
PERFIL ALTITUDINAL DE LA TEMPERATURA MEDIA DEL AIRE EN COLOMBIA

JESUS ESLAVA

Profesor Titular

Depto de Geociencias-Facultad de Ciencias-Universidad Nacional de Colombia

Eslava, J.: Perfil altitudinal de la temperatura media del aire en Colombia. Geofís. Colomb. 1:37-52, 1992. ISSN 0121-2974

RESUMEN

Se establecen ecuaciones que relacionan la temperatura media anual del aire en Colombia con la altitud. Por medio de ellas se posibilita estimar los valores de esa temperatura en cualquier lugar, con el requisito de conocer únicamente el dato de su altitud y ubicación regional; también se determinan los gradientes altitudinales que, a su vez, posibilitan conocer cualquier otro dato de temperatura del aire, conociendo los datos de otro sitio o estación base. Las ecuaciones muestran que los valores a nivel del mar y la variación altitudinal de la temperatura del aire en Colombia no son únicos, sino que cambian según las condiciones físicas de cada región o subregión y se diferencian sustancialmente de los valores propuestos con anterioridad por otros autores.

ABSTRACT

Equations that establish relations between annual average temperature and altitude are defined for Colombia. These equations allow to estimate temperature values at any place, just by knowing altitude and regional location data. It is also possible to determine altitudinal gradients, which in turn allows to know the temperature of a given place, from the data for a base. The defined equations show that temperature is not a unique function of altitudinal changes, but it also depends on specific physical conditions for each region or subregion.

1. INTRODUCCION

Con base en los valores medios anuales determinados para 338 estaciones meteorológicas de superficie que han funcionado durante el periodo 1923-1990 y utilizando métodos estadísticos, se determinan ecuaciones que relacionan esa temperatura y la altitud en Colombia.

Las ecuaciones obtenidas permiten estimar los valores de temperatura media anual en cualquier lugar de Colombia con el requisito de conocer únicamente el dato de su altitud y su ubicación geográfica (región o subregión); además, con base en los gradientes y los datos de una estación base, se pueden definir otros datos de temperatura del aire.

Al igual que como se ha mencionado en otras oportunidades (p.ej., Eslava, 1988), el creciente

interés en la definición de los mecanismos del clima, sus variaciones y fluctuaciones y su predicción, ha incrementado los estudios que tienden a definir la estructura de la atmósfera y la variabilidad espacial y temporal de los componentes atmosféricos del sistema climático; el conocimiento de esa estructura y variabilidad es requisito indispensable para el óptimo desarrollo de modelos atmosféricos (físicos, dinámicos o estadísticos) o del sistema terrestre. Ese conocimiento se puede lograr mediante el análisis de la información básica contenida en las series temporales de los elementos climáticos el que, a su vez, posibilita probar la simulación de los procesos atmosféricos a partir de los resultados obtenidos usando modelos climáticos.

En Colombia se han elaborado varios estudios tendientes a describir las características básicas

de elementos climáticos como la temperatura, precipitación, evaporación e insolación; sin embargo, los trabajos han llegado a sólo una o dos relaciones de generalización para toda Colombia y de tipo gráfico, no matemático.

Este trabajo constituye el primer aporte al conocimiento del régimen de la temperatura del aire en Colombia en el cual se intenta ofrecer una base matemática para conocer la variación altitudinal de sus valores medios anuales (perfil altitudinal) con el fin de posibilitar la estimación de esos y cualquier otro valor de la temperatura donde no se tenga información instrumental.

Se parte de generalizaciones ya conocidas, como es que la temperatura del aire varía inversamente y de manera lineal en relación con la altitud y se llega a establecer ecuaciones de regresión que muestran esa relación.

A fin de alcanzar ese objetivo y teniendo en cuenta que en la práctica no existen datos climáticos perfectos, se procedió a una verificación preliminar de todos y cada uno de los datos disponibles de temperatura media mensual y anual, con el propósito de descubrir errores (sistemáticos o no), para luego proceder a su corrección o eliminación. Una vez depuradas las series de datos extractadas de diferentes fuentes, se formularon modelos matemáticos para establecer relaciones entre los datos de las estaciones meteorológicas y el factor climático de la altitud, para todo Colombia y para sus diferentes regiones y subregiones.

2. INFORMACION UTILIZADA

Para efectuar el análisis de los datos de temperatura del aire, primero se estableció una relación de los diferentes trabajos en los cuales se publicó información sobre ese elemento climático, posteriormente se recopiló la información referente a temperaturas medias mensuales y anuales publicada en las siguientes referencias: **Cortés** (1989) 245 estaciones; **Stanescu & Díaz** (1971) 209 estaciones; Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras-**HIMAT** (1981, 1984, 1985a) 74, 72 y 29 estaciones; Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología-**SCMH** (1973) 54 estaciones; **Eslava** (1992) 42 estaciones.

Los datos de altitud de las diferentes estaciones utilizadas y su ubicación geográfica fueron definidos con base en la información aportada por cada uno de los autores mencionados, esos datos fueron contrastados y corregidos con los que aparecen en las siguientes publicaciones: **Instituto Geográfico "Agustín Codazzi"-IGAC** (1960), **Bernal** (1978), **Federación Nacional de Cafeteros-FNC** (1941-1989) e **HIMAT** (1985b). Los procesos de verificación, depuración, homogeneización, etc., de la información original utilizada para definir los valores medios, fueron realizados por cada uno de los autores mencionados de los cuales se recopiló la información. En este trabajo se efectuó una revisión y verificación de todos y cada uno de los datos medios mensuales y anuales disponibles, con el propósito de descubrir

errores de tipo numérico, de lectura, de transcripción, etc.; luego se procedió a su comprobación, corrección o eliminación, según fuera necesario.

La comparación, verificación y revisión de la información aportada por los diferentes autores (725 series de datos) permitió seleccionar finalmente los datos de temperatura media anual sobre 339 sitios diferentes entre sí (Tabla 1), después del análisis de la calidad de la información y de asegurar que dos o más de ellas no pertenecen a un mismo sitio y que no tienen involucrados errores sistemáticos, datos extremos, combinaciones excepcionales o causantes de heterogeneidades.

Las series de datos muy cortas provenientes de estaciones meteorológicas ubicadas en áreas geográficas críticas, se utilizaron para poder estimar la situación en esas áreas; de todas formas, esos datos se consideran satisfactorios a nivel medio anual ya que los resultados de las estimaciones se ajustaron al análisis espacial general.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

3.1 Control de calidad de los datos

Con base en los valores de temperatura media anual del aire, de las 339 estaciones meteorológicas seleccionadas, se comprobó la hipótesis de que de los posibles modelos de regresión entre la temperatura media anual (Y en °C) y la altitud (X en m), el más adecuado corresponde a uno de regresión lineal simple

$$Y = a + bX \quad [1]$$

ya que los resultados de los análisis de los otros modelos (logarítmico, potencial, exponencial) demostraron que los modelos de regresión lineal presentan los más altos coeficientes de correlación y determinación, el más bajo error típico de estimación, el más bajo coeficiente de variabilidad y los menores residuos entre la temperatura determinada con mediciones y la calculada a partir de los modelos.

Un control de calidad aplicado con el fin de encontrar errores en los valores de temperatura o altitudes incorrectas (similar a lo propuesto por **Eslava**, 1988), consistió en los siguientes pasos:

- encontrar la ecuación (recta de regresión de mínimos cuadrados) que mejor represente la relación entre la temperatura media anual del aire (Y en °C) y la altitud (X en m),
- calcular para cada estación el valor de la temperatura (Tc), con base en esa ecuación de regresión,
- encontrar los residuos (T-Tc) entre el valor de la temperatura medido (T) y el calculado (Tc),
- encontrar los residuos que no cumplan con la siguiente condición:

$$|T - T_c| < 2 S_{y,x} \quad [2]$$

$S_{y,x}$ = error típico de estimación de Y en X

- rectificar, si ello es posible, el valor de la temperatura y la altitud de la estación cuyo

residuo no cumpla con lo planteado en d) y sea el más alto,
 f) aplicar nuevamente todos los pasos hasta obtener que todos los residuos cumplan lo siguiente:

$$|T - T_c| < 3 S_{y,x} \quad [3]$$

g) suprimir la estación(es) que presente(n) residuo(s) fuera del límite dado por la ecuación [3].

El paso e), rectificación de las temperaturas y altitudes se realizó contrastando nuevamente a las fuentes originales y, además, en el caso de las altitudes se efectuó con base en la información que aparece en las referencias ya citadas de IGAC (1960), Bernal (1978), FNC (1941-1989) e HIMAT (1985b). Las altitudes sólo se modificaron (en 15 casos) cuando se comprobó que el nuevo dato, además de tener un soporte bibliográfico adecuado, mejoraba las condiciones del modelo, en general, y el residuo para el sitio específico.

3.2 Determinación del modelo de correlación para toda Colombia

Después de efectuar veinte veces el ciclo de control de calidad, se llegó, con base en los datos de 338 estaciones (sólo se suprimió una, código 5201502), a la siguiente ecuación o recta de regresión de mínimos cuadrados:

$$Y = 28,1 - 0,00553X \quad [4]$$

Y = Temperatura media anual del aire en °C
 X = Altitud en m

Esta ecuación esquematizada en la Fig.1 (los residuos en las Figs.2 a 4), es la que mejor representa, para toda Colombia, la relación entre las dos variables (temperatura-altitud) puesto que es la que mejores valores presenta en todo sentido: los más altos coeficiente de determinación y de correlación (0,95766 y 0,9786), los menores errores típicos de estimación (1.0926) y los menores residuos (-2.9 a 2.6) (Tablas 2 y 3).

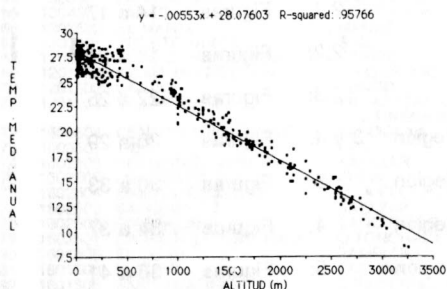


Figura 1. Modelo de regresión entre la temperatura media anual (Y en °C) y la altitud (X en m). COLOMBIA.

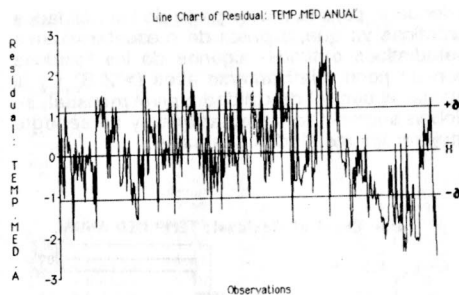


Figura 2. Variación de los residuos; $\delta =$ Desviación típica y $\delta x =$ error típico. COLOMBIA

Z Score of Residual: TEMP.MED.ANUAL

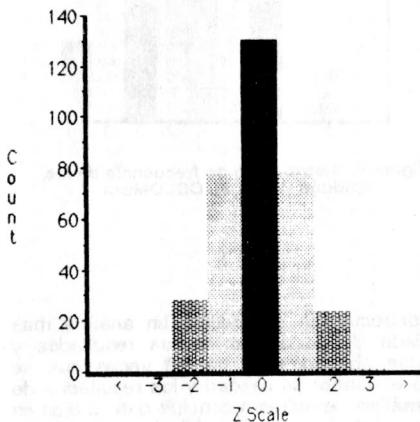


Figura 3. Distribución de las variables normalizadas de los residuos. COLOMBIA

El modelo de regresión seleccionado (ecuación [4], Fig.1) muestra el perfil altitudinal de la temperatura media anual en superficie para Colombia, permite determinar con una relativa buena aproximación los valores de temperatura para cualquier sitio ubicado en Colombia a condición de conocer sólo su altitud. Adicionalmente, permite establecer que el gradiente vertical de la temperatura media (5,53°C/km) es diferente del que tradicionalmente ha sido aceptado (6 a 6,5°C/km; p.ej.: ver Cortés (1989), Stanescu & Díaz (1971)), pero coincidente con el insinuado por Trojer (1958).

3.3 Regionalización y modelos definidos

No obstante lo señalado en los párrafos anteriores, se consideró que el modelo mencionado podría no ser lo suficientemente

adecuado para la mayor parte de las utilidades prácticas ya que, a pesar de presentar valores estadísticos óptimos, algunos de los residuos son un poco relativamente altos ($> 2 S_{y,x}$) y al aplicar el control de calidad a nivel mensual, se deben suprimir varias estaciones y no se logra mejorar los resultados generales.

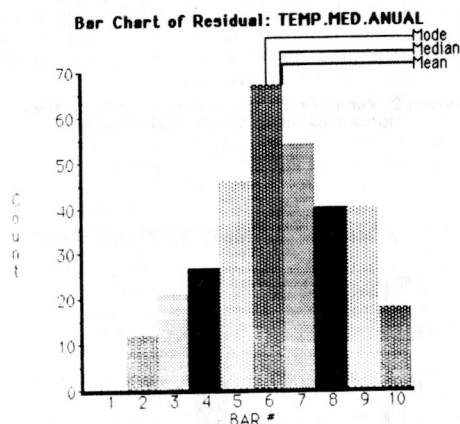


Figura 4. Distribución de frecuencia de los residuos (Tabla 3), COLOMBIA.

En consecuencia se efectuó un análisis más detallado de cada uno de los resultados y residuos obtenidos en las 20 veces que se aplicó el control de calidad y los resultados de ese análisis permitieron concluir que, si bien es cierto que la temperatura del aire depende en gran medida de la altitud y que esa dependencia predomina sobre los demás factores climáticos, existen otros factores que, aún cuando en menor forma, influyen y es necesario tenerlos en cuenta para así lograr resultados más óptimos.

Un análisis detallado de la variación espacial mensual y anual de la temperatura y de los residuos ya mencionados, permitió delimitar el territorio colombiano en diferentes regiones (tipificadas por la latitud, longitud, configuración del relieve, posición de las cordilleras, valles interandinos, serranías, llanuras, circulación general de la atmósfera, distribución de otros elementos climáticos y otras características del conjunto fisiográfico natural).

Diferentes regionalizaciones dieron lugar a modelos de regresión, coeficientes de determinación y residuos diferentes. El afinamiento paulatino posibilitó alcanzar la regionalización óptima que se muestra en la Fig.5 y que coincide con los conceptos de Región Natural y Cuenca Hidrográfica.

Quedó así, Colombia, caracterizada (para estos efectos) por siete Regiones y subregiones:

REGION 1: Región del Caribe.

REGION 2: Región Andina.

2.1: Región Andina-Catatumbo.

2.2: Región Andina-Cuenca del río Magdalena.

2.3: Región Andina-Cuenca del río Cauca.

REGION 3: Región de la Orinoquia.

REGION 4: Región de la Amazonia.

REGION 5: Región del Pacífico (Cuenca Hidrográfica y Región natural del Pacífico).

Una vez definido lo anterior, se aplicó el ciclo de control de calidad, especificado en la sección 3.1, con los datos de las estaciones que conforman cada región o subregión, se establecieron los modelos de regresión lineal (Tabla 2) y se comprobó la bondad de la regionalización:

los residuos dieron inferiores a $3S_{y,x}$ y en términos generales son inferiores a $2S_{y,x}$, con algunas pocas excepciones (Tabla 2).

Los residuos pasaron de oscilar entre -3°C y $+3^{\circ}\text{C}$ para el modelo que cubre toda Colombia, a oscilar entre -2°C y $+2^{\circ}\text{C}$ para los modelos regionales o subregionales y, en algunas de ellas, entre $-1,5^{\circ}$ y $1,0^{\circ}\text{C}$ (Tabla 3).

El análisis de las características de los modelos y sus residuos se presenta gráficamente en las figuras que se señalan a continuación:

Región 1: Figuras 6 a 9

Región 2: Figuras 10 a 13

2.1: Figuras 14 a 17

2.2: Figuras 18 a 21

2.3: Figuras 22 a 25

Región 3 y 4: Figuras 26 a 29

Región 3: Figuras 30 a 33

Región 4: Figuras 34 a 37

Región 5: Figuras 38 a 41

TABLA 1 (continuación). Estaciones meteorológicas con datos de temperatura media del aire en Colombia

Nº	CODIGO	NOMBRE ESTACION	SUBCUENCA	DPTO	MUNICIPIO	LAT°N	LONG°W	ALTI	TEMP	PERIODO
269	3505501	EL JAPON	HUMEA	CUND	MEDINA	04°23'	73°18'	280	26,0	1968-85
270	3503503	SALINAS DE UPIN	GUATIQUEA	META	RESTREPO	04°18'	73°34'	850	23,3	1960-
271	3503502	APTO. VANGUARDIA	GUATIQUEA	META	VILLAVICENCIO	04°10'	73°37'	423	25,7	1924-
272	3502503	PACHAQUIARO	NEGRO	META	PUERTO LOPEZ	04°04'	73°11'	200	26,2	1968-
273	3502502	LA LIBERTAD	NEGRO	META	VILLAVICENCIO	04°03'	73°29'	336	25,6	1968-
274	3501502	GRANJA IRACA	CAÑO CAMOJA	META	SAN MARTIN	03°41'	73°42'	400	25,1	1960-
275	3501501	LA NUTRIA	CAÑO GUAROA	META	CASTILLA	03°48'	73°26'	230	27,2	1968-75
276	3401501	LAS GAVIOTAS	CAÑO URIMICA	VICH	SN J DE OCUNE	04°33'	70°55'	171	26,0	1967-
277	3306501	JAMURY	VICHADA	VICH	PTO CARRENO	04°22'	69°10'	154	25,6	1976-
278	3303501	CARIMAGUA	MUCO	VICH	PTO GAITAN	04°34'	71°20'	200	26,1	1972-
279	3207503	VISTAHERMOSA	GUEJAR	META	VISTAHERMOSA	03°02'	73°44'	325	25,8	1969-
280	3207502	PUERTO LIMON	ARIARI	META	FUENTE DE ORO	03°22'	73°30'	255	25,6	1968-
281	3207501	LOS NARANJOS	ARIARI	META	GRANADA	03°28'	73°43'	220	25,7	1968-76
282	3204501	BOCAS DEL ARIARI	GUAYABERO	GUAV	S J DE GUAVIA	02°35'	72°47'	260	25,6	1967-
283	3203501	LA MACARENA	GUAYABERO	META	LA MACARENA	02°03'	73°56'	350	25,4	1967-
284	3109501	PUERTO INIRIDA	INIRIDA	GUAI	PTO INIRIDA	03°50'	67°55'	100	26,2	1972-
4. AMAZONIA										
285	4206501	APTO. MITU	VAUPES	VAUP	MITU	01°16'	70°14'	207	25,8	1948-
286	4401501	VILLAGARZON	MOCOCA	PUTM	VILLA AMAZONI	01°00'	76°36'	440	24,6	1964-
287	4401503	VALENCIA	CAQUETA	CAUC	SAN SEBASTIAN	01°57'	76°37'	2.900	10,6	1971-
288	4403501	CENTRO ADM. FLORENCIA	HACHA	CAQU	FLORENCIA	01°37'	75°36'	280	25,1	1969-84
289	4403502	APTO. CAPITOLIO	HACHA	CAQU	FLORENCIA	01°36'	75°32'	244	25,0	1969-
290	4404501	SAN JOSE DE FRAGUA	FRAGUA	CAQU	BELEN DE LOS A	01°18'	76°00'	320	24,7	1972-
291	4404502	VALPARAISO	PESCADO	CAQU	FLORENCIA	01°15'	75°36'	200	25,8	1967-
292	4404503	LA MONO	ORTEGUAJAZA	CAQU	FLORENCIA	00°45'	75°13'	219	25,1	1971-
293	4405501	TRES ESQUINAS	CAQUAN	CAQU	S VICENTE D C	02°09'	74°48'	300	24,6	1963-
294	4601501	SAN VICENTE D CAGUAN	GUAYAS	CAQU	DONCELLO	01°37'	75°08'	270	24,9	1967-
295	4603501	MAGUARE	GUAYAS	CAQU	PUERTO RICO	01°58'	75°09'	400	25,5	1972-
297	4701501	LA MENTA	PUTUMAYO	PUTM	MOCOCA	01°11'	76°56'	2.067	15,6	1968-82
298	4701503	SIBUNDOY	PUTUMAYO	PUTM	SIBUNDOY	01°17'	76°55'	2.100	16,1	1957-
299	4701502	PUERTO ASIS	PUTUMAYO	PUTM	PUERTO ASIS	00°30'	76°30'	254	25,4	1965-
300	4801501	APTO.VASQUEZ COBO	AMAZONAS	AMAZ	LETICIA	-04°09'	69°57'	84	25,9	1958-
5. REGION DEL PACIFICO										
301	1112501	LA TERESITA	TRUANDO	CHOC	RIOSUCIO	7°00'	77°30'	50	26,0	1972-
302	1111502	CANASGORDAS	CANAS GORDAS	ANTI	CANASGORDA	6°44'	76°02'	1.200	21,6	1966-73
303	1110501	MURINDO	MURINDO	ANTI	MURINDO	6°58'	76°45'	23	26,6	1972-81
304	1108501	LA LOMA	BOJAYA	CHOC	BOJAYA	6°32'	76°59'	20	26,2	1980-
305	1104501	APTO.EL CARAÑO-QUIBDO	ATRATO	CHOC	QUIBDO	5°43'	76°37'	53	26,2	1947-
306	1103501	LLORO	ATRATO	CHOC	LLORO	5°30'	76°34'	90	25,8	1983-
307	1102501	LA MANSA	ATRATO	CHOC	C DE ATRATO	5°53'	76°07'	2.100	16,6	1973-
308	5601501	PANAMERICANA	PACIFICO	CHOC	BAHIA SOLANO	6°14'	77°24'	4	25,6	1963-
309	5408501	NOANAMA	SAN JUAN	CHOC	ISTMINA	4°40'	76°56'	40	25,8	1973-
310	5407504	LA MISION	SAN JUAN	VALL	B/VENTURA	4°11'	77°17'	5	25,6	1968-
311	5407502	BAJO CALIMA	CALIMA	VALL	B/VENTURA	4°00'	76°57'	50	25,8	1931-
312	5403501	ARGELIA-EL RECREO	LAS VUELTAS	VALL	ARGELIA	4°42'	76°11'	1.600	19,8	1972-
313	5403501	SIPI	TAPARO	CHOC	ISTMINA	4°40'	76°39'	110	26,0	1973-84
314	5402504	ANDAGOYA	CONDOTO	CHOC	CONDOTO	5°08'	76°43'	35	26,8	1962-75
315	5402502	APTO.CONDOTO	CONDOTO	CHOC	CONDOTO	5°06'	76°41'	66	25,6	1971-
316	5402501	SAN JOSE DE PALMAR	INGARA	CHOC	S JOSE PALMA	4°57'	76°17'	1.000	20,6	1973-
317	5311504	LA CUMBRE	CAUCA	VALL	LA CUMBRE	3°38'	76°35'	1.580	18,5	1966-68
318	5311503	JULIO FERN-RESTREPO	GRANDE	VALL	RESTREPO	3°49'	76°31'	1.360	19,7	1962-
319	5311502	COLPUERTOS	PACIFICO	VALL	B/VENTURA	3°53'	77°04'	10	25,9	1969-
320	5311501	APTO.BUENAVENTURA	PACIFICO	VALL	B/VENTURA	3°51'	76°58'	14	25,8	1946-
321	5304503	APTO.GUAPI	PACIFICO	CAUC	GUAPI	2°35'	77°53'	10	25,9	1978-
322	5304501	BONANZA	GUAPI	CAUC	GUAPI	2°37'	77°49'	10	25,8	1966-
323	5206502	BARBACOAS	TELEMBI	NARI	BARBACOAS	1°40'	78°08'	32	25,8	1972-
324	5205507	OSPINA PEREZ	GUAITARA	NARI	CONSACA	1°16'	77°28'	1.700	18,9	1951-
325	5205503	BOMBONA	GUAITARA	NARI	CONSACA	1°11'	77°28'	1.493	19,4	1968-
326	5205502	EL PARAISO	GUAITARA	NARI	TUQUERRES	1°05'	77°37'	3.120	10,8	1968-
327	5205501	APTO.SAN LUIS	GUAITARA	NARI	IPIALES	0°49'	77°38'	2.962	11,2	1941-
328	5204502	APTO.ANTONIO NARIÑO	PASTO	NARI	PASTO	1°25'	77°16'	1.796	18,9	1957-
329	5204501	OBONUCO	PASTO	NARI	PASTO	1°14'	77°16'	2.710	13,3	1953-
330	5204013	LICEO LA MERCED	PASTO	NARI	PASTO	1°13'	77°17'	2.380	15,3	1941-66
331	5202505	LA SIERRA	GUACHICONO	CAUC	LA SIERRA	2°10'	76°46'	1.870	17,7	1971-
332	5202503	MERCADERES 2	SAMBINGO	CAUC	MERCADERES	1°46'	77°10'	1.174	22,3	1971-
333	5202502	LOS MILAGROS	SAMBINGO	CAUC	BOLIVAR	1°44'	76°54'	2.300	15,8	1972-
334	5202501	BOLIVAR	SAMBINGO	CAUC	BOLIVAR	1°53'	76°58'	1.510	21,0	1971-
335	5201503	EL TAMBO	SUCIO	CAUC	EL TAMBO	2°30'	76°49'	1.720	18,1	1963-
336	5201502	LA FONDA	PATIA	CAUC	EL BORDO	2°09'	77°03'	580	26,6	1974-
337	5103501	APTO.LA FLORIDA	CAUNAPI	NARI	TUMACO	1°49'	78°45'	3	26,2	1948-
338	5102502	RICAUARTE	GUIZA	NARI	RICAUARTE	1°12'	77°59'	1.381	19,3	1968-
339	5102501	GRANJA EL MIRA	CAUNAPI	NARI	TUMACO	1°34'	78°41'	16	25,4	1968-

TABLA 2. Características de los modelos de regresión (Recta de regresión de mínimos cuadrados) entre la temperatura media anual (Y en °C) y la altitud (X en m)

REGION	ECUACION DE REGRESION	COEFICIENTE DETERMINACION	COEFICIENTE VARIABILIDAD	ERROR TIPICO ESTIMACION	GRADIENTE °C/Km	TEMP A 0 m	RESIDUOS MIN	RESIDUOS MAX
COLOMBIA	Y=28,1-0,00553X	0,95766	4,80291	1,09260	5,53	28,1	-2,86	2,59
1. CARIBE	Y=28,1-0,00589X	0,85912	3,01927	0,82362	5,89	28,1	-1,54	1,55
2. ANDINA	Y=29,3-0,00613X	0,97580	3,94834	0,83064	6,13	29,3	-1,88	1,90
2.1 CATATUMBO	Y=28,4-0,00606X	0,96344	3,14692	0,78240	6,06	28,4	-1,28	1,05
2.2 MAGDALENA	Y=29,6-0,00624X	0,98125	3,91322	0,81451	6,24	29,6	-1,81	1,60
2.3 CAUCA	Y=29,4-0,00617X	0,96773	3,67909	0,75263	6,17	29,4	-1,62	1,96
3 Y 4. ORIN-AMAZ	Y=27,1-0,00544X	0,98122	2,92275	0,68522	5,44	27,1	-1,36	1,19
3. ORINOQUIA	Y=27,4-0,00551X	0,98535	2,71371	0,64245	5,51	27,4	-1,06	1,20
4. AMAZONIA	Y=26,5-0,00529	0,99008	2,05499	0,47380	5,29	26,5	-1,09	0,67
5. PACIFICO	Y=26,2-0,00462	0,98093	3,00984	0,65836	4,62	26,2	-1,77	1,32

TABLA 3. Distribución de frecuencia de los residuos

REGION	-3 a -2,5 # %	-2,5 a -2 # %	-2 a -1,5 # %	-1,5 a -1 # %	-1 a -0,5 # %	-0,5 a 0 # %	0 a 0,5 # %	0,5 a 1 # %	1 a 1,5 # %	1,5 a 2 # %
COLOMBIA	BARRA 1 2 6,0	BARRA 2 10 3,0	BARRA 3 18 5,3	BARRA 4 40 11,8	BARRA 5 40 11,8	BARRA 6 50 14,8	BARRA 7 71 21,0	BARRA 8 46 13,6	BARRA 9 27 8,0	BARRA 10 21 6,2
1. CARIBE			BARRA 1 2 2,8	BARRA 2 9 12,7	BARRA 3 10 14,1	BARRA 4 14 19,7	BARRA 5 12 16,9	BARRA 6 16 22,5	BARRA 7 6 8,5	BARRA 8 2 2,8
2. ANDINA			6 3,2	19 10,2	27 14,5	35 18,8	49 26,3	32 17,2	9 4,8	9 4,8
2.1 CATATUMBO				2 12,5	3 18,8	1 6,2	6 37,5	1 6,2		
2.2 MAGDALENA			3 2,9	10 9,5	19 18,1	18 17,1	24 22,9	19 18,1	10 9,5	2 1,9
2.3 CAUCA			3 4,6	4 6,2	7 10,8	19 29,2	16 24,6	12 18,5	1 1,5	3 4,6
3 y 4. ORINOQUIA Y AMAZONIA				4 9,3	5 11,6	11 25,6	10 23,3	2 4,7		
3. ORINOQUIA				1 3,7	5 18,5	6 22,2	11 40,7	2 7,4	2 7,4	
4. AMAZONIA				1 6,25	1 6,25	4 25,0	8 50,0	2 12,5		
5. PACIFICO			2 5,3		6 15,8	8 21,1	15 39,5	6 15,8	1 2,6	

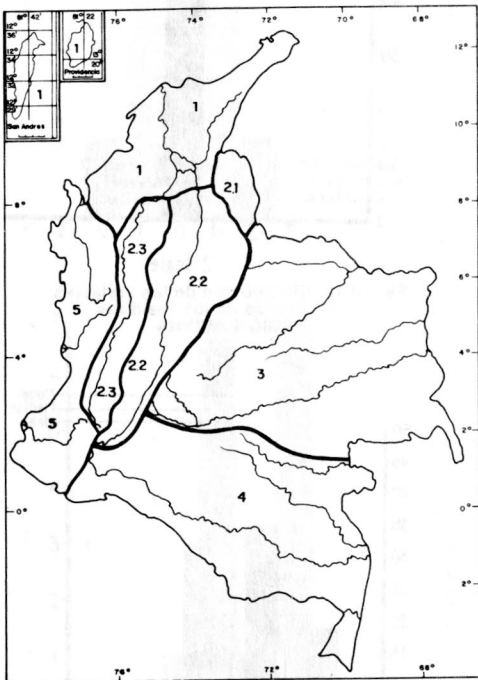


Figura 5. Regionalización utilizada para el análisis de la temperatura media anual del aire en Colombia

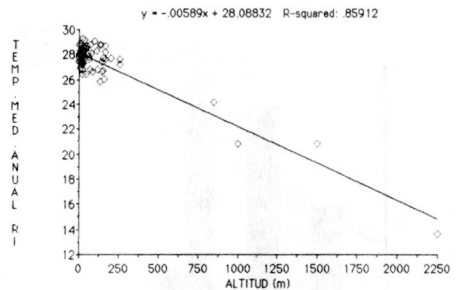


Figura 6. Modelo de regresión entre la temperatura media anual (Y °C) y la altitud (X m) REGION CARIBE

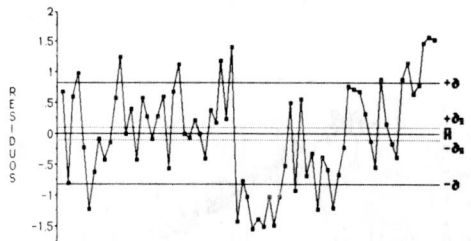


Figura 7. Variación de los residuos; δ=Desviación típica y δx=error típico. REGION CARIBE

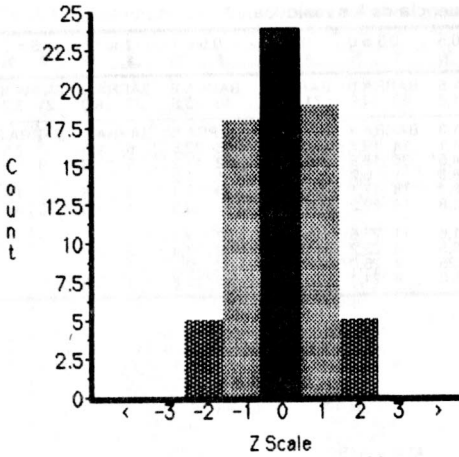


Figura 8. Distribución de las variables normalizadas de los residuos. REGION CARIBE

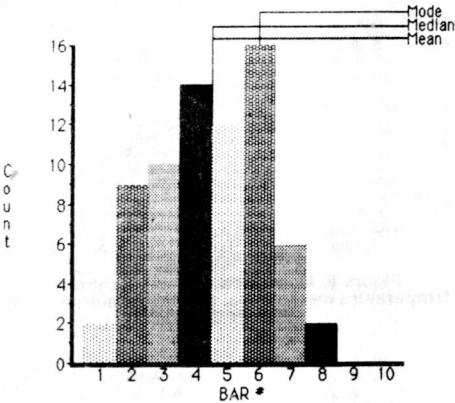


Figura 9. Distribución de frecuencia de los residuos (Tabla 3). REGION CARIBE

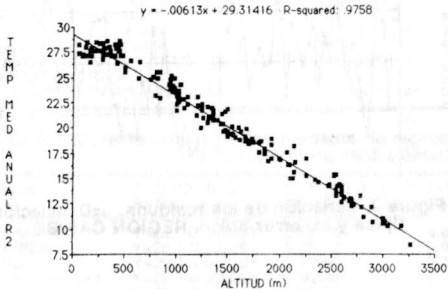


Figura 10. Modelo de regresión entre la temperatura media anual (Y-°C) y la altitud (X-m) REGION ANDINA

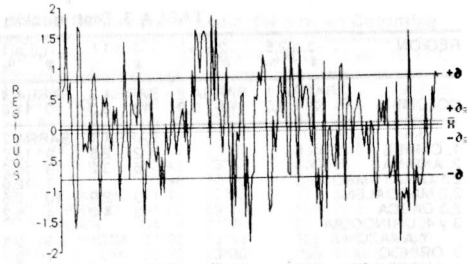


Figura 11. Variación de los residuos; δ =Desviación típica y δx =error típico. REGION ANDINA

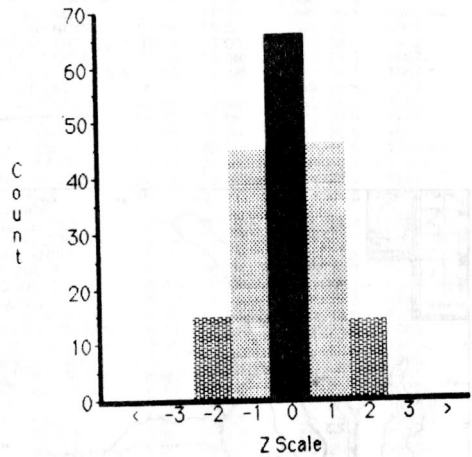


Figura 12. Distribución de las variables normalizadas de los residuos REGION ANDINA

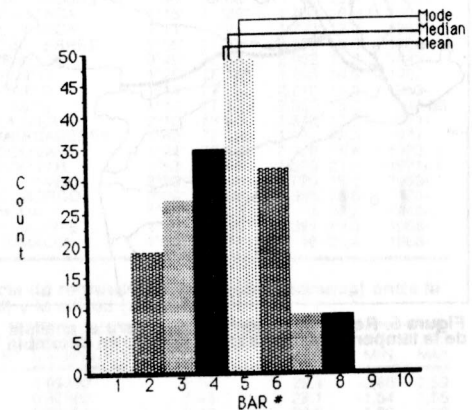


Figura 13. Distribución de frecuencia de los residuos (Tabla 3) REGION ANDINA

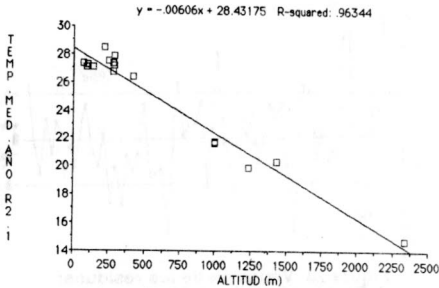


Figura 14. Modelo de regresión entre la temp media anual (Y en °C) y la altitud (X en m) REGION ANDINA-CATATUMBO

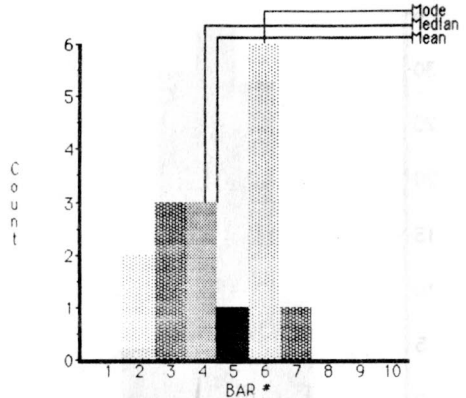


Figura 17. Distribución de frecuencia de los residuos (Tabla 3). REGION ANDINA-CATATUMBO

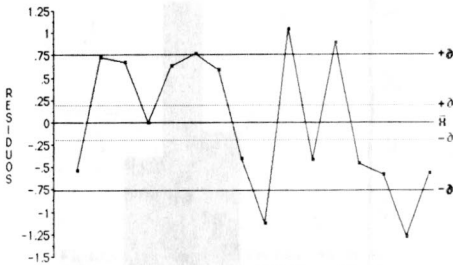


Figura 15. Variación de los residuos; δ =Desviación típica y δ_x =error típico REGION ANDINA-CATATUMBO

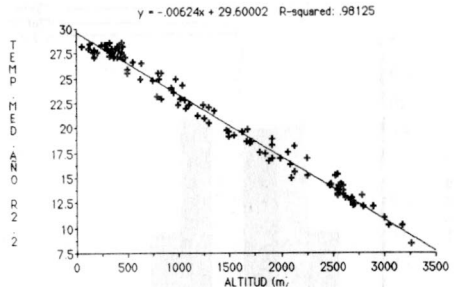


Figura 18. Modelo de regresión entre la temp media anual (Y en °C) y la altitud (X en m) REGION ANDINA-MAGDALENA

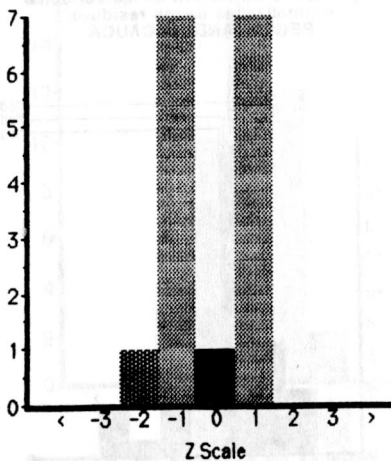


Figura 16. Distribución de las variables normalizadas de los residuos REGION ANDINA-CATATUMBO

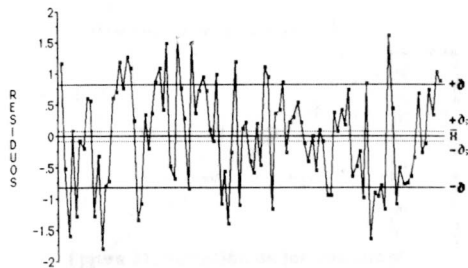


Figura 19. Variación de los residuos; δ =Desviación típica y δ_x =error típico REGION ANDINA-MAGDALENA

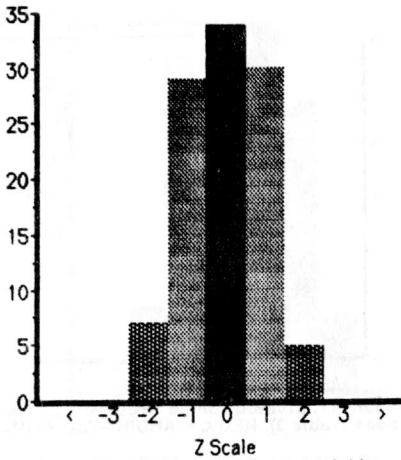


Figura 20. Distribución de las variables normalizadas de los residuos REGION ANDINA-MAGDALENA

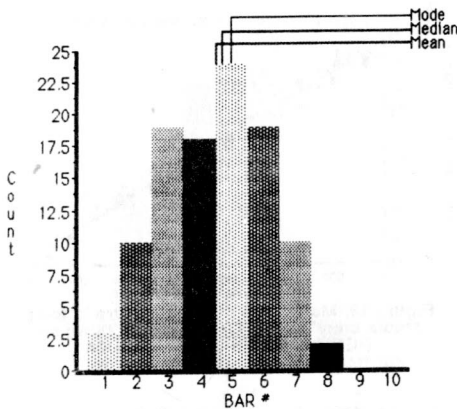


Figura 21. Distribución de frecuencia de los residuos. (Tabla 3). REGION ANDINA-MAGDALENA

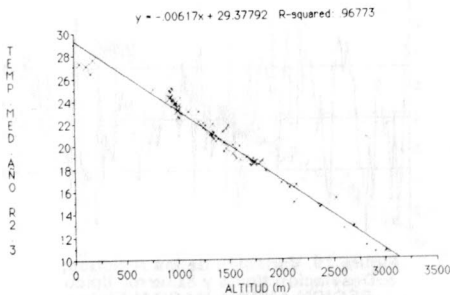


Figura 22. Modelo de regresión entre temp media anual (Y en °C) y altitud (X en m) REGION ANDINA-CAUCA

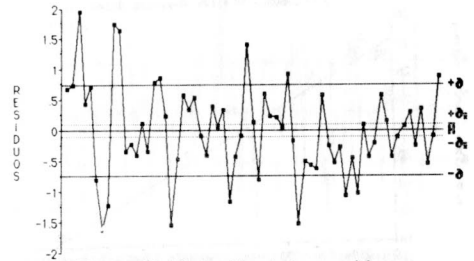


Figura 23. Variación de los residuos; δ =Desviación típica y δx =error típico REGION ANDINA-CAUCA

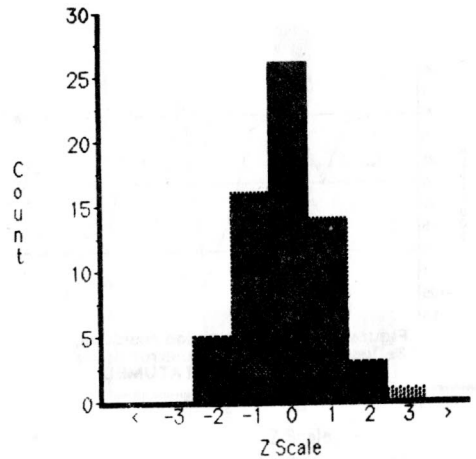


Figura 24. Distribución de las variables normalizadas de los residuos REGION ANDINA-CAUCA

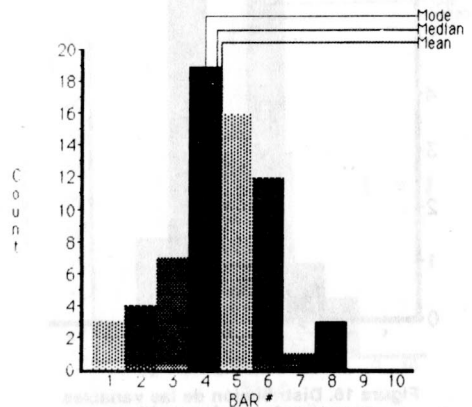


Figura 25. Distribución de frecuencia de los residuos (Tabla 3). REGION ANDINA-CAUCA

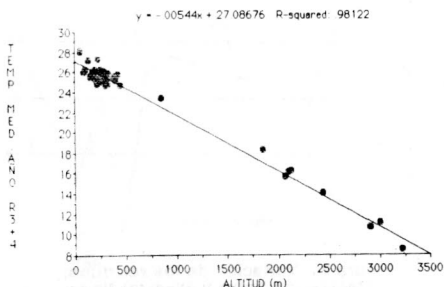


Figura 26. Modelo de regresión entre temp media anual (Y en °C) y altitud (X en m) REGION ORINOQUIA Y AMAZONIA

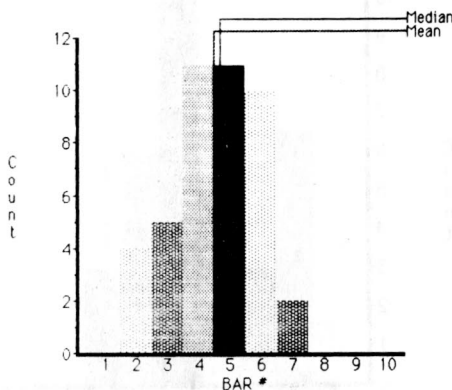


Figura 29. Distribución de frecuencia de los residuos (Tabla 3) REGION ORINOQUIA Y AMAZONIA

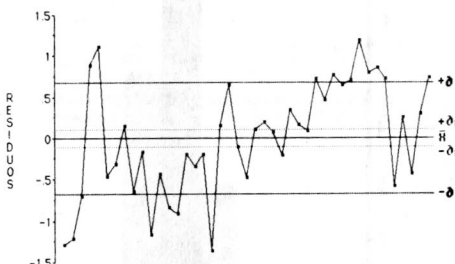


Figura 27. Variación de los residuos; delta=Desviación típica y delta x=error típico REGION ORNOQUIA Y AMAZONIA

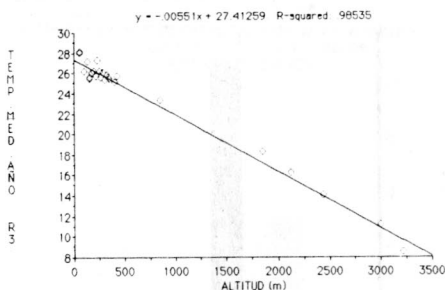


Figura 30. Modelo de regresión entre la temp media anual (Y en °C) y la altitud (X en m) REGION ORINOQUIA

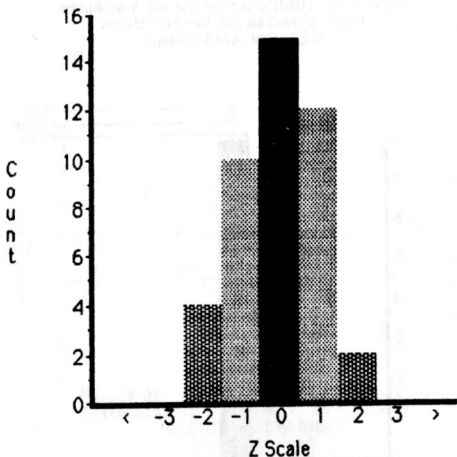


Figura 28. Distribución de las variables normalizadas de los residuos REGION ORINOQUIA Y AMAZONIA

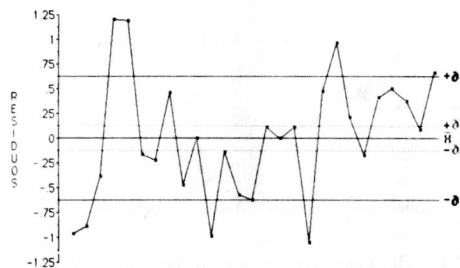


Figura 31. Variación de los residuos; delta=Desviación típica y delta x=error típico REGION ORINOQUIA

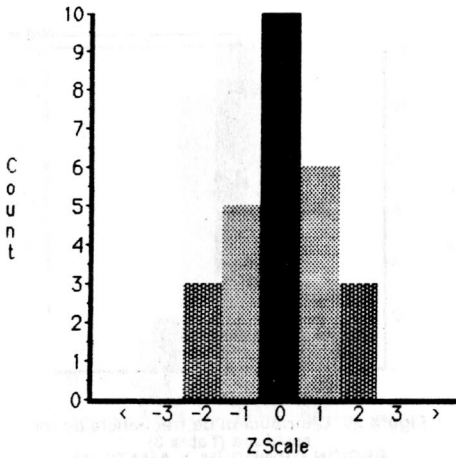


Figura 32. Distribución de las variables normalizadas de los residuos REGION ORNOQUIA

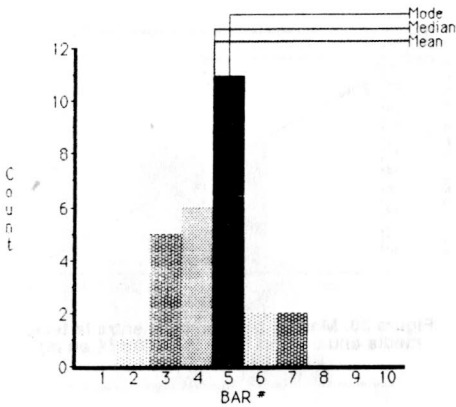


Figura 33. Distribución de frecuencia de los residuos (Tabla 3). REGION ORNOQUIA

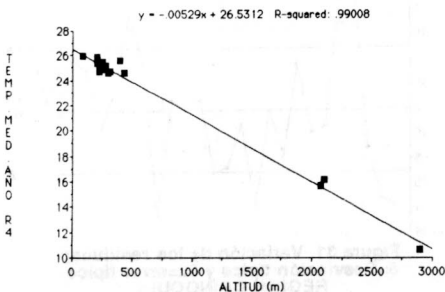


Figura 34. Modelo de regresión entre la temp media anual (Y en °C) y la altitud (X en m) REGION AMAZONIA

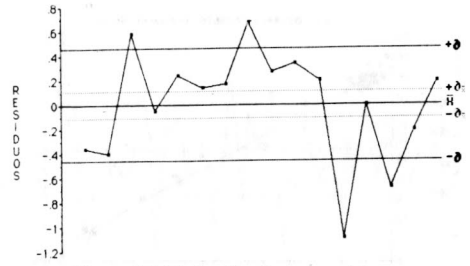


Figura 35. Variación de los residuos; δ =Desviación típica y δx =error típico REGION AMAZONIA

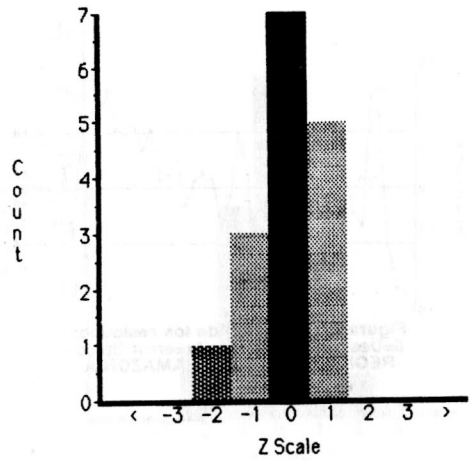


Figura 36. Distribución de las variables normalizadas de los residuos REGION AMAZONIA

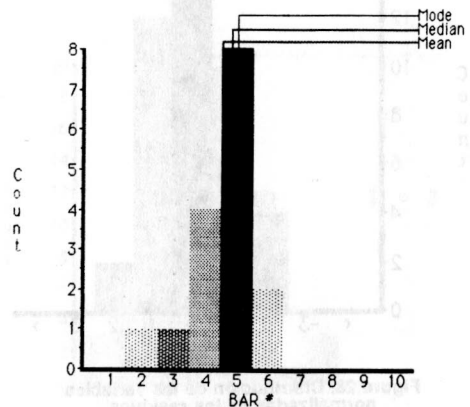


Figura 37. Distribución de frecuencia de los residuos (Tabla 3). REGION AMAZONIA

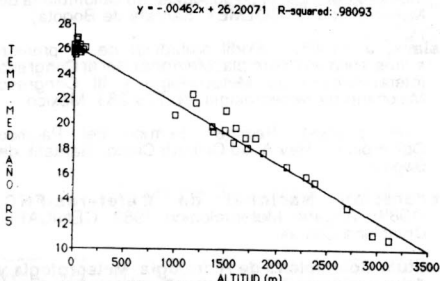


Figura 38. Modelo de regresión entre la temp media anual (Y en °C) y la altitud (X en m) REGION PACIFICO

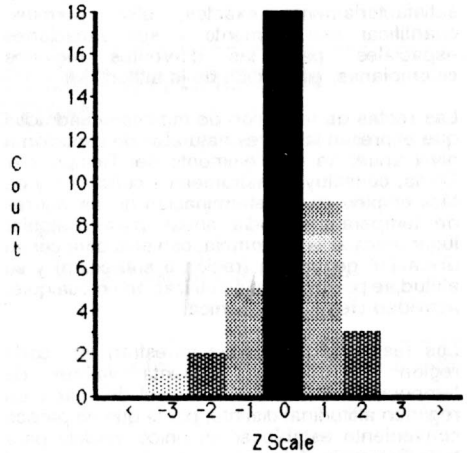


Figura 40. Distribución de las variables normalizadas de los residuos REGION PACIFICO

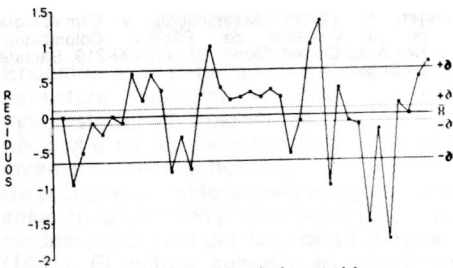


Figura 39. Variación de los residuos; δ =Desviación típica y δ_x =error típico REGION PACIFICO

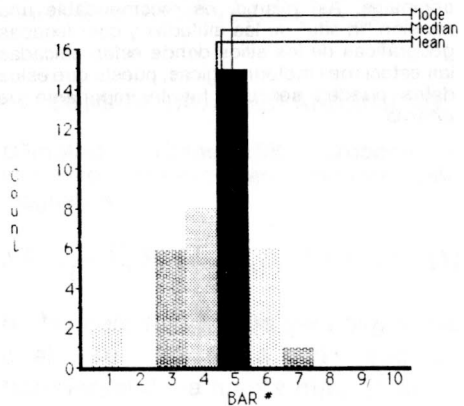


Figura 41. Distribución de frecuencia de los residuos (Tabla 3) REGION PACIFICO

CONCLUSIONES

El análisis de los valores medios anuales de la temperatura del aire en Colombia condujo al establecimiento de modelos de regresión satisfactoriamente exactos, ellos permiten cuantificar ese elemento y sus variaciones espaciales, para las diferentes regiones colombianas, en función de la altitud.

Las rectas de regresión de mínimos cuadrados que expresan las leyes naturales de variación a nivel anual de este elemento del Tiempo y el Clima, constituyen instrumentos concretos y de fácil empleo en la determinación de los valores de temperatura media anual, para cualquier lugar ubicado en Colombia, con sólo conocer su ubicación geográfica (región o subregión) y su altitud, se posibilita así su utilización en cualquier actividad científica o técnica.

Los resultados obtenidos muestran que cada región o subregión presenta valores de temperatura media anual a nivel del mar y un régimen altitudinal distinto, por lo que no parece conveniente establecer un único modelo para toda Colombia. Además, esos valores a nivel del mar y los gradientes altitudinales son diferentes a los que tradicionalmente se han aceptado y que habían sido propuestos por otros autores.

Estos primeros resultados matemáticos obtenidos, sugieren que el trabajo continúe su desarrollo y se amplíe, que se establezcan las relaciones temperatura-altitud a nivel mensual y anual para todos los parámetros indicativos de este elemento y se efectúen nuevamente los procesos de recopilación, verificación, homogeneización y unificación del período de datos, partiendo de los datos medios mensuales originales. Así mismo, es recomendable una revisión "in situ" de las altitudes y coordenadas geográficas de los sitios donde están ubicadas las estaciones meteorológicas, puesto que estos datos pueden ser una fuente importante de errores.

REFERENCIAS

- Bernal, E.** (1978): Red Meteorológica de Colombia. Public. Aperiódica N°39 HIMAT, 115 pp. HIMAT, Santafé de Bogotá.
- Cortés, E.** (1989): Estudio del régimen de temperaturas en Colombia. (Mscr). 103 pp. HIMAT, Santafé de Bogotá. (Parcialmente, también en: Memorias del IV Congreso Interamericano de Meteorología y II Congreso Colombiano de Meteorología. pp.191-198. Sociedad Colombiana de Meteorología-SOCOLMET, Santafé de Bogotá).
- Eslava, J.** (1988): Perfil altitudinal de la presión atmosférica en Colombia. Memorias del III Congreso Interamericano de Meteorología y III Congreso Mexicano de Meteorología. pp.279-283. México.
- (en prensa): Régimen térmico del Pacífico Colombiano. Rev.Acad.Colomb.Cienc. Santafé de Bogotá.
- Federación Nacional de Cafeteros-FNC.** (1989): Anuario Meteorológico 1989. CENICAFE, Chinchiná-Caldas.
- Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras-HIMAT.** (1981): Calendario Meteorológico 1981. HIMAT, Santafé de Bogotá.
- (1984): Calendario Meteorológico 1984. HIMAT, Santafé de Bogotá.
- (1985a): Calendario Meteorológico 1985. HIMAT, Santafé de Bogotá.
- (1985b): Catálogo de estaciones Hidrológicas y Meteorológicas (Lista de computador). 141 pp. HIMAT, Santafé de Bogotá.
- Instituto Geográfico "Agustín Codazzi"-IGAC.** (1960): Nivelación geodésica, resultados definitivos, puntos y cotas. 286 pp. IGAC, Santafé de Bogotá.
- Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología-SCMH.** (1973): Promedios Multianuales de Precipitación, Temperatura, Humedad Relativa y Brillo Solar. 44pp. SCMH (actualmente HIMAT), Santafé de Bogotá.
- Stanescu, S. & J.R. Díaz.** (1971): Estudio preliminar de la temperatura del aire en Colombia. Public. Aperiódica N°26, 90pp. SCMH, Santafé de Bogotá.
- Trojer, H.** (1958): Meteorología y Climatología de la vertiente del Pacífico Colombiano. Rev.Acad.Colomb.Cienc. 10 (40):199-219. Santafé de Bogotá.