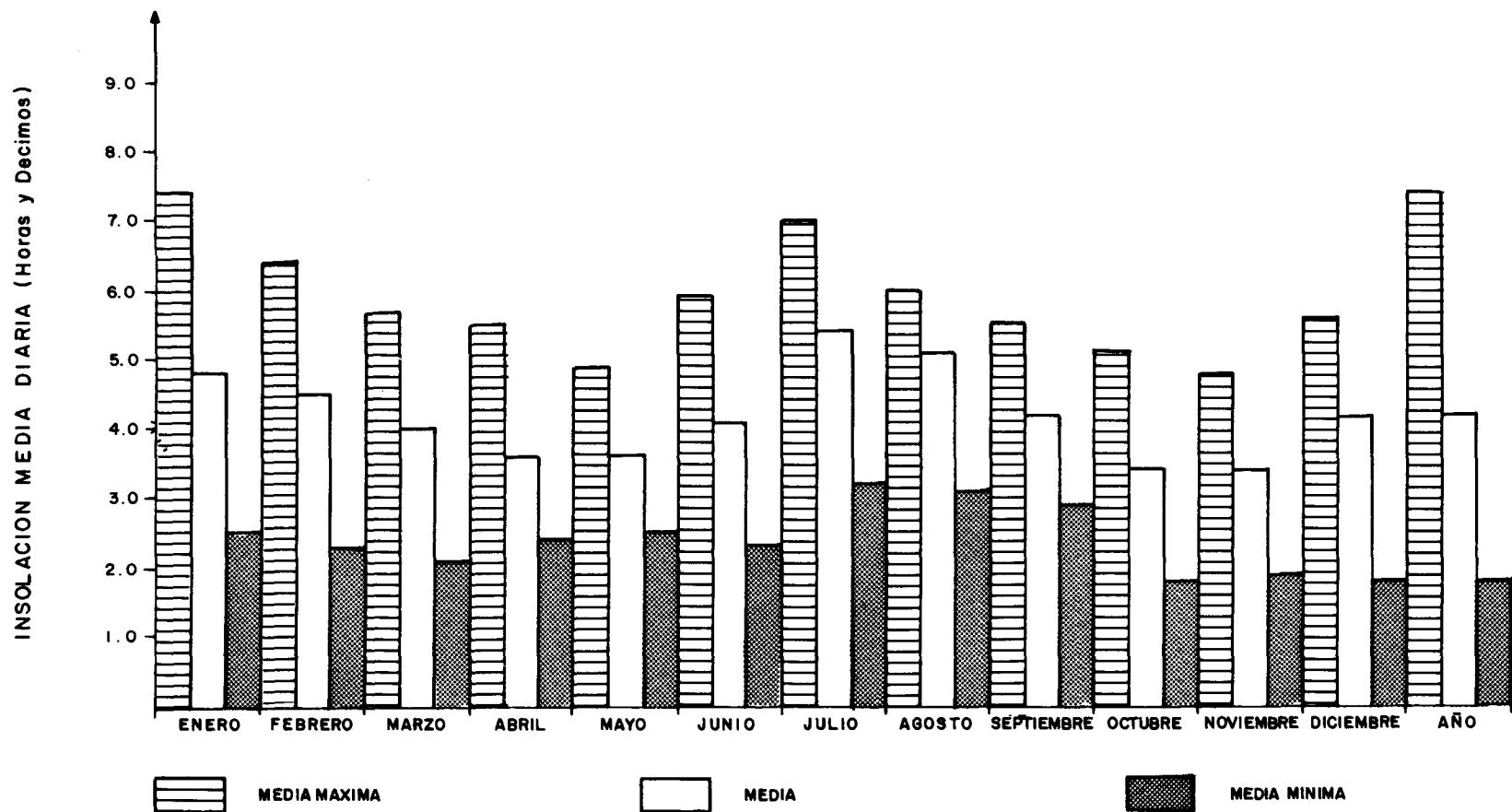


Fig. 8. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA

ESTACION EL SENA — ARMENIA ZONA III

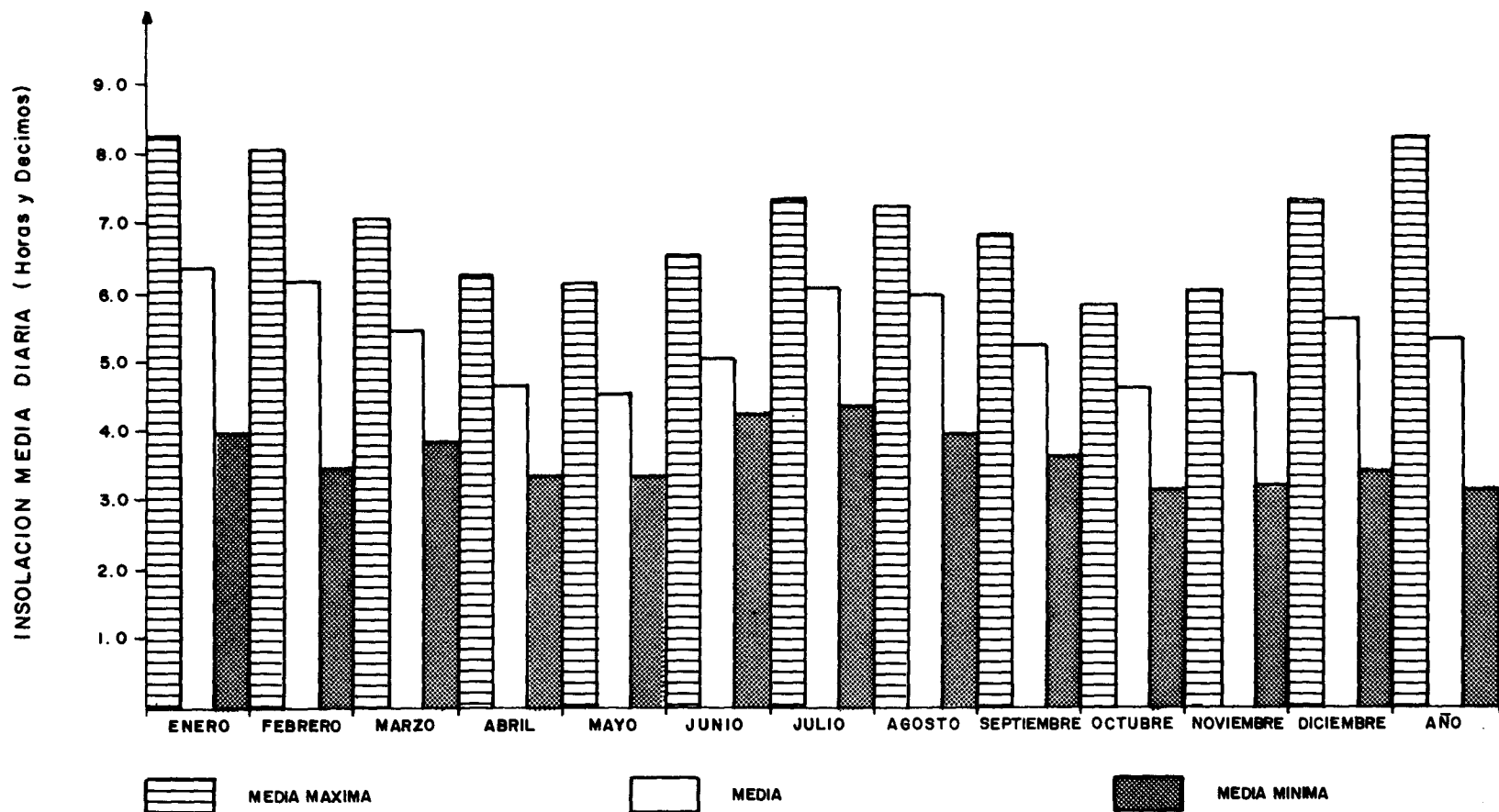


Fig. 9. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA

ESTACION GENICAFE — CHINCHINA ZONA IV

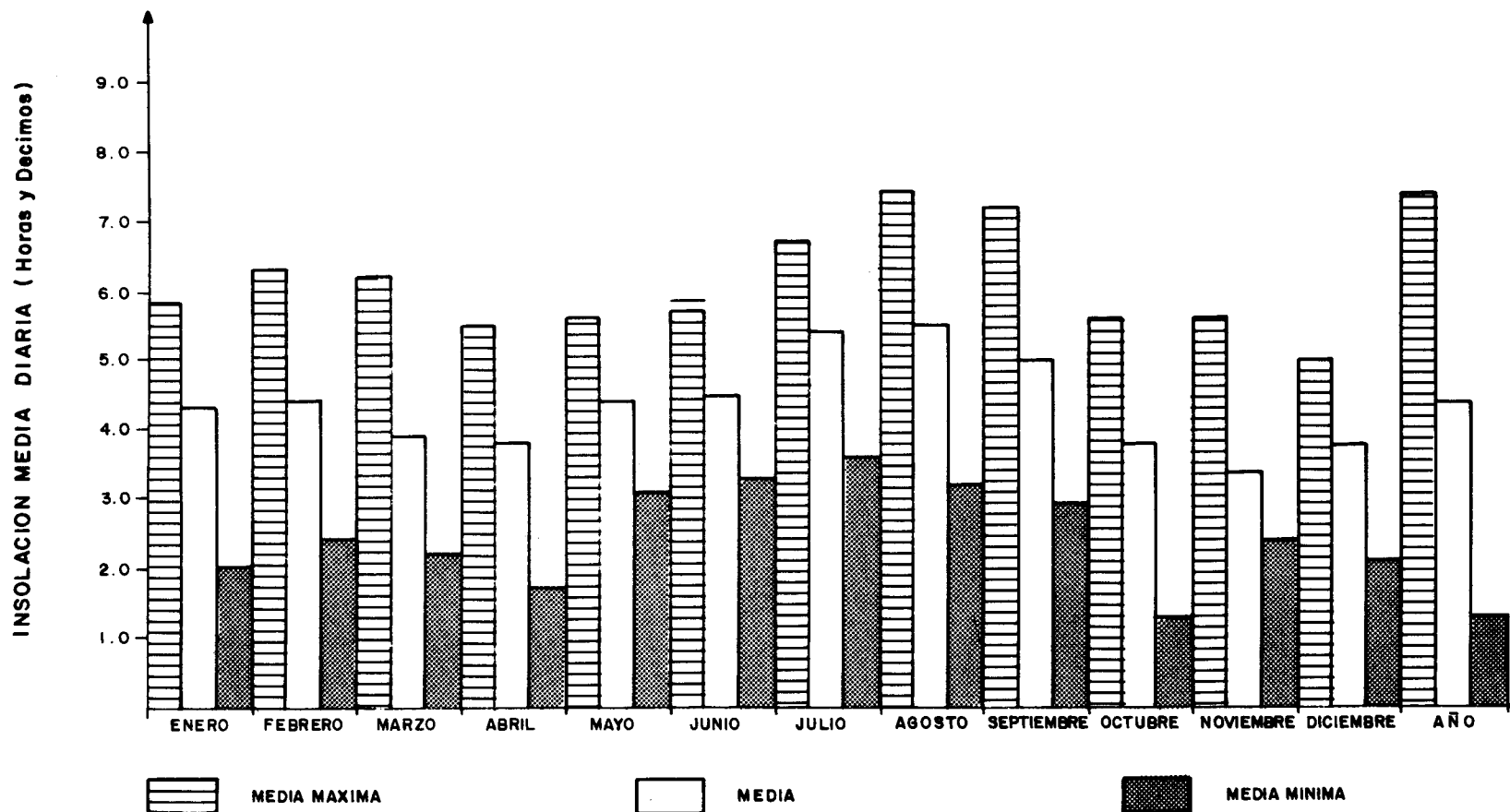


Fig. 10 VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA

ESTACION LLANADAS — MANZANARES ZONA YA

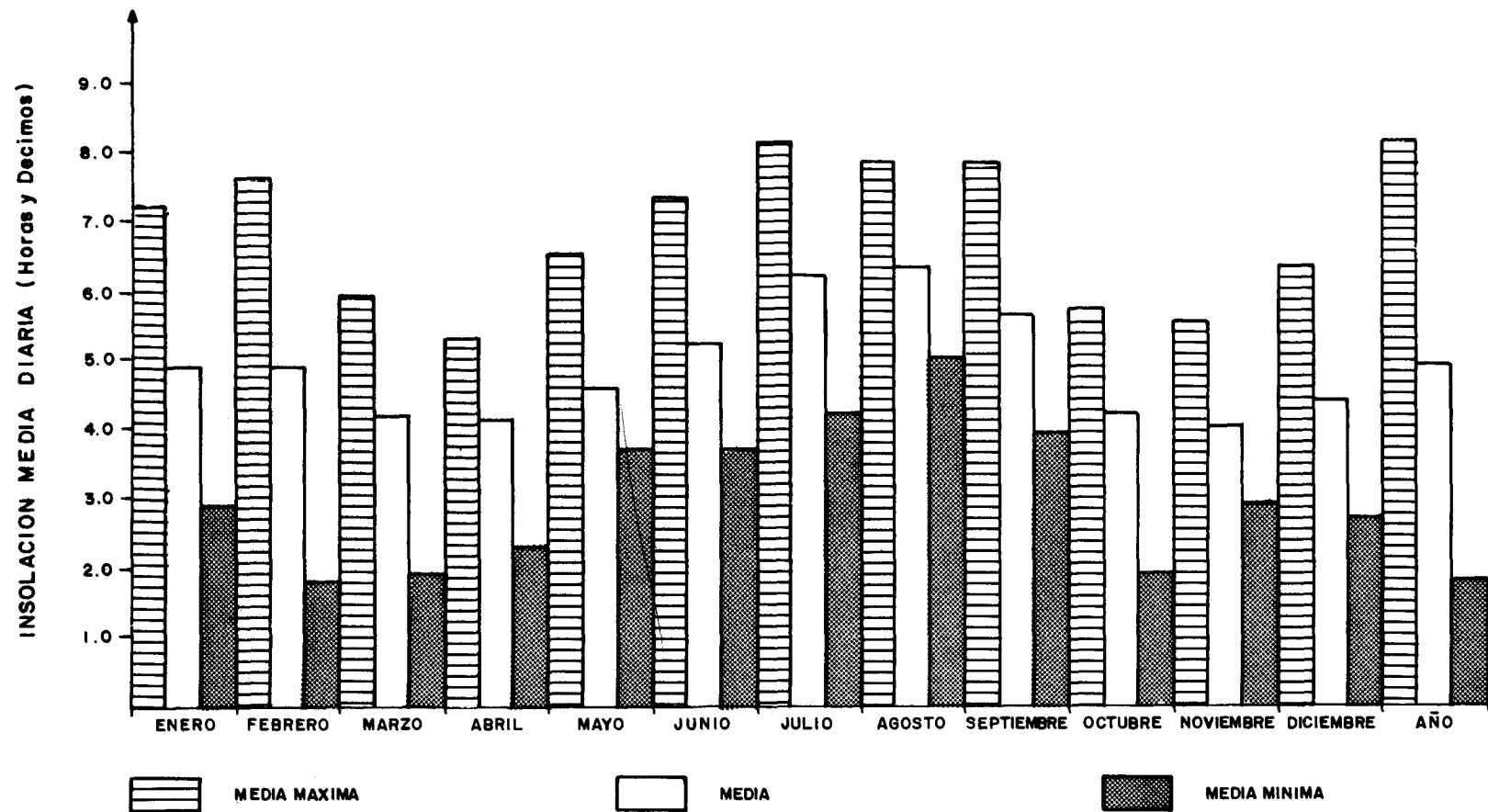


Fig. 11 VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA

ESTACION GRANJA — LIBANO ZONA YB

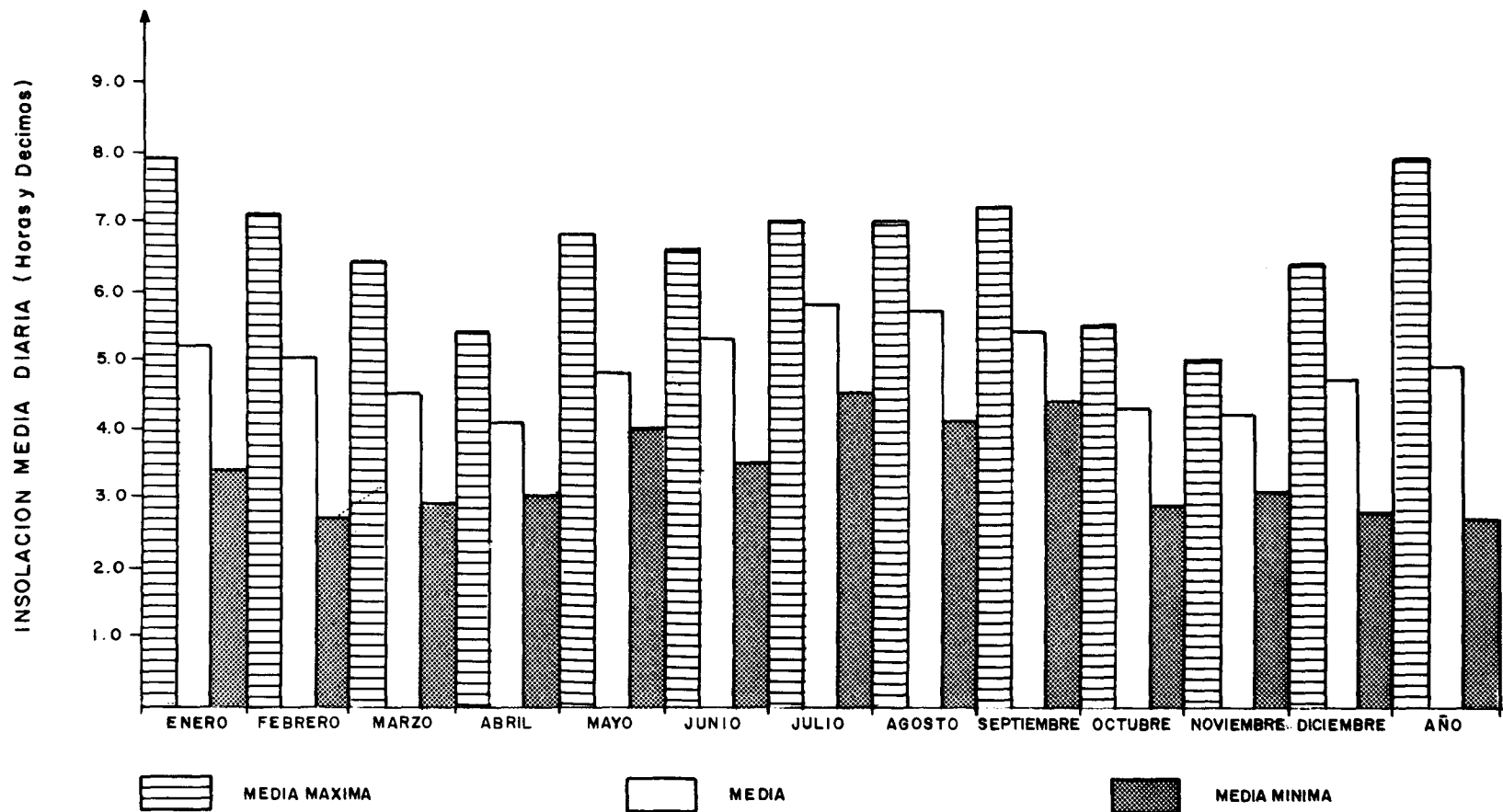


Fig. 12. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA

ESTACION EL CHAPETON — MARIANO MELENDRO (IBAGUE) ZONA V

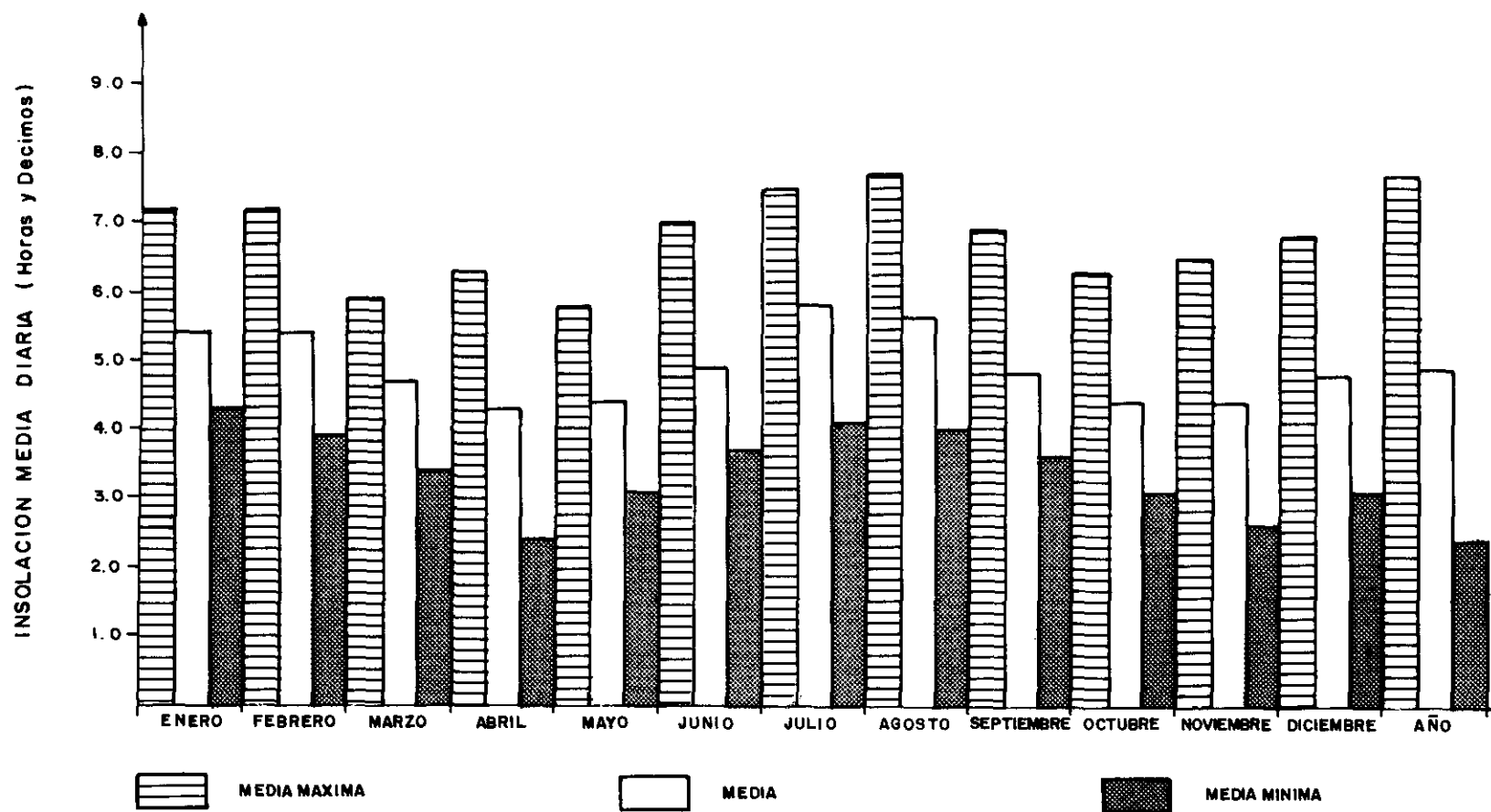


**Fig. 13. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA
ESTACION EL TAMBO — MANUEL MEJIA ZONA VI**

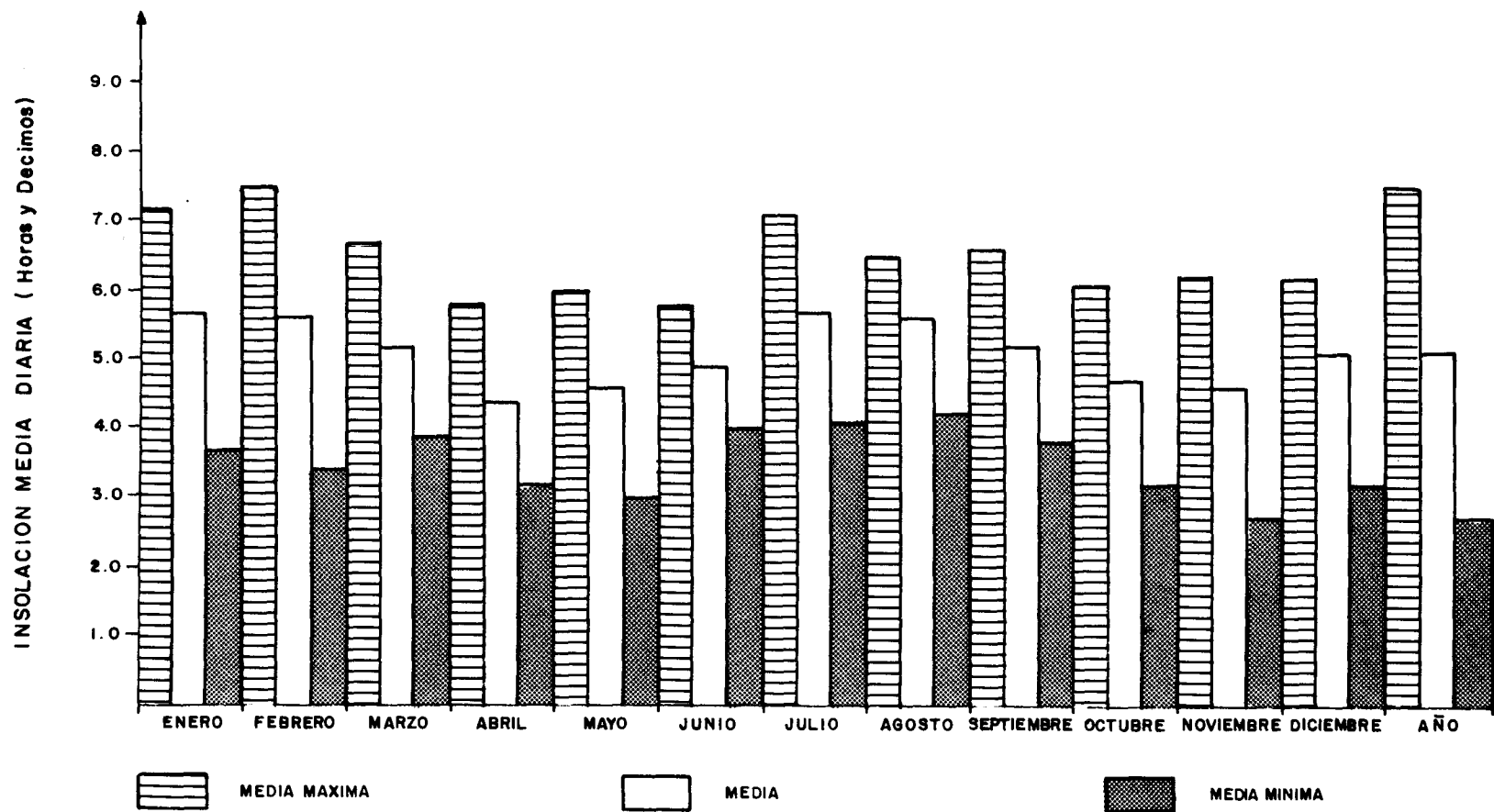


**Fig. 14. VALORES CARACTERISTICOS DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA
ESTACION RESTREPO — JULIO FERNANDEZ ZONA VII**

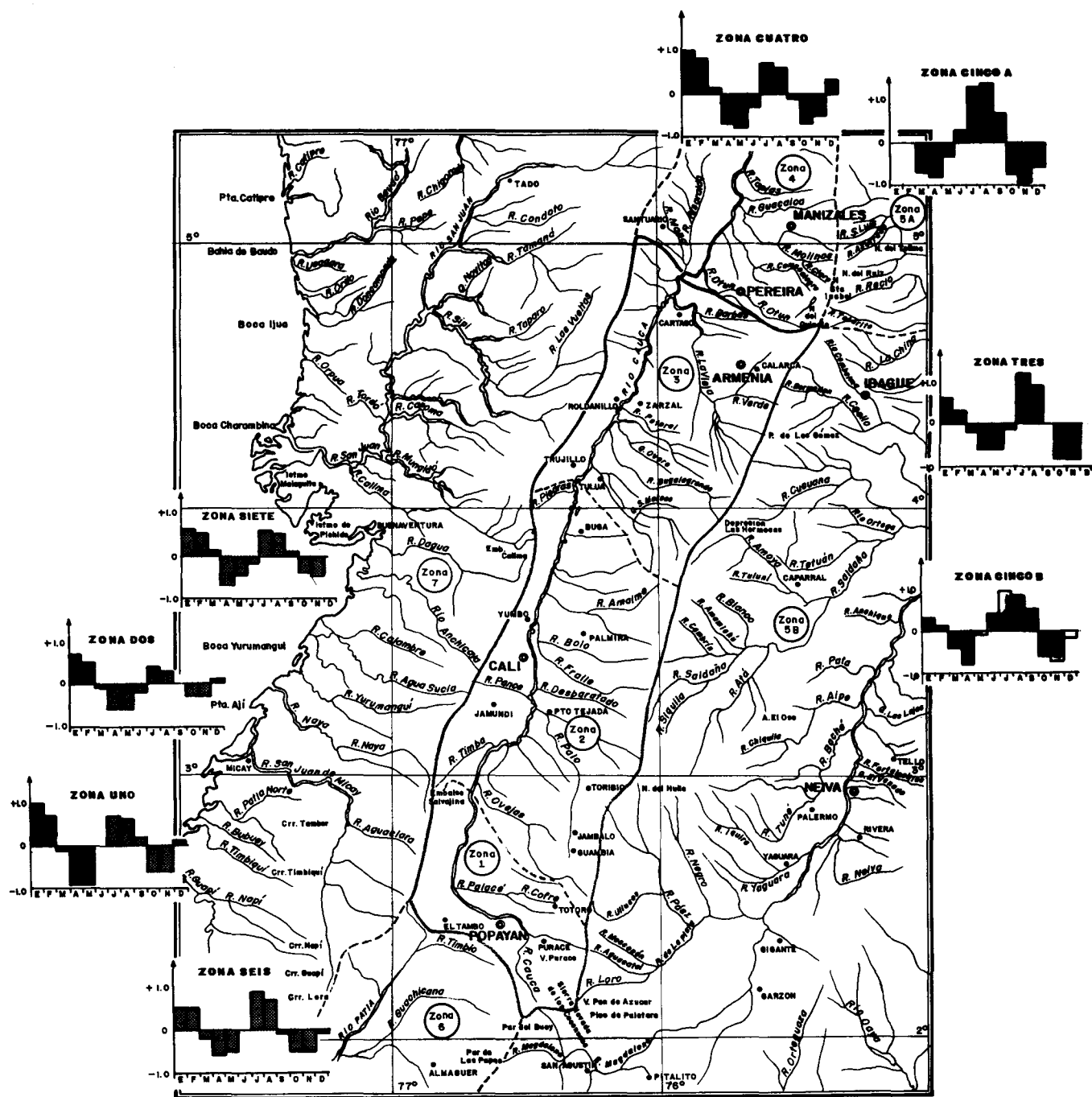


Fig. 15 VARIACION TIPICA DE LA DURACION DE LA INSOLACION MEDIA DIARIA-MENSUAL
RESPECTO AL VALOR MEDIO DIARIO ANUAL

5. CONCLUSIONES

El análisis de la información de la insolación, conduce a conclusiones y determinaciones concretas y satisfactoriamente exactas sobre la variación espacial y temporal de este elemento meteorológico, que en forma indirecta cuantifica la cantidad de energía disponible para mover la máquina atmosférica.

Se comprueba que para la cuenca del Cauca Superior, la variación espacial de la insolación media tiene como factor climático más relevante a la altitud. Se determinan las leyes naturales de variación de este elemento meteorológico, expresándolas por medio de ecuaciones matemáticas que posibilitan su utilización en infinidad de actividades prácticas relacionadas con proyección, ejecución y explotación de los recursos naturales. Las ecuaciones de regresión se constituyen así en instrumentos concretos y de fácil empleo en la determinación de los diferentes valores medios de la insolación. La aplicación de estos resultados es válida para cualquier lugar ubicado dentro de esta región, que es de vital importancia para el desarrollo socio-económico del país, con solo conocer su ubicación geográfica y su altitud.

Las ecuaciones resultantes, en todos los casos representan líneas y los factores de correlación demuestran ampliamente la validez de esas relacio-

nes lineales dentro de los rangos de exactitud necesarios, para las altitudes consideradas.

Pensamos que la zonificación propuesta es óptima, entendiendo que se cumple tanto para las variaciones espaciales como para las variaciones temporales.

Al mismo tiempo que la altitud aparece como el "Factor Climático" más relevante en la distribución espacial de la insolación, la nubosidad también aparece claramente como el "Elemento Climático de Control" de las diferentes variaciones de la insolación con la altitud.

Se comprueba que el régimen normal de variación temporal de la insolación se caracteriza por una distribución bimodal, con dos períodos de máxima y dos de mínima insolación que coinciden con las épocas menos lluviosas y más lluviosas, respectivamente. Así mismo, se puso en evidencia que la insolación en aquellos meses en que se presentan los equinoccios y solsticios, es muy similar a su valor medio anual.

En resumen, creemos que el presente trabajo encara de una manera satisfactoria el problema de la determinación del régimen normal de la duración de la insolación en la cuenca del Cauca Superior y, colateralmente y de forma adicional en sus alrededores.

BIBLIOGRAFIA

- BROOKS, C. & CARRUTHERS, N. (1953): Handbook of statistical in meteorology. 412. pp. Her Majesty's Stationery office, London.
- ESLAVA, J. (1980): Apuntes de Instrumentos y Métodos de observación meteorológica. 100 pp. (Mscr). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- ESLAVA, J., PARRA, A. & VILLALBA, M. (1985): Las temperaturas máximas del aire en Colombia y su pronóstico. *Atmósfera* 4. pp. 11-66. Bogotá.
- ESSENWANGER, O. (1976): Applied statistics in atmospheric science. 412 pp. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA (1949-1980): Anuarios meteorológicos. CENICAFAE, Chinchiná-Caldas.
- GODOY, G., SANCHEZ, J., & CABRERA, E. (1975): Análisis de datos de precipitación. Publicación aperiódica No. 34. SCMH, Bogotá.
- INSTITUTO COLOMBIANO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ADECUACION DE TIERRAS (HIMAT). (1935-1977): Anuarios meteorológicos, boletines meteorológicos, boletines climatológicos e información disponible en la sección de archivo técnico. HIMAT. Bogotá.
- ORGANIZACION METEOROLOGICA MUNDIAL (1970): Guía de prácticas climatológicas. OMM No. 100 T.P. 44. 326 pp. OMM, Ginebra.
- OSTER, R. (1979): Las precipitaciones en Colombia. Colombia Geográfica, Vol. VI, No. 2. pp. 5-147. IGAC, Bogotá.
- PANOFKY, H. & BRIER, G. (1958): Some applications of statistics to meteorology. 224 pp. University Park. Pa.
- RAU, H. (1981): Energía Solar, aplicaciones prácticas. 215 pp. Marcombo, Boixareu Editores, Barcelona.
- SELLERS, W. D. (1972): Physical Climatology. 272 pp. The University Chicago Press, Chicago.
- SERVICIO COLOMBIANO DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA (SCMH). (1975): Estudios hidrometeorológicos para cálculos de potencial hidroeléctrico en Colombia. Publicación aperiódica 35. 62 pp. SCMH. Bogotá.
- STANESCU, S. & DIAZ, J. (1971): Estudio preliminar de la temperatura del aire en Colombia. Publicación aperiódica 26. 81 pp. HIMAT, Bogotá.
- STANESCU, S & RODRIGUEZ, G. (1972): Estudio hidrológico preliminar de la cuenca hidrográfica del Cauca Superior. Publicación aperiódica 27. 160 pp. HIMAT, Bogotá.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1971): Guide to meteorological instrument and observing practices 354 pp. WMO No. 8 T.P. 3. WMO. Ginebra.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1976): Some methods of climatological analysis. WMO, Ginebra.