

VARIACION TEMPORAL DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE EN SANTAFE DE BOGOTA

por

Jesús A. Eslava R.*

Resumen

Eslava, J.: Variación temporal de la Humedad Relativa del Aire en Santafé de Bogotá. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 18 (70): 333-344, 1992. ISSN 0370-3908.

A partir de las observaciones horarias realizadas en la estación Observatorio Meteorológico Nacional – Ciudad Universitaria de Santafé de Bogotá, se determinan y analizan los valores medios horarios y la variación diaria y anual de la humedad relativa del aire. Se establecen los valores extremos y sus amplitudes y se determina, entre otras cosas, que los valores máximos más comunes oscilan entre 95% y 100% de humedad, en 95 días de cada 100, y que el mínimo más bajo fue de 3%.

Abstract

According with hourly observations done at the Observatorio Meteorológico Nacional – Ciudad Universitaria, Santafé de Bogotá, the medium hourly values and the daily and annual variation of the air relative humidity were determined and analyzed. The maximum values and ranges of the relative humidity were established showing that the maximum values range between 95% and 100% for 95% of the analyzed days. The minimum value found was 3%.

Introducción

Este trabajo complementa estudios anteriores que trataron el tema de la variación a través del tiempo (día, mes, año) de la presión y temperatura del aire en la estación "Observatorio Meteorológico Nacional" ubicada en la Ciudad Universitaria Nacional de Colombia, Santafé de Bogotá. En particular aquí se analiza una variable representativa de la humedad atmosférica: la humedad relativa del aire.

En trabajos anteriores (Eslava 1990 a, b; 1991 a, c, d, e), se determinaron las características de la variación diaria de la presión atmosférica, temperatura y humedad relativa del aire en Santafé de

Bogotá; en los mismos se menciona como en Colombia, los análisis de las variaciones diurnas de los diferentes elementos meteorológicos son, como casi todos los estudios referentes a la meteorología, muy escasos, inéditos o inexistentes. En el caso de las variaciones diurnas de la humedad relativa del aire, esta situación es crítica y no se conocen ni siquiera breves comentarios.

En este trabajo se recopila la información horaria publicada, sobre humedad relativa del aire en Santafé de Bogotá y, una vez, verificada, procesada y homogeneizada, se definen y analizan los valores horarios medios y las humedades relativas máximas y mínimas para cada mes y el año, con base en las observaciones realizadas en la estación Observatorio Meteorológico Nacional durante el período 1941–1960. También se aplican algunas de las fór-

* Profesor Titular – Universidad Nacional de Colombia.

mulas que se han usado para el cálculo de los valores medios diarios y se comparan esos resultados con los que se obtienen al establecer un promedio aritmético de las 24 observaciones horarias.

Generalidades

El agua se encuentra presente, en cantidades casi siempre grandes, en cualquier parte de la primera capa de la atmósfera. Sin embargo, por presentarse en forma de vapor la mayor parte del tiempo es invisible. De vez en cuando, ese vapor condensa y forma nubes que se encargan de mostrar la existencia de esa agua. Las nubes, son entonces, no solamente la expresión visible de la existencia de agua en la atmósfera, sino el más visible de los elementos de la atmósfera.

Interesa la consideración de la humedad del aire en sí misma, en forma de vapor, no sólo porque es origen de las precipitaciones, sino por causa de la infinidad de consecuencias, entre ellas las biológicas, positivas o negativas que originan sus variaciones temporales. Sin conocer las características de esas variaciones es imposible, por ejemplo, comprender la influencia de la temperatura sobre los diferentes organismos: un pequeño descenso o ascenso de la temperatura, cuando el aire está húmedo, produce cambios apreciables en la sensación de confortabilidad de los hombres, animales y plantas; por el contrario, las fuertes bajas de temperatura de los inviernos en Siberia y las altas elevaciones de la misma en el Sahara, son relativamente fáciles de soportar o controlar gracias al descenso de la humedad relativa que acompaña a ambos fenómenos.

Puesto que el vapor de agua es el componente más variable y, en muchos aspectos, el más importante de la atmósfera, varios autores han estudiado sus características, sus variaciones, su importancia, influencia y consecuencias o efectos sobre el tiempo, el clima y la vida, en general. Con base en los análisis de esos autores, entre ellos Riehl (1954, 1979), De Martonne (1963), Gordon (1965), Pettersen (1968), Mazzeo et al. (1972), De Fina & Ravelo (1973), Lowry (1973), Retallack (1973 a, b), Mertins (1976) y Eslava (1978, 1980, 1991 d), se efectúan las siguientes definiciones y comentarios sobre la humedad relativa, el vapor de agua y la humedad atmosférica que el representa.

En el aire siempre se encuentra vapor de agua que sale de la superficie terrestre y entra en la atmósfera, en forma de vapor, por diferentes procesos:

- a) evaporación que se da en los mares, ríos, lagos, suelo, vegetación, etc.;
- b) transpiración del hombre, animales y plantas;
- c) surgencias espontáneas: géiseres, fuentes minerales y termales, etc.;
- d) diversas combustiones que se realizan para producir calor y fuerza motriz: madera, gas de

alumbrado, hidrocarburos, humos de las turbinas y de las locomotoras, etc.

Posteriormente, ese vapor de agua (al condensarse por ascender y enfriarse) origina las nubes y regresa a la tierra en forma de precipitación líquida o sólida, completando así el ciclo hidrológico y dando forma en todo este proceso al tiempo y los climas de la Tierra.

El agua contenida en el aire es, por lo tanto, constantemente renovada por los ingresos de nuevas masas de vapor aportadas por los procesos ya señalados, principalmente los de evaporación y transpiración que se dan en la superficie de la Tierra.

Importancia

La humedad del aire, es decir el vapor de agua que contiene el aire, siempre se ha considerado como un elemento meteorológico muy importante en la determinación de los diferentes estados de la atmósfera, no solamente por su influencia sobre la precipitación sino por sus efectos biológicos. Sin embargo, dado que sus valores instantáneos se encuentran sujetos a rápidas fluctuaciones especialmente por la influencia del movimiento del aire que aporta o quita humedad y por la radiación que transforma el agua líquida o sólida en vapor de agua, los valores medios diarios, mensuales o anuales de la humedad relativa se habían considerado (equivocadamente) de poco valor y los valores y mapas que los indicaban eran poco usados, aunque algunas de las consecuencias de la humedad (nubosidad y precipitaciones) si se analizan y figuran representadas en todos los estudios meteorológicos.

Actualmente se acepta que la humedad relativa tiene una gran influencia y, entre otras cosas, se menciona que la mayoría de las plantas se desarrollan mejor bajo condiciones de alta humedad y que bajo esa misma alta humedad (dependiendo de la temperatura y vientos) se estimula el desarrollo y crecimiento de plagas y enfermedades.

El hecho de que exista mayor o menor cantidad de vapor de agua en la atmósfera, es decir que el aire sea más o menos húmedo, tiene muchos e importantes efectos no sólo relacionados con el tiempo y el clima sino con los diferentes asuntos humanos. Una relación sucinta y seguramente muy incompleta de esos efectos o aplicaciones puede ser la siguiente:

- a) el aire húmedo se calienta más que el aire seco bajo la acción directa de los rayos solares;
- b) el aire húmedo es mucho mejor absorbente de la radiación terrestre;
- c) el vapor de agua en el aire, conjuntamente con otros parámetros meteorológicos, tales como la velocidad del viento y bajas temperaturas en períodos de inversión térmica radiativa, contribuye al deterioro de ciertos objetos por acción de los contaminantes. Se han encontra-

- do valores críticos de la humedad relativa que al ser excedidos producen un aumento rápido en la velocidad del proceso corrosivo. Por ejemplo, el aluminio, en presencia de atmósferas contaminadas con SO_2 , tiene una humedad relativa crítica del 80%;
- d) el vapor de agua interviene en la formación de nieblas de ácido sulfúrico que dañan los tejidos animales;
- e) el vapor de agua favorece la reducción de la visibilidad;
- f) el vapor de agua influye en la sensibilidad de las plantas en presencia de contaminantes fitotóxicos;
- g) la sensación de bienestar que experimentan los humanos, animales y plantas, depende, particularmente, de la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Si el aire está seco, la piel puede transpirar, con lo que se consigue refrescarla; pero si el aire se encuentra saturado, no se produce ninguna transpiración y se experimenta una sensación de incomodidad que afecta los diferentes procesos externos e internos de los cuerpos;
- h) la sequedad del aire hace soportables las temperaturas más extremas: las bajas temperaturas de -40°C de los inviernos siberianos y las muy altas del Sahara son relativamente fáciles de resistir gracias al descenso de la humedad relativa que las acompaña;
- i) en aire húmedo, un débil descenso o una pequeña elevación de la temperatura producen un efecto muy sensible tanto sobre el hombre como sobre los animales y plantas;
- j) la entrada o salida de vapor de agua en la atmósfera implica no sólo un cambio en la cantidad de masa atmosférica, sino un cambio en la energía disponible y la presencia de procesos de transferencia de energía que influyen en el estado del tiempo y en el clima de un lugar;
- k) la salida de vapor de agua de la atmósfera implica también un proceso de limpieza de la atmósfera, puesto que al condensar el vapor de agua y precipitar hacia la superficie terrestre arrastra muchos de los contaminantes existentes en la atmósfera;
- l) un alto contenido de humedad propicia y/o estimula un óptimo desarrollo de las plantas. Por ejemplo, se consideran como humedades relativas óptimas la de 75% para el trigo, superior al 60% para el plátano, entre 54 y 87% para el arroz;
- m) un alto contenido de humedad, asociado con altas temperaturas y bajas velocidades del viento, estimula el desarrollo y crecimiento de plagas y enfermedades en las plantas, creando problemas en la producción, recolección y almacenamiento de las cosechas. Por ejemplo, un ambiente relativamente seco durante la etapa de maduración del maíz ayuda a reducir la humedad del grano para la recolección y evita la presencia de hongos durante su almacenamiento.
- n) un alto contenido de humedad, asociado con altas temperaturas y bajas velocidades del viento, estimula el desarrollo y crecimiento de plagas y enfermedades en los humanos y animales, creando problemas de salud en ocasiones de alto riesgo;
- ñ) un bajo contenido de agua en la atmósfera permite el rápido enfriamiento nocturno del aire y puede posibilitar la formación de heladas; por el contrario un alto contenido de agua impide la presencia de esa dañina situación o, por lo menos, suaviza sus efectos.
- o) la calidad y duración de cada tipo de producto, cualesquiera que sea (químicos, eléctricos, textiles, de construcción, etc.), tiene sus propias exigencias y tolerancias de humedad.

Definiciones

Se define como humedad del aire o humedad atmosférica a el contenido de agua gaseosa, en forma de vapor, en la atmósfera.

El vapor de agua contenido en la atmósfera es objeto de dos clases de medidas:

- a) el peso del vapor de agua (mv) contenido en una unidad de volumen de aire (V), es la "humedad absoluta":

$$H_a = mv/V \quad [1]$$

o, el peso del vapor de agua presente en el aire (mv en gramos) por la masa de aire húmedo que lo contiene (mv+ma, en kg), es la "humedad específica":

$$q = mv/[mv+ma] \quad [2]$$

- b) se puede intentar saber en qué medida sería el aire capaz de absorber todavía una cierta cantidad de agua, se trata de la "humedad relativa" (U) que es entonces una relación (porcentual) entre la humedad real y la de saturación (la que tendría el aire si se saturara de vapor de agua, a la misma temperatura y presión).

La humedad atmosférica también puede expresarse con la ayuda de otros parámetros, entre ellos los más usados son la presión o tensión del vapor (e) y la razón de mezcla (r).

Tensión del vapor (e): La tensión del vapor es la presión que tendría el vapor de agua si abarcara él sólo el volumen ocupado por el aire húmedo. Se puede igualmente decir que es la presión parcial del vapor de agua en la mezcla con el aire seco, que constituye el aire húmedo. Esta presión, por supuesto tiene una relación directa con la cantidad de masa de vapor de agua presente en el aire.

La cantidad de vapor que puede, en un volumen determinado de aire a una temperatura dada, permanecer en estado gaseoso, es limitada. Cuando

se alcanza este límite, se dice que el vapor es saturante o que el aire está saturado; si llegan nuevas cantidades de vapor de agua a ese aire, habrá condensación. La presión del vapor, en estas condiciones, es la tensión de vapor saturante (es) que sólo depende de la temperatura del aire (T):

— para el equilibrio de condensación (agua-vapor)

$$\text{Log } es = -4,9283 \times \text{Log } T - 2937, 4x(1/T) + 22,5518 \quad [3]$$

— para el equilibrio de sublimación (hielo-vapor)

$$\text{Log } es = 9,5553 - (2667/T) \quad [4]$$

Razón de mezcla (r): La razón de mezcla del aire es el cociente de la masa de vapor de agua (mv) por la masa de aire seco (md) con el cual este vapor está asociado. En la práctica se expresa en milésimas o, si se prefiere, en gramos de vapor de agua por kilogramo de aire seco:

$$r = mv / md \quad [5]$$

Cuando el aire está saturado, el valor que toma la razón de mezcla se llama razón de mezcla de saturación (rs) o razón de mezcla saturante.

Humedad Relativa (U): La humedad relativa es la forma más fácil de expresar hasta qué medida el aire se encuentra próximo o no a la saturación (condensación), ella es la relación entre la masa de vapor de agua realmente presente en la unidad de aire y la masa de vapor que tendría el aire si estuviera saturado a la misma temperatura o, lo que es equivalente, el cociente de la tensión de vapor de una muestra de aire por la tensión de vapor de la misma muestra de aire saturado (a la misma presión y temperatura):

$$U = e/es \quad [6]$$

El cociente debe multiplicarse por 100 si se desea expresar la humedad relativa en porcentaje, lo que es usual.

Cuando el valor no es saturante, la masa de vapor de agua presente en el aire es más o menos proporcional a la tensión de vapor y se puede obtener un valor aproximado de la humedad relativa por la fórmula:

$$U \approx [r / rs] \times 100 \quad [7]$$

Cuando el aire no está saturado, $e < es$, la humedad relativa es inferior a 100%; para aire saturado, es igual a 100%, puesto que $e = es$.

De los conceptos anteriores, se puede concluir que conociendo uno o dos valores de ciertos elementos meteorológicos puede determinarse fácilmente la humedad atmosférica a través de uno o de

todos los parámetros que suelen utilizarse para expresarla.

Algunas de las fórmulas más usadas para determinar esos parámetros que expresan la humedad, son las siguientes:

$$U = [e/es] \times 100 \approx [r/rs] \times 100 \quad [8]$$

$$r \approx e/es \quad [9]$$

$$r = exe/[P-e] \approx exe/P \quad [10]$$

$$r = q/[1-q] \approx q = r/[1+r] \quad [11]$$

$$rs = exes/[P-es] \approx exes/P \quad [12]$$

$$rs = qs/[1-qs] \approx qs = rs/[1+rs] \quad [13]$$

$$e = Pxr/[\epsilon + r] \approx Pxr/\epsilon \quad [14]$$

$$es = Pxls/[\epsilon + rs] = Pxls/\epsilon \quad [15]$$

$$\epsilon = 0,622$$

P = Presión atmosférica

Resulta entonces que sólo conociendo la humedad relativa (objeto de este trabajo) y la temperatura del aire (ver Eslava 1990a, 1991a), puede determinarse cualquiera de los otros indicadores que expresan la humedad del aire. La presión atmosférica necesaria para aplicarla en algunas de las fórmulas, puede determinarse conociendo —para cada sitio— sólo su altitud y ubicación geográfica, según lo establece Eslava (1990c).

Información utilizada

Los datos utilizados en este trabajo corresponden a los valores medios para cada hora, de cada mes y año (Tabla 1) determinados para la estación Observatorio Meteorológico Nacional, ubicada en el extremo NE de la Ciudad Universitaria de Santafé de Bogotá, en zona aledaña al Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

La descripción de la ubicación del observatorio y de las áreas periféricas se encuentra en IGAC (1961), reproducida por Eslava (1990 a, b; 1991 a, c).

Los valores horarios de la humedad relativa del aire se determinaron con un (1) higrógrafo "Instrument Corporation" de registro diario, dos (2) higrógrafos "Fuess" de registro semanal y dos (2) psicrómetros "Fuess".

Para definir los valores medios horarios (Tabla 1) y los máximos y mínimos (Tabla 2) se utilizaron los valores horarios medidos en este sitio, durante el período 1941–1960, previa una verificación, homogeneización y proceso según los métodos meteorológicos y estadísticos más adecuados y comúnmente usados en estos casos.

Esos valores horarios también fueron verificados y homogeneizados, en su oportunidad, y se publicaron en las siguientes referencias: Servicio Meteorológico Nacional (1950), Ministerio de Agricultura — División de Investigación (1952–1958) e Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC) (1959–1961).

Tabla No. 1
 Humedad Relativa media horaria del aire, en Santafé de Bogotá, (%)

Hor	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Año	Rango
01	88	88	87	87	90	87	88	87	90	92	92	90	89	5
02	89	88	88	90	90	91	89	89	90	93	93	90	90	5
03	90	89	89	91	91	91	90	90	91	94	94	91	91	5
04	91	90	90	91	92	92	91	91	92	94	94	92	92	4
05	92	91	90	91	92	92	92	92	92	95	94	92	92	5
06	92	92	90	91	92	93	92	92	92	95	93	91	92	3
07	89	90	89	89	89	87	87	87	87	91	90	88	89	4
08	80	80	79	80	79	78	77	78	77	80	79	80	79	3
09	67	65	67	69	70	69	68	67	65	68	68	67	68	5
10	57	58	58	63	65	63	62	61	58	62	61	59	61	6
11	51	52	54	60	62	60	59	57	55	58	58	54	57	11
12	48	49	51	59	61	58	56	55	53	58	56	52	55	13
13	48	50	51	59	60	57	55	54	53	60	58	54	55	12
14	50	52	54	60	60	57	55	54	53	63	61	56	56	13
15	53	55	58	62	62	58	55	55	54	65	66	60	59	13
16	58	58	61	65	64	60	56	56	56	68	70	65	61	12
17	62	62	64	69	67	63	59	59	59	71	73	69	65	12
18	69	68	70	74	72	68	63	64	65	76	77	75	70	14
19	75	73	74	79	77	73	68	70	71	81	81	79	75	13
20	79	76	77	82	81	76	73	74	75	84	84	82	79	11
21	82	79	79	85	83	79	77	77	79	87	86	85	82	10
22	84	82	81	86	85	82	80	80	82	89	88	86	84	9
23	86	84	83	87	87	86	83	83	85	90	90	87	86	7
24	87	86	85	88	88	87	86	85	87	91	91	88	87	6
M	74	73	74	77	77	75	73	73	73	79	79	76	76	6

Tabla No. 2
 Valores máximos y mínimos de Humedad Relativa del aire en
 Santafé de Bogotá (%)

Mes	Máxima absoluta	Máxima media	Media	Mínima media	Mínima absoluta	Amplitud absoluta	Máxima media
Enero	100	97	74	26	14	86	71
Febrero	100	97	73	24	3	97	73
Marzo	100	96	74	28	13	87	68
Abril	100	97	77	37	27	73	60
Mayo	100	96	77	39	26	74	57
Junio	100	96	75	38	29	71	58
Julio	100	96	73	36	19	81	60
Agosto	100	96	73	36	27	73	60
Septiembre	100	97	73	33	23	77	64
Octubre	100	97	79	36	24	76	61
Noviembre	100	96	79	36	27	73	60
Diciembre	100	96	76	29	14	86	67
Año	100	96	76	33	3	97	63

Para el análisis de las características de la variación diurna de la humedad relativa, al igual que con lo sucedido con los valores horarios de presión y temperatura del aire (Eslava 1990 a, b; 1991 a, c, d), sólo se utilizó el período 1941 a 1960, puesto que durante ese intervalo el observatorio tuvo la ubicación más representativa y estable de toda su historia y porque, además, son los únicos datos publicados al respecto.

Del año 1961 a 1968, aun cuando el IGAC, entidad responsable del observatorio en esa época, continuó con las mediciones horarias, esos datos no se han publicado y la información horaria original no se ha verificado, procesado, ni homogeneizado y, por lo tanto, su utilización directa podría introducir serios errores en los análisis; del año 1969 en adelante el Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología, SCMh, (actualmente Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras, HIMAT), se encargó de la operación de dicha estación y suspendió la observación horaria; además, el crecimiento y desarrollo del IGAC, en cuyos predios aún funciona la estación, ocasionó que el Observatorio Meteorológico Nacional se trasladara al costado norte del edificio y se encuentre, actualmente, rodeado por un parqueadero asfaltado, lo que, obviamente, le ha quitado toda representatividad a la nueva información que suministra, desde el punto de vista de los análisis meteorológicos que tiendan a determinar el régimen normal y natural.

Variación anual de la humedad relativa del aire en Santafé de Bogotá

La humedad relativa, tanto en sus valores horarios, como los diarios, mensuales o anuales, es muy constante y sus valores muy consistentes con los de las precipitaciones y las temperaturas medias del aire.

La humedad relativa media del aire en Santafé de Bogotá, calculada con base en los 24 datos horarios por día, que a nivel anual es de 76%, presenta una variación a través del año (Fig. 1) que se caracteriza —al igual que la temperatura y la precipita-

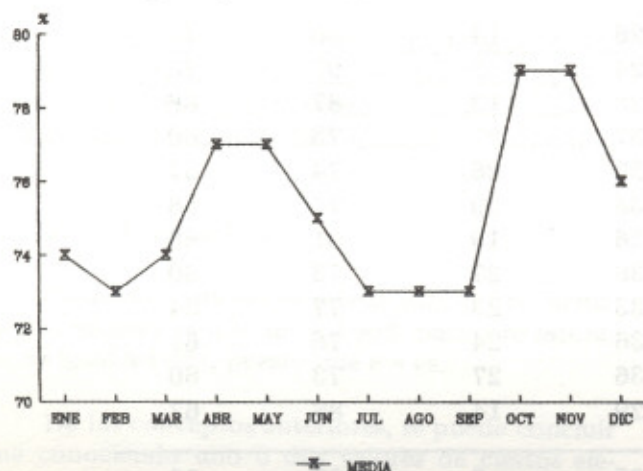


Figura 1. Variación interanual de la humedad relativa media del aire (%) en Santafé de Bogotá.

ción— por un régimen bimodal con dos máximos relativos (abril-mayo y octubre-noviembre) y dos mínimos relativos (enero-marzo y julio-septiembre).

Los períodos de abril-mayo y octubre-noviembre corresponden a las épocas más lluviosas y de mayor temperatura media; por su parte, los períodos de enero-marzo y julio-septiembre corresponden a épocas poco lluviosas y de menor temperatura media.

Los valores medios mensuales oscilan muy cerca del valor medio anual, en los casos extremos se alejan de éste en sólo $\pm 3\%$.

Los valores de humedad relativa mínima y mínima media (Fig. 2) y los de las amplitudes (diferencia entre los valores máximos y mínimos) máximas absolutas y medias (Fig. 3) presentan en términos generales, el mismo régimen bimodal de variación que los de la humedad relativa media; se modifican un poco la ocurrencia y extensión de los períodos.

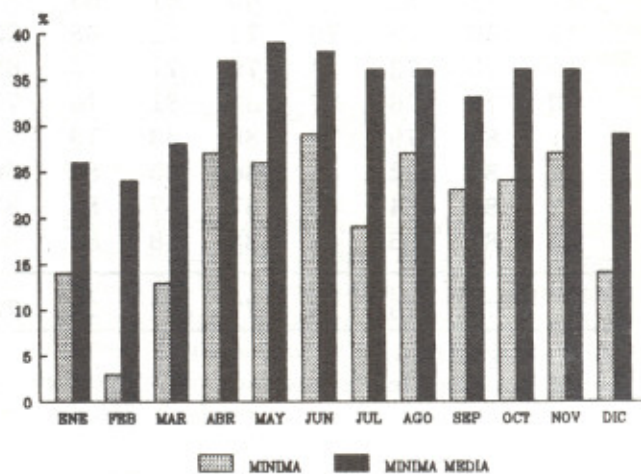


Figura 2. Variación interanual de los valores mínimos de humedad relativa del aire (%) en Santafé de Bogotá.

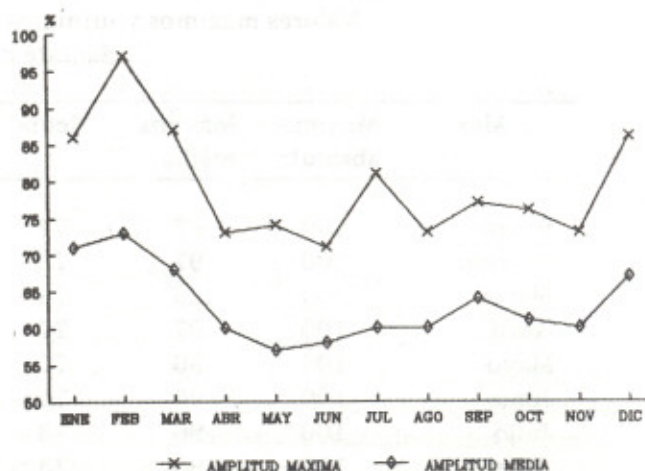


Figura 3. Variación interanual de los valores de las amplitudes máximas y medias de humedad relativa del aire (%) en Santafé de Bogotá.

Los valores máximos y máximos medios. (Fig. 4) no muestran ninguna tendencia ya que son mucho más estables a través del año, que los mínimos y medios; lo anterior se debe a que los máximos

absolutos son siempre 100% y los máximos medios se encuentran siempre cerca a la cota máxima de 100%. Una comparación gráfica entre los diferentes valores extremos se aprecia en la Fig. 5.

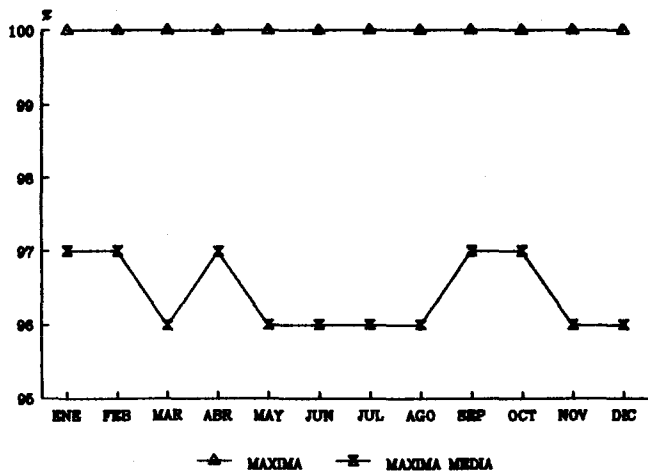


Figura 4. Variación interanual de los valores máximos de humedad relativa del aire (%) en Santafé de Bogotá.

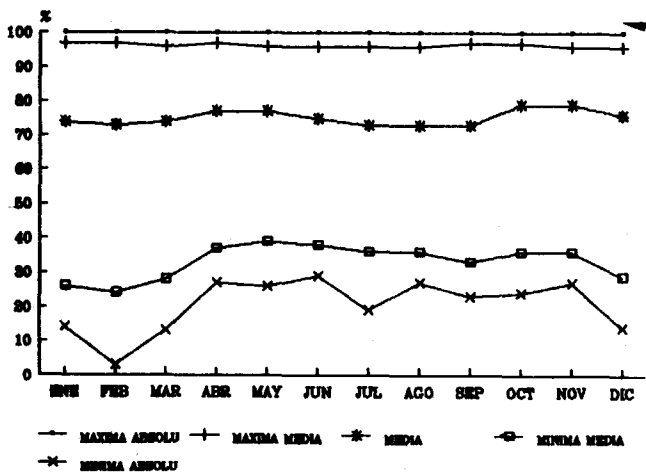


Figura 5. Variación interanual de los valores extremos y medios de humedad relativa del aire (%) en Santafé de Bogotá.

La época con mayores valores medios de humedad relativa corresponde al bimestre octubre-noviembre que presenta valores de 79%; el otro período de máxima relativa (abril-mayo) tiene un valor medio de 77%.

El valor más alto o máximo absoluto de 100%, ocurre aproximadamente en 63 días de cada 100 (cerca de 20 días por mes); valores máximos diarios entre 95% y 99% se dan en 32 días de cada 100 (cerca de 10 por mes) y sólo 5 días de cada 100 (aproximadamente uno por mes) se presentan valores máximos inferiores a 95%.

Por otra parte, el valor más bajo que se ha registrado tiene una probabilidad de ocurrencia de 5 años por cada 100; ese valor fue de 3% y se registró en febrero de 1948 coincidiendo con la más baja temperatura (-5.2°C) que se ha medido en Bogotá (véase Ministerio de Agricultura - División de Investigación: Anales del Observatorio Meteorológico Nacional 1948 e IGAC, 1961). La amplitud máxima diaria en ese mes fue de 97%, que a su vez se convierte en la máxima amplitud registrada; lo

anterior muestra las consecuencias de un fuerte calentamiento diurno y un fuerte enfriamiento nocturno ocasionado por la ausencia casi total de vapor de agua en el aire y, por lo mismo, la no existencia de efecto invernadero.

Los meses de enero y febrero (un poco menos agosto) se caracterizan por presentar las temperaturas horarias más altas y más bajas, poca nubosidad y precipitación, óptimo ingreso de radiación solar y muy fácil salida de la radiación terrestre (Eslava, 1991 a); simultáneamente, como se puede apreciar en las Tablas y Figuras, presentan muy altas y muy bajas humedades relativas horarias. Todas esas características hacen que esos meses sean los más aptos para que se presente el fenómeno de Heladas.

Variación diurna de la Humedad Relativa del aire

Un análisis de las características de la variación de la humedad relativa durante el día puede arrojar algunos resultados interesantes que posibiliten una utilización de los datos de humedad atmosférica más acorde con la importancia que este elemento representa.

La información señalada en la Tabla 1, comprueba la ocurrencia de sólo un período con un valor máximo y un período con un valor mínimo diario de humedad relativa en Santafé de Bogotá. Esa variación coincide en términos generales con lo que sucede en la región tropical, y es similar a la de la temperatura del aire, pero con la diferencia de que cuando ocurre la máxima temperatura se presenta la mínima humedad relativa y cuando se da la mínima temperatura sucede la máxima humedad relativa.

El máximo medio horario (96-97%) se registra, en general, durante todo el período entre las 04 HL (Hora Local) y las 06 HL o dentro de esas horas (excepto en noviembre que tiene lugar de las 03 HL a las 05 HL); a nivel anual este máximo sucede a las 05 HL y a las 06 HL, lo cual indica que el máximo valor ocurre, en promedio, alrededor de las 05:30 HL.

Los mínimos medios horarios (24-39%) ocurren dentro del período de las 12 HL a las 14 HL, excepto en octubre que ocurren a las 11 HL y a las 12 HL; por esto puede considerarse que el mínimo valor se presenta a las 12:30 HL o 13:30 HL según el mes; a nivel anual ocurre -en promedio- a las 12:30 HL y es de 33%.

De los datos consignados en la Tabla 2, se puede concluir que el rango o amplitud máxima absoluta de la variación de la humedad relativa oscila entre 97% y 71% y la amplitud media entre 73% y 57%.

Otras características generales que presenta la variación diurna de la humedad relativa en Bogotá, pueden resumirse así:

- antes de la salida del sol, las humedades relativas son altas (superiores a 90%) con, a su vez, los valores más altos en octubre y noviembre (meses lluviosos) y los más bajos en marzo (mes comparativamente seco);
- entre las 06 HL y las 12 HL, la humedad relativa desciende rápidamente y a las 12 HL ya es de 55%, en promedio anual, a esta hora los valores más bajos ocurren en enero (48%) y febrero (49%) y los más altos en mayo (60%);
- alrededor de las 13 HL, se presenta la mínima humedad relativa media horaria, en promedio anual de 55%, con el valor medio más bajo en enero (48%) y el más alto en mayo (60%);
- a partir de las 14 HL se presenta un ascenso gradual, un poco menos fuerte que el descenso de la mañana y hasta, aproximadamente, las 04 HL o 05 HL donde ocurre el máximo medio que se mantiene hasta las 06 HL;
- para una misma hora, el mes o los meses en los cuales se dan los valores máximos y mínimos cambia según sea el período del día: entre las 07 HL y 14 HL al máximo para cada hora ocurre en mayo y durante el resto del día ocurre en octubre y noviembre; los míni-

- dan entre las 09 HL y 15 HL, mayormente, en enero, entre las 01 HL y 06 HL en marzo y abril, entre las 16 HL y 01 HL y 07 HL a 09 HL en julio y/o agosto y/o septiembre;
- en la tarde (12 HL—19 HL) ocurren los mayores cambios durante el año; para cada una de esas horas el rango o amplitud anual es de 12% a 14% (diferencia, para cada hora, entre la más alta y la más baja humedad relativa media mensual); al contrario, las más bajas amplitudes (3%—6%) se dan en las horas de la madrugada y en la mañana (01 HL—10HL);
- a las 06 HL y 08 HL se presenta la menor variación durante el año de los valores de humedad relativa media horaria, y a las 14 HL ocurre la mayor variación.

Las Figuras 6 a 10 muestran, a manera de ejemplo, la variación diaria de la presión en los meses de solsticios (junio y diciembre) y equinoccios (marzo y septiembre) y a nivel anual; la Figura 11, por su parte, muestra la variación para cada hora de la amplitud de los valores medios mensuales.

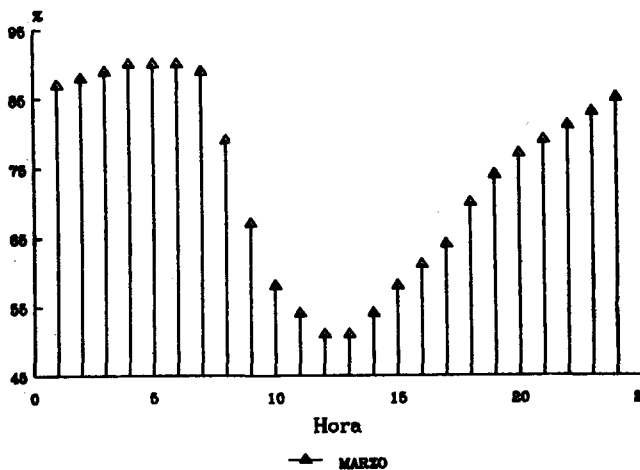


Figura 6. Variación horaria del valor medio de la humedad relativa del aire (%) en Santafé de Bogotá. Marzo.

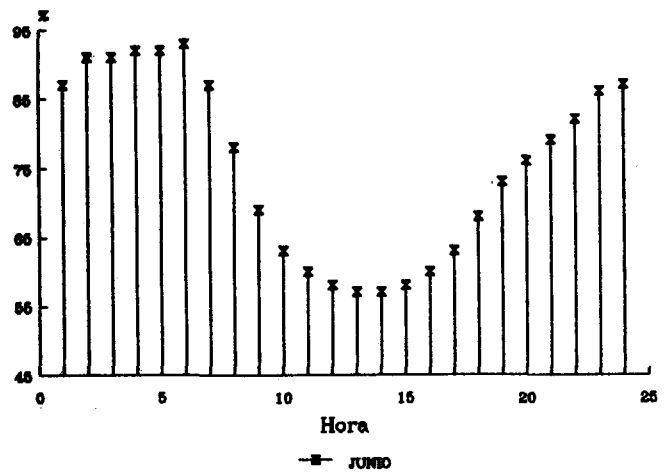


Figura 7. Variación horaria del valor medio de la humedad relativa del aire (%) en Santafé de Bogotá. Junio.

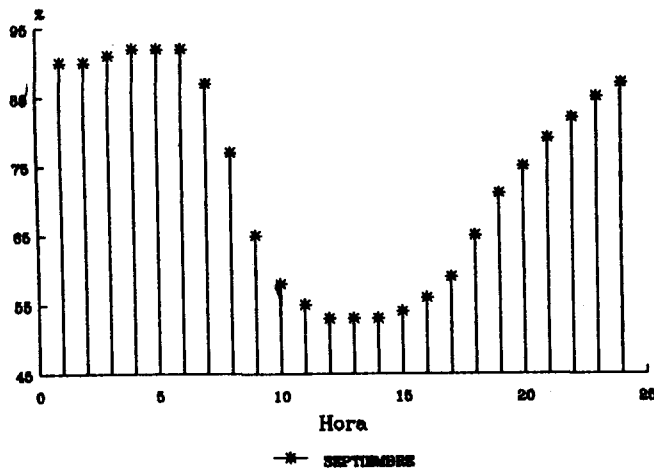


Figura 8. Variación horaria del valor medio de la humedad relativa del aire (%) en Santafé de Bogotá. Septiembre.

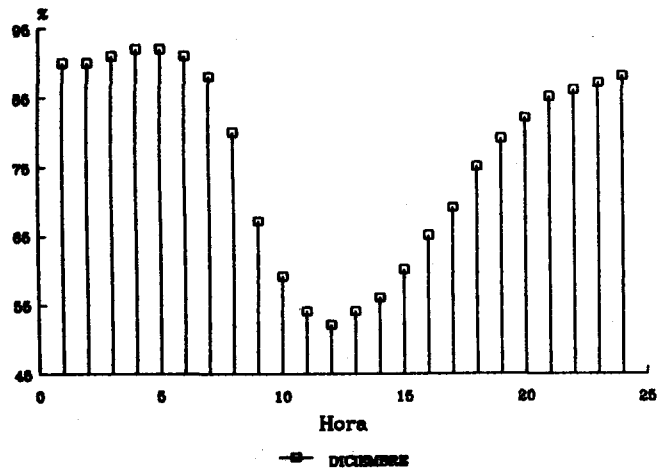


Figura 9. Variación horaria del valor medio de la humedad relativa del aire (%) en Santafé de Bogotá. Diciembre.

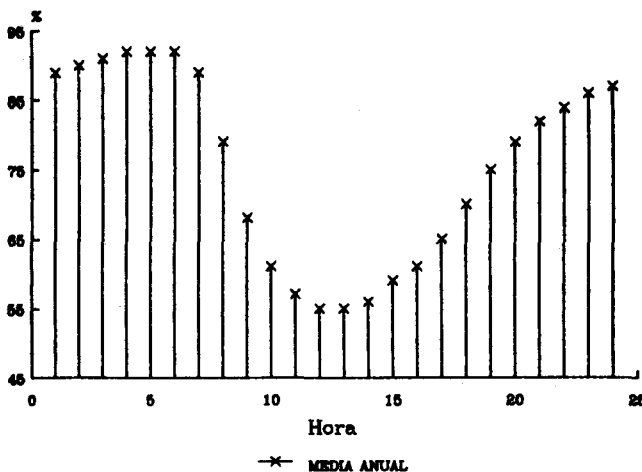


Figura 10. Variación horaria del valor medio anual de la humedad relativa del aire (%) en Santafé de Bogotá.

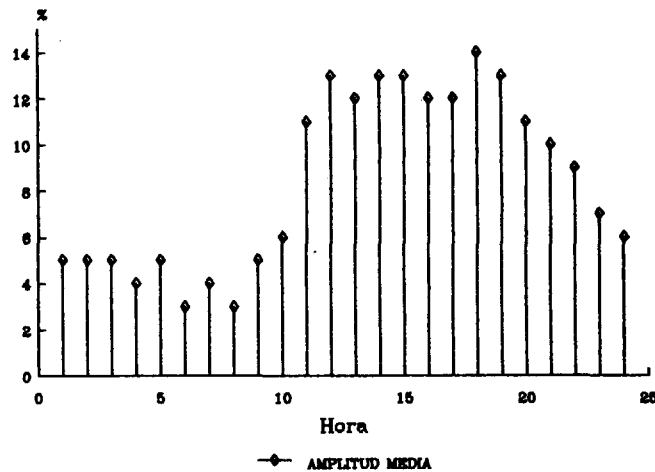


Figura 11. Variación horaria de la amplitud media de la humedad relativa del aire (%) en Santafé de Bogotá.

Por otra parte, al comparar el valor medio de la humedad relativa determinado con base en los 24 valores horarios (ecuación [1] de la Tabla 3) y los que se establecen aplicando tres de las fórmulas que se han usado y se usan frecuentemente (ecuaciones [2] a [4], Tabla 3) se encuentra que la fórmula que más se ajusta es la [4], actualmente fuera de uso por cuestiones operativas, seguida por la [3], la que actualmente está en uso generalizado (Fig. 12)

Al igual que en el trabajo sobre la variación temporal de la presión atmosférica (Eslava, 1991 e),

acá se ha considerado importante presentar gráficamente la posible relación entre la variación diurna de la humedad relativa, la presión, la temperatura del aire y la precipitación en Santafé de Bogotá (Fig. 13).

Con lo anterior, no se intenta desvirtuar ni comprobar algunas teorías que existen al respecto. Simplemente se ha considerado conveniente resaltar esas posibles relaciones con el propósito de que esos temas se aborden profunda y científicamente, puesto que cada uno de los elementos señalados,

Tabla 3
Valores medios diarios de Humedad Relativa del aire en Santafé de Bogotá (%), calculados con diferentes ecuaciones

Mes	Humedad Relativa			Media [4]	Desviaciones		
	[1]	[2]	[3]		[2] - [1]	[3] - [1]	[4] - [1]
Enero	74	69	71	72	-5	-3	-2
Febrero	73	69	71	72	-4	-2	-1
Marzo	74	70	72	72	-4	-2	-2
Abril	77	74	76	77	-3	-1	0
Mayo	77	74	75	77	-3	-2	0
Junio	75	71	72	73	-4	-3	-2
Julio	73	68	70	72	-5	-3	-1
Agosto	73	68	70	72	-5	-3	-1
Septiembre	73	68	70	72	-5	-3	-1
Octubre	79	76	77	78	-3	-2	-1
Noviembre	79	75	76	77	-4	-3	-2
Diciembre	76	72	74	75	-4	-2	-1
Año	76	71	73	74	-5	-3	-2

[1] $U = [\sum u_i]/24$ Valores calculados con datos Tabla 1

[2] $U = [U_{07} + U_{13} + U_{18}]/3$ Valores calculados con datos Tabla 1

[3] $U = [U_{07} + U_{13} + U_{19}]/3$ Valores calculados con datos Tabla 1

[4] $U = [U_{07} + U_{13} + U_{20}]/3$ Valores calculados con datos Tabla 1

U_i = Humedad relativa media horaria, $i = 1$ a 24;

$U_{07}, U_{13}, U_{18}, U_{19}, U_{20}$ = Humedad relativa media a las 07, 13, 18, 19 y 20 horas, respectivamente.

interactúa con todos los elementos meteorológicos restantes (señalados o no) en un amplio rango de escalas temporales y espaciales; de ahí la importancia de estudiar las interrelaciones entre ellos para poder definir sus cambios.

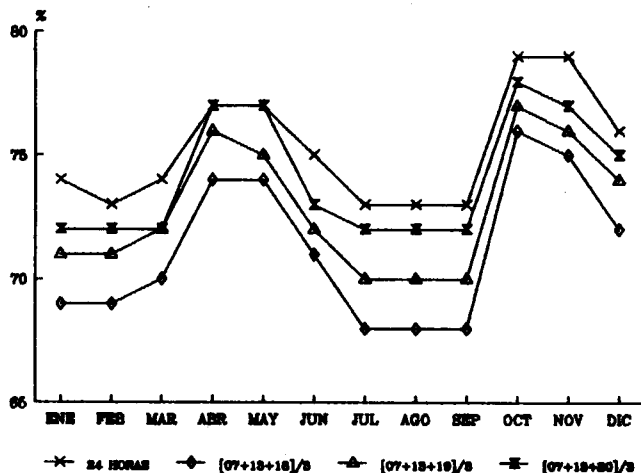


Figura 12. Comparación de valores medios diarios de humedad relativa del aire (%) en Santafé de Bogotá, calculados con diferentes fórmulas.

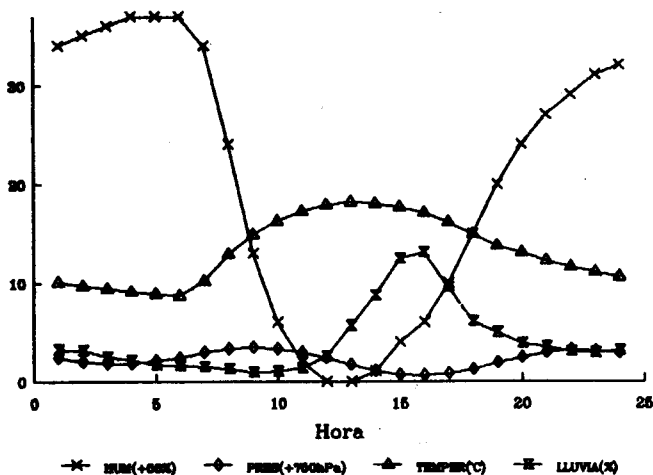


Figura 13. Comparación entre índices que muestran la variación diurna de la humedad relativa, la presión atmosférica, la temperatura del aire y la precipitación en Santafé de Bogotá.

Los datos utilizados para elaborar la Fig. 13 fueron tomados así:

- humedad relativa, (de este trabajo),
- presión atmosférica, de Eslava 1991 e,
- temperatura del aire, de Eslava 1991 a,
- precipitación, de Bernal (1972) y Montealegre (1979).

Conclusiones

El análisis de los datos de humedad relativa media horaria muestra que la variación diurna de ese elemento meteorológico en Santafé de Bogotá, a través del año, es bastante homogénea y presenta un sólo valor máximo y un sólo valor mínimo por día; esa variación coincide con lo que sucede en la zona tropical y más específicamente en la ecuatorial.

La diferencia entre el promedio mensual más alto y el más bajo no es muy grande (a nivel medio

anual es de 6%, con un máximo medio de 14%, en horas de la tarde, y un mínimo medio de 3%, al amanecer). Sin embargo, la diferencia entre la máxima y mínima humedad relativa en un día crítico puede ascender a 90% o más; regularmente es un valor cercano a 60%.

Los valores máximos diarios de humedad relativa del aire más comunes, oscilan entre 95% y 100%; en 95 días de cada 100 puede presentarse una humedad relativa con un valor igual o superior a 95% y sólo en 5 días de cada 100 ocurre un valor máximo diario que no supera el 95%.

El máximo se presenta alrededor de las 05:30 HL y el mínimo a las 13:00 HL.

El valor más bajo de humedad relativa que se ha registrado es de 3% en febrero de 1948, coincidiendo con la más baja temperatura (-5.2°C) que se ha medido en Santafé de Bogotá.

El valor medio diario de la humedad relativa, calculado con base en 24 observaciones diarias, es de 76% y cambia muy poco a través del año (entre 79% y 73%); presenta una variación interanual que se caracteriza —al igual que la temperatura y la precipitación— por un régimen bimodal con dos máximos relativos (abril-mayo y octubre-noviembre) y dos mínimos relativos (enero-marzo y julio-septiembre).

Aun cuando las humedades relativas medias mensuales son muy semejantes, se alcanza a detectar que en los meses más lluviosos (octubre y noviembre con 79%) la humedad relativa es más alta que en los meses menos lluviosos (abril y mayo con 77%) y, obviamente, los meses más secos presentan las menores humedades relativas (febrero y julio a septiembre, 73%).

Se comprueba que la ecuación utilizada actualmente para definir los valores medios diarios de humedad relativa, basada en el promedio aritmético de los valores de las 07, 13 y 19 HL, se ajusta bastante bien con la que utiliza el promedio de 24 observaciones horarias; sólo presenta una desviación media de -3% .

En términos generales la variación de la humedad relativa es inversa a la de la temperatura del aire y, por las relaciones que hay entre ellas, se puede decir que la humedad absoluta varía, casi como la temperatura del aire, en sentido inverso a la humedad relativa.

Bibliografía

- Bernal, G. 1972. Resumen estadístico de la lluvia en el Observatorio Meteorológico Nacional — Bogotá, durante el período 1941—1970. (Mscr). Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología, SCMh (actualmente Instituto Colombiano de Hidrología. Meteorología y Adecuación de Tierras, HIMAT). Bogotá.

- De Fina, A. & A. Ravelo, 1973. Climatología y fenología agrícolas.* 282 pp. Eudeba, Buenos Aires.
- Eslava, J. 1978. *Apuntes de Meteorología Básica.* 127 pp. (Mscr). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- . 1980. *Apuntes de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológica.* 100 pp. (Mscr). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- . 1990 a. *Características de la variación diurna de la temperatura del aire en Bogotá.* Memorias del XI Congreso Colombiano de Geografía. pp. 222-237. ACOGE, Montería.
- . 1990 b. *Características de la variación diurna de la presión atmosférica en Bogotá.* Memorias del XI Congreso Colombiano de Geografía. pp. 238-249. ACOGE, Montería.
- . 1990 c. *Modelos para determinar la presión atmosférica media mensual y anual en Colombia.* Colombia Geográfica. 16 (2): 7-92. IGAC, Bogotá.
- . 1991 a. *Variación temporal de la temperatura del aire en Bogotá.* Rev. Acad. Colomb. Cienc. 18 (68): 65-74. Bogotá.
- . 1991 b. *Variación espacial de la presión atmosférica en Colombia.* Colombia Geográfica. 17 (1): 5-39. IGAC, Bogotá.
- . 1991 c. *Variación temporal de la presión atmosférica en Colombia.* Colombia Geográfica. 17 (1): 41-109. IGAC, Bogotá.
- . 1991 d. *Características de la variación diurna de la Humedad Relativa del aire en Santafé de Bogotá.* Memorias del I Congreso Nacional de Ingeniería Geográfica. ACIG, Santafé de Bogotá.
- . 1991 e. *Variación temporal de la presión atmosférica en Bogotá.* Rev. Acad. Colomb. Cienc. 18 (69): 175-181. Bogotá.
- Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" (IGAC). 1959. *Anales del Observatorio Meteorológico Nacional – Ciudad Universitaria 1958.* 151 pp. IGAC, Bogotá.
- . 1960. *Anales del Observatorio Meteorológico Nacional – Ciudad Universitaria 1959.* 151 pp. IGAC, Bogotá.
- . 1961. *Anales del Observatorio Meteorológico Nacional – Ciudad Universitaria 1960.* 215 pp. IGAC, Bogotá.
- Lowry, W.P. 1973. *Compendio de apuntes de climatología para la formación de personal meteorológico de la Clase IV.* Publicación de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) No. 327. 168 pp. OMM, Ginebra.
- Mazzeo, N., M. Nicolini, C. Muller & R. Micheloni, 1972. *Algunos aspectos climatológicos de la contaminación atmosférica en el área de La Plata (Prov. de Buenos Aires).* Meteorológica, 3 (2-3) 98-109. Buenos Aires.
- Mertins, H. 1976. *Compendio de apuntes de meteorología marítima para la formación de personal meteorológico de la Clase III y Clase IV.* Publicación OMM No. 434, 240 pp. OMM, Ginebra.
- Monteclegre, J. 1979. *Análisis estadístico de algunos parámetros meteorológicos en Bogotá.* Publicación Aperiódica No. 44, HIMAT, 56 pp. Bogotá.
- Ministerio de Agricultura – División de Investigación. 1952–1958. *Anales del Observatorio Meteorológico Nacional – Ciudad Universitaria 1944 a 1957.* Bogotá.
- Peterssen, S. 1968. *Introducción a la Meteorología.* 429 pp. Espasa – Calpe, Madrid.
- Retallack, B.J. 1973 a. *Compendio de apuntes para la formación de personal meteorológico de la Clase IV, Vol. I, Ciencias de la Tierra.* Publicación OMM No. 266. 219 pp. OMM, Ginebra.
- . 1973 b. *Compendio de apuntes para la formación de personal meteorológico de la Clase IV, Vol. II, Meteorología.* Publicación OMM No. 266. 357 pp. OMM, Ginebra.
- Riehl, H. 1954. *Tropical Meteorology.* 392 pp. MacGraw-Hill, New York.
- . 1979. *Climate and Weather in the Tropics.* 612 pp. Academic Press, London.
- Servicio Meteorológico Nacional. 1950. *Anales del Observatorio Meteorológico Nacional – Ciudad Universitaria 1941 a 1943* 226 pp. Bogotá.