ANÁLISIS DEL CICLO DIURNO DE LA HUMEDAD RELATIVA EN 17 AEROPUERTOS DE COLOMBIA

Lina María Marín Arroyave
I.C.
lmmarin82@hotmail.com

Germán Poveda Jaramillo
I.C. M.Sc. Ph. D.

Hernán Alonso Moreno R.
I.C. M.Sc (C)

Preparado para presentación en el
XVI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología
Sociedad Colombiana de Ingenieros
Sociedad de Ingenieros del Quindío
Universidad del Quindío
Corporación Autónoma Regional del Quindío
Armenia 29, 30 y 31 de octubre de 2004

Resumen. Se estudian los ciclos diurno y anual de la humedad relativa en 17 aeropuertos de Colombia, durante el período 1973-1993. Se analiza el ciclo diurno promedio de largo plazo, su variabilidad de acuerdo con la ubicación y la influencia que tienen sobre éste los ciclos anuales de la precipitación y de la temperatura. Para la humedad relativa (HR) se evidencian ciclos anuales bimodales con máximos en Abril-Mayo-Junio y Septiembre-Octubre-Noviembre (un poco mayores), y valores mínimos durante Julio-Agosto. En las regiones costeras, la humedad relativa evidencia valores altos, mayores del 70% en las horas de la mañana y tarde comparado con los bajos valores que se presentan a las mismas horas en las zonas del interior del país, lo cual aparece más marcado en las estaciones del litoral Pacífico donde los valores están por encima del 80%, a lo largo de todo el día. Se observan ciclos diurnos unimodales con mayores humedades temprano en la mañana entre las 4 y 7 LST, y los menores valores hacia las 13 y 16 LST. La fase del ciclo diurno no cambia durante el año, pero sí su amplitud, lo cual es consecuente con la fase del ciclo anual. Meses más húmedos implican humedades relativas diurnas mayores. Con respecto a la temperatura media anual se observan relaciones inversas con los valores de humedad relativa, tanto a nivel diurno como anual. Los mecanismos físicos que explican la dinámica diurna se asocian al ciclo diario del calentamiento radiativo, así como a la posición geográfica relativa a las fuentes de humedad, al paso de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), a la dinámica del Chorro del Chocó, a los complejos convectivos de mesoescala, y a dinámicas locales y regionales de la circulación atmosférica.

I. Introducción.

Se define la humedad relativa como la relación entre la presión de vapor real (*e*) y su valor de saturación (e_s) a una temperatura de aire dada (entendiendo como presión de saturación la que corresponde al máximo contenido de humedad del aire)

$$HR = \frac{e}{e_s} \tag{1}$$

La presión de vapor de saturación está relacionada con la temperatura, *T*, mediante la ecuación de Clausius – Clapeyron,

$$e_s = 6.11 \exp\left(\frac{L}{R_v}\left(\frac{1}{273} - \frac{1}{T}\right)\right) \tag{2}$$

en donde Rv representa la constante de los gases para el vapor, *L* es el calor latente de vaporización. Como respuesta al forzamiento de la radiación y al ciclo de insolación, se presenta un ciclo diurno para la temperatura y por tanto para la humedad relativa. La variación de la humedad relativa juega un papel muy significativo en el clima tropical, pero muchos aspectos de su variabilidad espacio-temporal son desconocidos. En este trabajo se estudian los ciclos diurno y anual de la humedad relativa y algunos aspectos de su variabilidad espacial en Colombia. En el numeral 2 se describen los datos usados y la metodología de análisis, en el numeral 3 se presenta un análisis para la humedad relativa en el cual se incluye el ciclo anual de la precipitación y el ciclo diurno de la temperatura y las conclusiones se presentan en el numeral 4.

II. Datos y Aspectos Metodológicos.

Se emplearon registros de humedad relativa y temperatura media con resolución temporal de 3 horas, para el periodo 1973-1993. La información fue obtenida del ISMCS (International Station Meteorological Climate Summary), Versión 4.0, septiembre de 1996 (http://gcmd.nasa.gov/records/GCMD_C00268.html). Se usaron registros de 17 estaciones meteorológicas cuyas características aparecen en la Tabla 1. Se estimaron los ciclos anuales y diurnos de la humedad relativa y de la temperatura. Para algunas estaciones se tiene, de la misma fuente, información de la precipitación total mensual. Teniendo los promedios multianuales del porcentaje de humedad para cada mes, se estimó la variabilidad anual del ciclo diurno. En los ciclos diurnos y anuales se han calculado además las desviaciones estándar para tener una idea de la variabilidad de la humedad horaria y mensual.

Se define el ciclo diurno de 24 horas durante el período 7am – 7am, para poder ver el efecto de las tormentas nocturnas y de madrugada sobre los resultados.

Tabla 1. Información general de las estaciones

Estación	Aeropuerto	Latitud	Longitud	Altura M.S.N	% Datos Faltantes
1	BARRANQUILLA	10 54N	74 46W	9,90	0
2	BOGOTA	4 42N	74 8W	2507,10	0
3	BUENAVENTURA	3 53N	77 4W	14,70	38
4	CALI	3 33N	76 23W	953,40	0
5	CARTAGENA	10 27N	75 31W	0,90	0
6	COROZAL	9 20N	75 17W	84,30	38
7	EL BANCO	9 4N	73 59W	33,30	38
8	MEDELLIN	6 13N	75 36W	1470,60	38
9	MONTERIA	8 49N	75 51W	25,50	38
10	OTU	7 0N	74 43W	618,00	38
11	POPAYAN	2 28N	76 36W	1702,20	38
12	RIO NEGRO	6 11N	75 26W	2103,30	0
13	SAN ANDRES	12 35N	81 43W	2,10	25
14	SANTA MARTA	11 8N	74 14W	0,90	38
15	TUMACO	1 49N	78 45W	6,00	38
16	TURBO	8 7N	76 44W	4,80	38
17	VALLEDUPAR	10 26N	73 15W	135,30	38

*En cada figura aparecen referenciadas las estaciones con el número correspondiente

Para la mayoría de las estaciones se tiene ausencia de datos en la madrugada.

III. Análisis de Datos.

A. Ciclo Anual de la Humedad Relativa.

En la Figura 1 se observan los ciclos anuales de la humedad relativa para las 17 estaciones de estudio. Para la mayoría de las estaciones, se observa un comportamiento bimodal con máximos entre Abril-Mayo-Junio y Septiembre-Octubre-Noviembre (un poco mayores), y valores mínimos entre Julio-Agosto..Con el fin de explicar estos resultados se analizan los ciclos anuales de precipitación para algunas estaciones, los cuales se ilustran en la Figura 2.

Para facilitar el análisis pueden los ciclos anuales de HR y precipitación han sido superpuestos en la Figura 3, donde es posible concluir que los meses de máxima y mínima precipitación coinciden con los de máxima y mínima humedad relativa, por lo que puede atribuirse el comportamiento de la humedad relativa a la influencia de la presencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Colombia está condicionada en toda su extensión por la influencia de la ZCIT, la cual evidencia la presencia de bajas presiones en superficie lo que se manifiesta con cielo nublado, abundantes lluvias, y condensación del vapor de agua. La ZCIT fluctúa entre 0ºN Enero-Febrero y 10ºN durante Julio-Agosto, pasando por el centro de Colombia dos veces al año, y consecuentemente ocasionando descensos en las temperaturas medias. En la Tabla 2 se muestran los coeficientes de correlación entre los valores mensuales de los registros de precipitación y de humedad relativa. Los coeficientes son significativos con una confiabilidad del 95%.

Tabla 2. Coeficientes de correlación Precipitación-Humedad relativa.

Valor crítico: $t_{(\alpha/2,n-2)} = 2.634$, α=0.05, n=12		
Estación	R	T (Estadístico de prueba)
BARRANQUILLA	0,935	8,346
BOGOTA	0,843	4,951
CARTAGENA	0,893	6,290
CALI	0,787	4,034
MEDELLÍN	0,557	2,122
POPAYAN	0,828	4,677
SAN ANDRES	0,876	5,735
SANTA MARTA	0,891	6,194

Puede observarse que en general, los valores de R son altos y que sólo para la estación Medellín el coeficiente de correlación es no significativo al 95%.

Para las estaciones localizadas en los aeropuertos de la costa Caribe, incluyendo Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, se observa que las humedades relativas promedio a lo largo del año están por encima del 70%; pues aunque la temperatura promedio es alta en esta región, el comportamiento de la humedad está marcado por la interacción tierra-océano y por los vientos de superficie.

Para los aeropuertos del Pacifico Turbo, Buenaventura y Tumaco, las humedades están por encima del 80%, conservándose prácticamente constantes a lo largo del año (pequeñas desviaciones estándar), esto puede explicarse por la presencia de la corriente de Chorro del Chocó (Poveda, 1998) y de los Complejos Convectivos de Meso escala actuando permanentemente.

No se presenta un análisis del ciclo anual de la humedad relativa con el de la temperatura media, ya que la región de estudio se encuentra localizada en una zona tropical donde la temperatura se mantiene bastante uniforme a través del año; así por ejemplo, la temperatura media del mes más frío difiere poco (aproximadamente 2°C) de la del mes más caliente, mientras que a escala diurna las variaciones son más significativas (alrededor de 10°C).

B. Ciclo Diurno de Largo Plazo de la Humedad Relativa

En la Figura 4 se muestra el ciclo diurno de la humedad relativa para las 17 estaciones en la región de estudio. Puede observarse que los valores mínimos de la humedad relativa se presentan entre las 13 y 16 LST (Tiempo Local Estándar) para todas las estaciones. Para las estaciones que tienen datos completos, los valores máximos de la humedad se presentan en las primeras horas de la mañana, alrededor de las 4 y 7 LST.

Es muy notable la influencia de los procesos radiativos y del ciclo de insolación, principales componentes del ciclo diurno de la temperatura, en el ciclo diurno de la Humedad Relativa. En la noche se presentan flujos de calor sensible cercanos a cero, porque los vientos son débiles y el aire frío cerca de la superficie es mas denso que el aire tibio de mas arriba. En la mañana el calentamiento radiativo es balanceado por el calor en el suelo. Los flujos de calor sensible presentan pequeños picos pasando el medio

día. Así, la máxima humedad relativa coincide con la salida del Sol y la mínima humedad con los picos de flujo de calor sensible, es decir con la máxima insolación. En la Figura 5 puede evidenciarse la influencia del ciclo diurno de la temperatura sobre el ciclo diurno de la humedad relativa. Los mínimos valores de la humedad relativa coinciden con los máximos de temperatura y viceversa.

En las Figuras 4 y 5 aparecen barras de desviación estándar que representan la variabilidad de la humedad y la temperatura en el transcurso del día. Puede observarse que las desviaciones de la temperatura relativas a su propia media horaria son prácticamente imperceptibles. Para la humedad relativa las mayores desviaciones se presentan en las horas de la tarde, alrededor de las 16 LST. De manera similar al ciclo anual de la humedad relativa, las estaciones de los aeropuertos del Pacifico presentan a nivel diurno las menores desviaciones estándar.

C. Ciclo Anual del Ciclo Diurno de la Humedad Relativa.

En la Figura 6 se muestra la variabilidad del ciclo diurno durante los diferentes meses del ciclo anual. Los datos faltantes definen los vacíos en tal figura.

Se observa que en general a lo largo del año, los máximos y mínimos de humedad relativa ocurren a las mismas horas del día, presentándose aumentos o disminución de estos valores para diferentes meses, variación que responde al efecto de los fenómenos que influyen en el ciclo anual y que han sido ya mencionados (ZCIT, Chorro del chocó, p.ej.)

IV. Conclusiones.

Se realizó el análisis del comportamiento de la humedad relativa en 17 estaciones meteorológicas ubicadas en aeropuertos de Colombia. A través de un breve análisis espacial se describen diferencias en los valores de la humedad por regiones.

Los análisis del ciclo diurno muestran un comportamiento unimodal de la Humedad Relativa para todos los aeropuertos. Las mayores humedades se concentran entre las 4 y 7 LST, coincidiendo con la salida del sol y las mínimas, se presentan entre las 13 y 16 LST, lo que concuerda con el rango diario de máxima insolación y máxima temperatura. Estos resultados son esperados partiendo de la relación de Clausius-Clapeyron. El ciclo diurno está marcado básicamente por los procesos radiativos y por tanto puede observarse mayor variabilidad que en el ciclo anual.

El comportamiento del ciclo anual de la Humedad Relativa es afectado por la influencia de la ZCIT en Colombia, pues los máximos y mínimos porcentajes de Humedad se presentan en los mismos meses que los máximos (abril-mayo y octubre-noviembre) y mínimos (enero-febrero y julio-agosto) de precipitación. A la luz del coeficiente de correlación, estas dos variables climáticas manifiestan una correspondencia importante.

En los aeropuertos de la costa Pacífica, el ciclo diurno y anual de la humedad relativa presenta un comportamiento muy constante, debido a la saturación del aire por la interacción tierra-océano y por la corriente del chorro del Chocó.

Para las estaciones localizadas en los aeropuertos de la costa Caribe, incluyendo Cartagena, Barranquilla y Santa Marta, se observa que las humedades relativas promedio a lo largo del año están por encima del 70%, pues aunque la temperatura promedio es alta en esta región, el comportamiento de la humedad está marcado por la interacción tierra-océano y por los vientos de superficie.

Las estaciones de la región andina presentan valores de humedad relativa un poco menores que las estaciones cercanas a las costas Atlántica y Pacífica. En las primeras, la amplitud del ciclo diurno es mayor.

La fase de estos ciclo diurno se mantiene constante para todas las estaciones pero la amplitud depende de la posición geográfica, lo que está relacionado con la altitud sobre el nivel del mar y la cercanía al océano.

Referencias Bibliográficas

- Eslava, J. A., *Climatología y diversidad climática de Colombia.* Rev. Acad. Colomb. Cienc. 18(71): 507-538, 1993.
- Hartmann, D. L., *Global physical climatology.* Capítulos 2 y 4, 1993.
- Hastenrath, S., *Climate Dynamics of the tropics,* Kluwer, Dordrecht, 488 pp., 1991.
- Mejia , J. F., *Ciclo diurno de la lluvia y ambientes atmosféricos en SCM sobre Colombia y el este del Océano Pacífico usando datos de la TRMM y del reanálisis del NCEP/NCAR.* TDG Maestría, Recursos hidráulicos, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2002.
- Poveda, G., y otros., *Diagnostico del ciclo diurno de precipitación en los andes trópicales de Colombia.* Memorias del XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2002.
- Poveda, G., y otros., *Efectos de algunos fenómenos macroclimáticos y astronómicos en el ciclo diurno de la precipitación en los Andes tropicales de Colombia.* Memorias del XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, 2002
- Shanin, Mandouh., Van Ooorschot, H.J.L., De Lange, S.J., *Statistical analysis in water resources engineering.* Applied Hydrology Monograpfs 1. A.A. Balkema, Rolterdam:275-277, 1993
- Soden, B., *The diurnal cycle of convection, clouds and water vapour in the tropical upper troposphere,* Geophysical Research Letters. Vol. 27, No. 15, 2173-2176, Aug 1, 2000.
- Zhiguang, L., *A study of the influence of orography on diurnal variations of temperature, pressure, wind velocity, precipitation, relative humidity and duration of sunshine*. National Meteorological Bureau, The people's Republic of China, 1981.

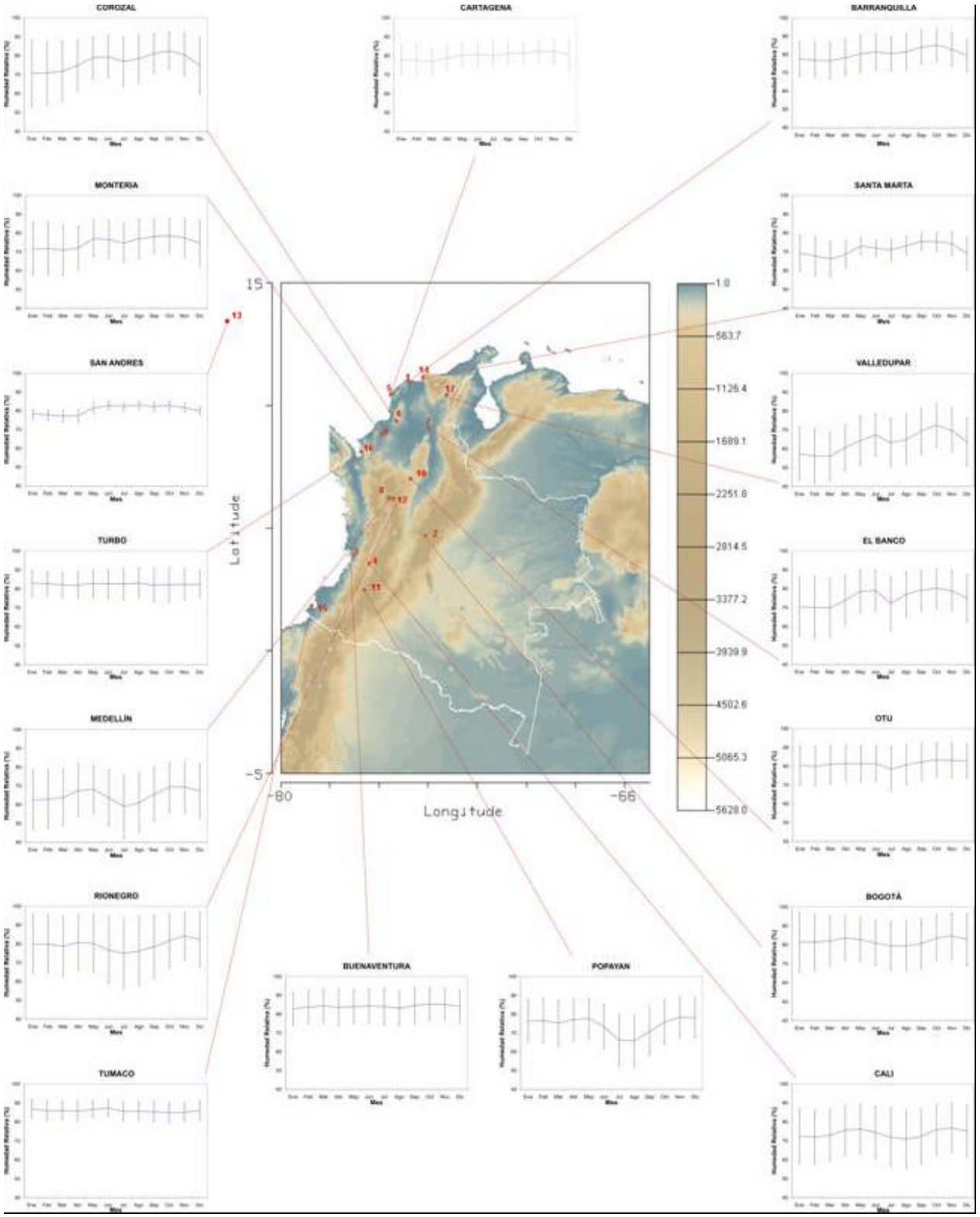
COROZAL
CARTAGENA
BARRANQUILLA
MONTERIA
SANTA MARTA
SAN ANDRES
VALLEDUPAR
TURBO
EL BANCO
MEDELLIN
OTU
RIONEGRO
BOGOTÀ
BUENAVENTURA
POPAYAN
TUMACO
CALI
Humedad Relativa (%)
Mes
15
-5
-80
-66
Latitude
Longitude
1.0
563.7
1126.4
1689.1
2251.8
2814.5
3377.2
3939.9
4502.6
5065.3
5628.0

FIGURA 1. Ciclo anual de la humedad relativa con barras de desviación (1973-1993)

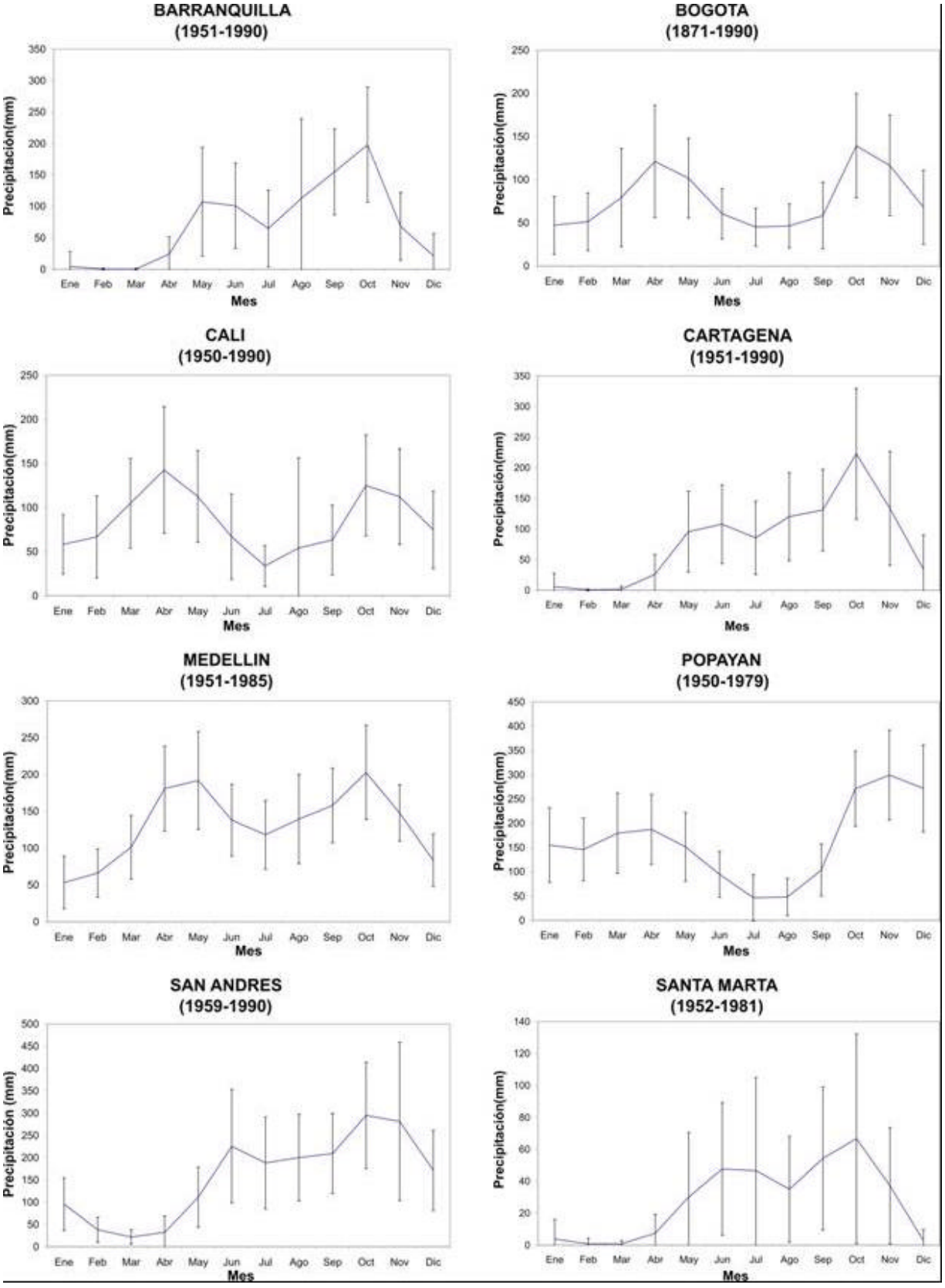

FIGURA 2. Ciclo anual de precipitación con barras de desviación

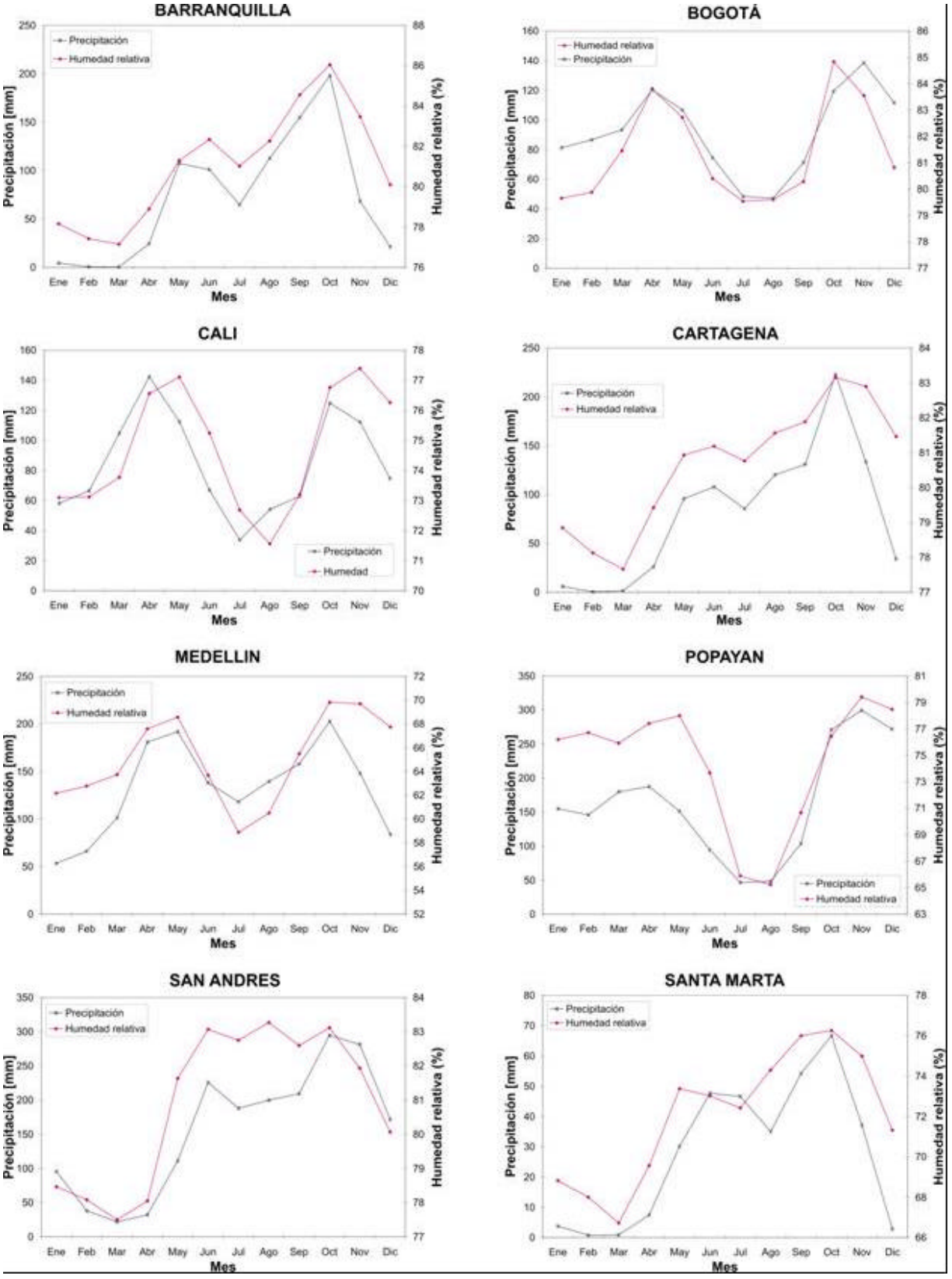

FIGURA 3. Correlación entre precipitación y humedad relativa

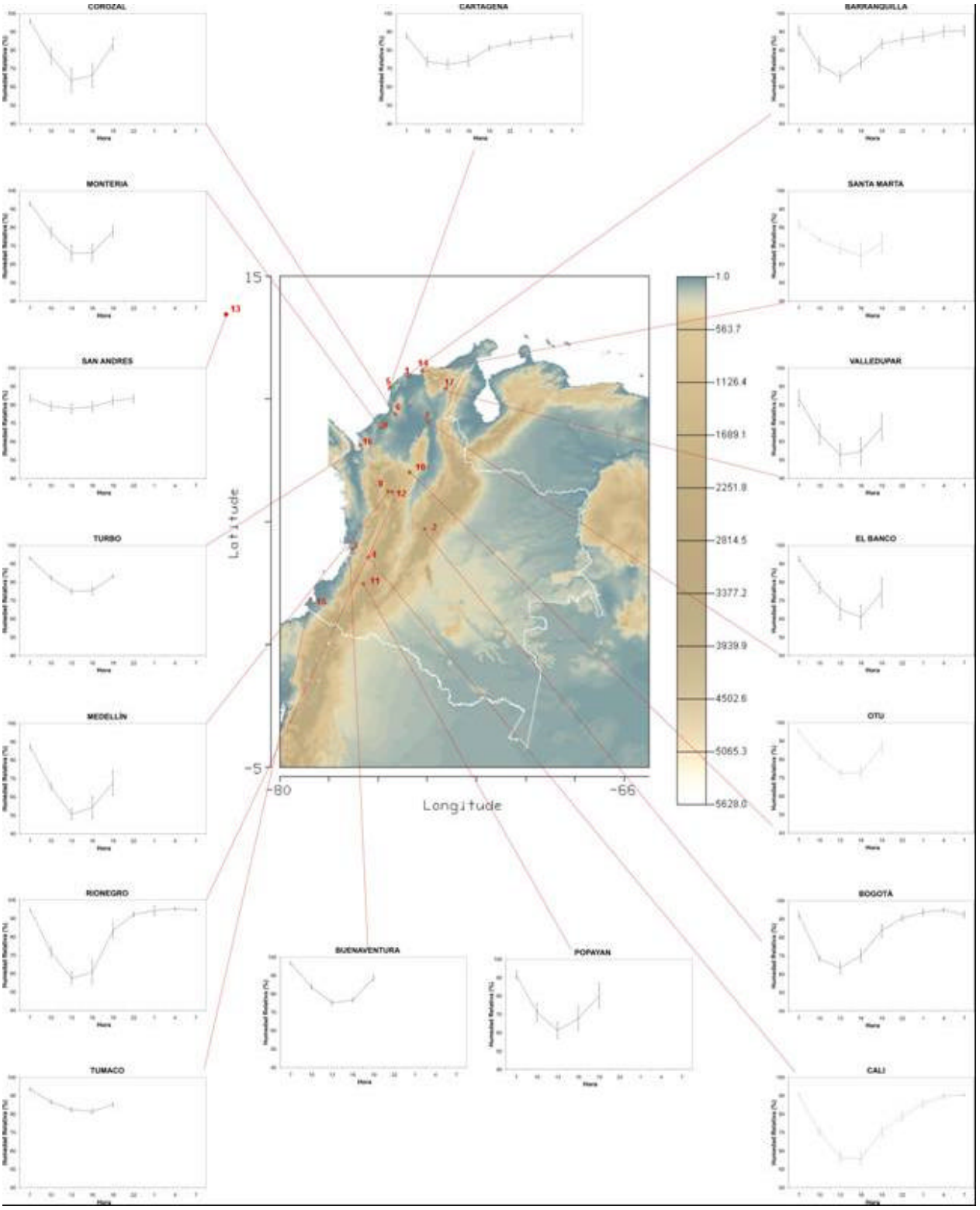

FIGURA 4. Ciclo diurno de largo plazo con barras de desviación (1973-1993)

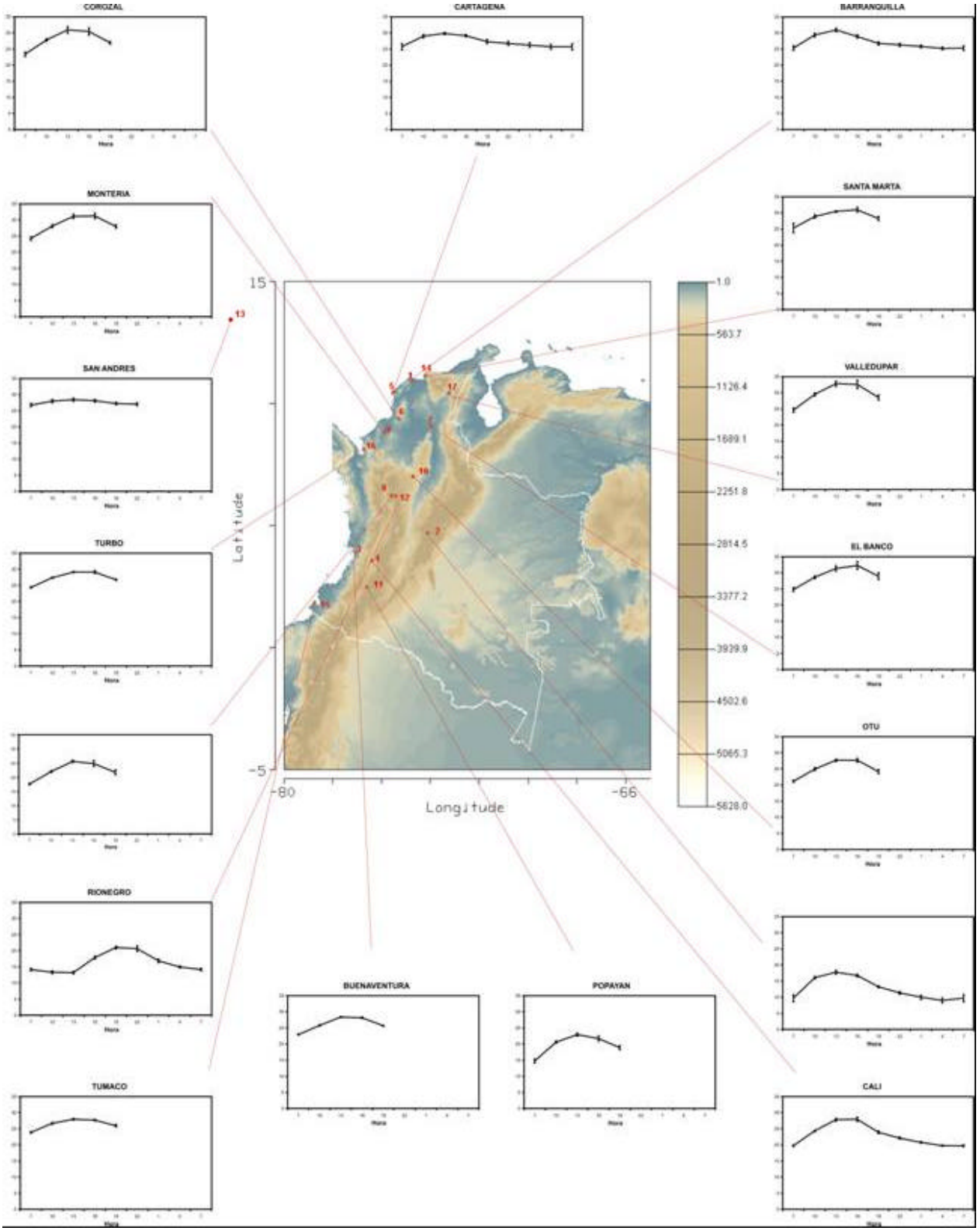
CORDZAL
CARTAGENA
BARRANQUILLA
MONTERIA
SANTA MARTA
SAN ANDRES
VALLEDUPAR
TURBO
EL BANCO
OTU
RIONEGRO
BUENAVENTURA
POPAYAN
TUMACO
CALI
Hora
15
-5
-80
-66
Latitude
Longitude
1.0
563.7
1126.4
1689.1
2251.8
2814.5
3377.2
3939.9
4502.6
5065.3
5628.0

FIGURA 5. Ciclo diurno de temperatura media con barras de desviación (1973-1993)

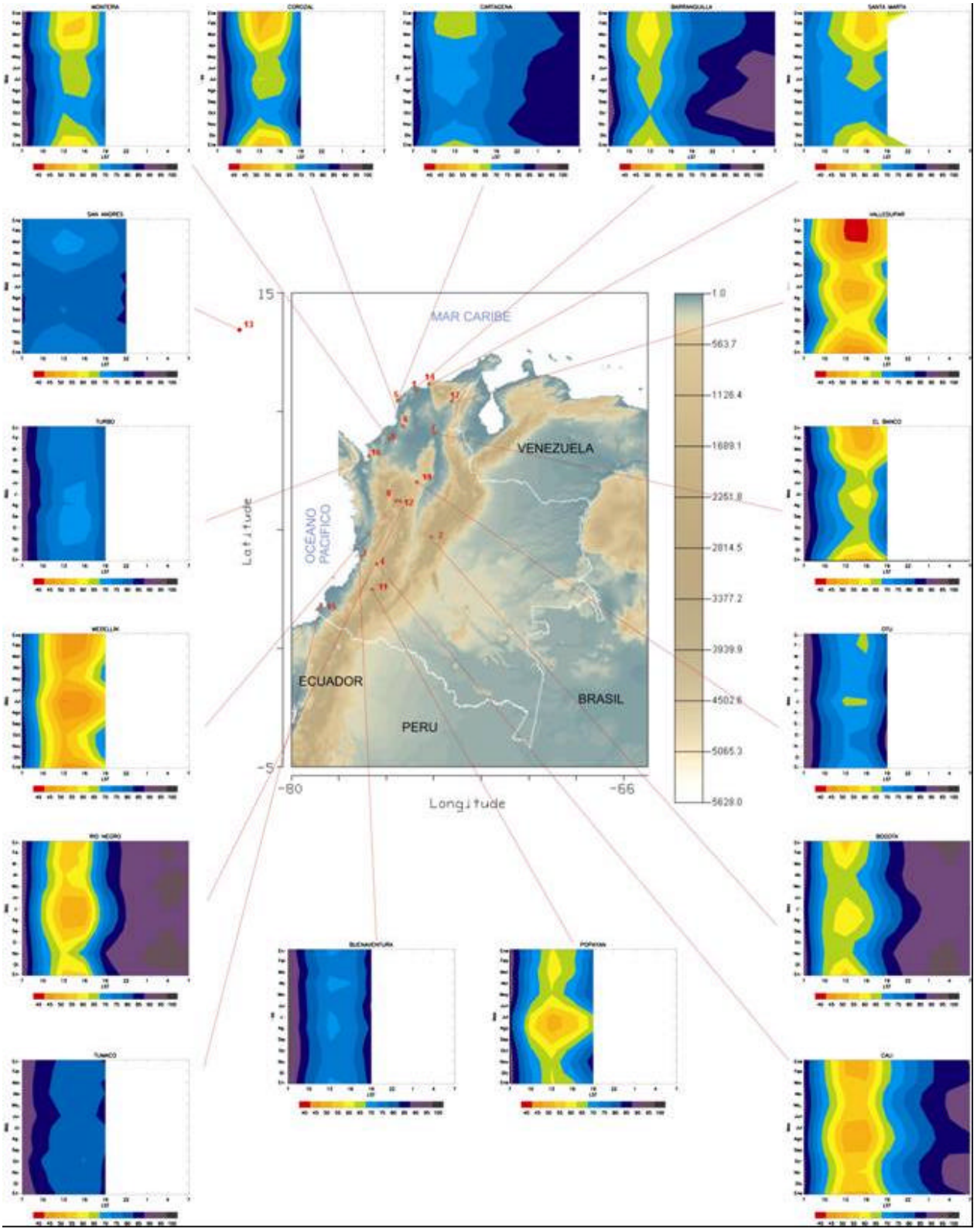

FIGURA 6. Diagramas hora-mes con líneas de isoporcentaje de humedad relativa diaria (1973-1993)