

Estructura compleja del régimen térmico del aire en Ecuador



Complex structure of the air thermal regime in Ecuador

<https://cu-id.com/2377/v31n1e03>

 Luis B. Lecha Estela^{1*},  José L. Santos Dávila², José A. Rodríguez Ruiz³

¹Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, Instituto de Meteorología, Cuba

²Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales, Guayaquil, Ecuador

³Dirección Regional Técnica Hidrometeorológica de Guayas/Galápagos, Guayaquil, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Ecuador

RESUMEN: Se aplica el método de la climatología compleja para la tipificación preliminar del régimen térmico del Ecuador, utilizando los valores diarios de temperaturas máximas y mínimas del aire de 22 estaciones meteorológicas representativas de cada provincia y con datos confiables y estandarizados para el período 2009-2014. Mediante el programa Max-Min se efectúa el análisis diferencial de las categorías, tipos y subtipos del régimen térmico en cada localidad, anual y por meses, se determinan los días con sensaciones térmicas extremas por encima y por debajo de ciertos umbrales predefinidos y se agrupan las estaciones atendiendo a la secuencia estacional de las categorías predominantes del régimen térmico, lo cual permitió valorar la dinámica espacio-temporal de la estructura del régimen térmico en el país, especialmente los gradientes verticales de cada categoría y de los principales tipos. Se elaboraron los diagramas de marcha anual del régimen térmico en las tres regiones fundamentales, separadas en función de la estructura vertical del complejo temperatura máxima - mínima y se analiza la relación existente entre las categorías del régimen térmico y el patrón de adaptación estacional de la población residente. Los resultados son de interés aplicado para las actividades turísticas y recreativas, la salud humana y las producciones agropecuarias. Se incluyen cinco tablas y 14 figuras que ayudan a la mejor comprensión del contenido, así como facilita la consulta detallada de los métodos aplicados en el proceso de los datos originales.

Palabras Claves: complejo temperatura máxima/mínima, climatología compleja, estructura vertical del régimen térmico, temperaturas extremas diarias del aire, el clima de Ecuador.

ABSTRACT: The complex climatology method is applied for the preliminary typing of the thermal regime of Ecuador, using the daily values of maximum and minimum air temperatures from 22 representative meteorological stations of each province and with reliable and standardized data for the period 2009-2014. Using the Max-Min program, the differential analysis of the categories, types and subtypes of the thermal regime in each location is carried out, annually and by month, the days with extreme thermal sensations above and below certain predefined thresholds are determined and grouped. The seasons taking into account the seasonal sequence of the predominant categories of the thermal regime, which allowed us to assess the space-temporary dynamics of the structure of the thermal regime in the country, especially the vertical gradients of each category and the main types. The annual march diagrams of the thermal regime were prepared in the three fundamental regions, separated according to the vertical structure of the maximum - minimum temperature complex, and the relationship between the categories of the thermal regime and the seasonal adaptation pattern of the resident population was analyzed. The results are of applied interest for tourist and recreational activities, human health and agricultural production. Five tables and 14 figures are included that help to better understand the content, as well as facilitate detailed consultation of the methods applied in the process of the original data.

Keywords: Maximum/minimum temperature complex, complex climatology, vertical structure of the thermal regime, extreme daily air temperatures, the climate of Ecuador.

*Autor para correspondencia: Luis B. Lecha Estela. E-mail: luis.lecha@gmail.com

Recibido: 09/07/2024

Aceptado: 02/10/2024

Conflicto de intereses: Los autores del artículo científico, declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores: Luis B. Lecha Estela: **diseño del procedimiento metodológico para estudiar la estructura del régimen térmico del país y redactó el contenido del artículo.** José L. Santos Dávila: **valoración geográfica de los resultados y estableció los criterios de referencia para establecer los vínculos entre la estructura del complejo máxima-mínima y las diferentes regiones de Ecuador.** José A. Rodríguez Ruiz: **contribuyó de forma significativa a la revisión y procesamiento de los datos.**

Este artículo se encuentra bajo licencia [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial 4.0 Internacional \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

INTRODUCCIÓN

El método de la climatología compleja desarrollado y aplicado extensivamente por científicos del Instituto de Geografía de la Academia de Ciencias de la antigua Unión Soviética en sus estudios climáticos, resulta una herramienta muy eficaz para evaluar los efectos del clima y el tiempo en las actividades humanas.

La base conceptual del método consiste en considerar que el clima y el estado del tiempo no actúan por separado sobre el hombre, a través de sus elementos individuales, sino que lo hacen integralmente mediante acciones complejas, continuas e interrelacionadas de todo el conjunto de variables influyentes.

Por supuesto, el complejo más simple es el formado por dos variables y toda aplicación del método de la climatología compleja a un país o rama específica de la actividad del hombre debe comenzar por los análisis más simples.

Las primeras aplicaciones de este método en Cuba estuvieron encaminadas al estudio del régimen térmico del aire. Lecha (1987a y 1987b) hace dos reportes al respecto: uno sobre el comportamiento de las temperaturas extremas anuales en Cuba y el otro propuso un primer criterio de tipificación de las temperaturas máximas y mínimas diarias para la región central del país. Dos años después (Lecha y Florido, 1989) realizaron el análisis diferencial del complejo temperatura máxima - mínima para toda Cuba, utilizando para ello los datos diarios de estas variables durante el quinquenio 1977-1981, con información verificada procedente de la red de estaciones meteorológicas en todo el país.

Entre los resultados principales de estos primeros estudios se pueden mencionar: haber logrado identificar la estructura espacio-temporal de la marcha anual del régimen térmico en cada localidad, establecer objetivamente las categorías, tipos y subtipos predominantes del régimen térmico local y definir la estacionalidad y el grado de individualidad del régimen térmico en las principales regiones geográficas de Cuba, logrando la representación cartográfica de estos resultados.

La información sobre las características del régimen térmico se combinó con nuevas variables y se llegó progresivamente a la definición de un criterio complejo de clasificación del estado del tiempo diario (ETD), el cual se aplicó para toda Cuba con muy buenos resultados al estudiar los efectos del tiempo sobre la producción agropecuaria, la salud humana y el turismo (Lecha y Chugaev, 1989). También se aplicó con éxito la misma metodología para estudiar el clima de Nicaragua (Lecha y Nourzhanova, 1990).

Posteriormente, la misma metodología fue aplicada en España para determinar los patrones de adaptación estacional de la población de ese país, en el marco del desarrollo de nuevos servicios de pronósticos

biometeorológicos. Los resultados publicados por Martín y Lecha (2012) y Martín et al. (2012) demuestran que el método resulta válido también en regiones climáticas no tropicales para evaluar los efectos del clima sobre la salud humana y otras aplicaciones bioclimáticas.

Más recientemente, Roncancio et al. (2017) aplica satisfactoriamente esta metodología para evaluar la variabilidad del régimen térmico en la región Andina, así como el vínculo entre el comportamiento del complejo Max/Min y varios componentes de la vulnerabilidad social en su país.

Ecuador tiene fronteras comunes con Colombia y es también un país con climas y microclimas muy diversos, debido a su compleja orografía, gran diversidad de regiones naturales y ecosistemas (Cañadas, 1983). Entonces, el uso del método complejo basado en las temperaturas extremas diarias del aire, resulta muy apropiado para continuar el estudio y descripción del clima regional, en función de desarrollar aplicaciones para las principales ramas de la economía y la sociedad, al tiempo que permitirá evaluar la presencia de tendencias que pudieran ser ya el reflejo de influencias antrópicas o de las variaciones globales de la temperatura del aire en la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se parte de la metodología utilizada por Lecha (2019) en su libro Pronósticos Biometeorológicos, a partir de clasificar en categorías, tipos y subtipos el comportamiento diario del complejo simple formado por las temperaturas máximas y mínimas del aire, agrupando los valores en intervalos de 5 x 5 grados Celsius, tal y como muestra la Tabla 1.

A las diferentes columnas de las temperaturas máximas diarias se le asignan números desde el 1 para el intervalo de los valores inferiores, hasta el número que represente el intervalo de los máximos valores, siempre de 5 en 5 grados Celsius; mientras que a las temperaturas mínimas se le asigna letras, desde la A para el intervalo de los valores más altos, hasta la letra representativa de los valores inferiores de la muestra.

De esa manera se identifica cada intervalo de interconexión mediante una letra y un número. Las categorías se corresponden con el intervalo predominante (moda del histograma), los tipos se conforman mediante la combinación del primero y segundo intervalos con mayor frecuencia y los subtipos se definen agregando al tipo la combinación de los restantes intervalos con frecuencia superior al 10 %, si existen.

La descripción de las categorías del régimen térmico del aire, realizada a partir de los intervalos de interconexión predominantes es la siguiente:

- Las categorías A5, A6, B5 y B6 se corresponden con días muy cálidos y la incidencia de sensaciones intensas de calor diurnas y nocturnas.

Tabla 1. Tabla de doble entrada para la clasificación del complejo temperatura máxima - mínima. Las letras y números permiten su clasificación.

Mínimas	Máximas	<= 15	<= 20	<= 25	<= 30	<= 35	> 35
		1	2	3	4	5	6
> 25	A				A4	A5	A6
<= 25	B			B3	B4	B5	B6
<= 20	C		C2	C3	C4	C5	C6
<= 15	D	D1	D2	D3	D4	D5	D6
<= 10	E	E1	E2	E3	E4	E5	E6
<= 5	F	F1	F2	F3	F4	F5	F6

No se observan porque las mínimas nunca exceden a las máximas.

- Los intervalos A4, B3 y B4 identifican a los días cálidos, con pequeña oscilación térmica diaria.
- Los días cálidos con marcada oscilación térmica, con rasgos de clima continental, están asociados a los intervalos C5, C6, D5 y D6.
- Los días confortables o frescos, característicos del invierno tropical o del efecto del relieve sobre la temperatura del aire, se corresponden con los intervalos C3, C4, D3 y D4.
- Los días fríos y muy fríos, típicos del invierno o de las zonas montañosas tropicales, abarcan los intervalos C2, D1, D2 y todos los intervalos E y F.
- Existen algunas categorías imposibles de observar, pues las mínimas no pueden superar el valor de las máximas. Se corresponden con los intervalos A1, A2, A3, B1, B2 y C1.

A cada uno de los intervalos de interconexión posibles de observar se le puede asignar un número consecutivo, el cual permite trabajar la tabla matemáticamente, por ejemplo: para establecer el gradiente vertical que relaciona los intervalos con las altitudes en que estos resultan predominantes.

La información diaria de las temperaturas máximas y mínimas del aire fue suministrada por la Oficina Regional del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en Guayas, seleccionando las series por su calidad y a razón de una por provincia, utilizando el período de 2009 a 2014. El proceso de clasificación del régimen térmico de cada estación se realizó mediante el programa Max-Min elaborado en C++ por Lugo (2008) que elabora y procesa las tablas de contingencia de los pares Max/Min seleccionados.

El programa hace el cálculo del número de casos observado en cada intervalo de interconexión de las tablas de contingencia por cada localidad y para varios períodos de tiempo: la clasificación diaria para todo el período de observación, por años, por meses o por estaciones. A continuación se calculan las frecuencias de todos los intervalos de interconexión y se ordenan en forma descendente. La clasificación solo considera los intervalos con frecuencia superior a 10 %.

La estructura del régimen térmico del aire se identifica en cada localidad por combinaciones muy

específicas del complejo temperatura máxima - mínima y su vínculo con el contexto físico-geográfico, lo cual permite establecer las zonas físico-geográficas y épocas del año en que generalmente ocurre cada categoría.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

La estructura del régimen térmico ecuatoriano

La estructura del régimen térmico del Ecuador está muy relacionada con las características de sus regiones naturales y del relieve. El presente estudio resulta preliminar porque se realiza con solo 22 estaciones meteorológicas del país, distribuidas por toda la compleja geografía del territorio, por lo que no es posible hacer todavía los mapas con la distribución espacial de los principales componentes de la estructura del régimen térmico; pero los resultados sí permiten evaluar las peculiaridades contrastantes de las localidades y regiones estudiadas, así como extraer algunas conclusiones parciales basadas en las regularidades observadas y en la aplicación consecuente del análisis exploratorio de los datos disponibles, en función de la influencia de los factores formadores del clima local, especialmente el relieve.

A partir de la información disponible fue posible establecer una relación objetiva entre las categorías y tipos del régimen térmico ecuatoriano y la altitud. La [Tabla 2](#) muestra el gradiente vertical que se manifiesta para todas las estaciones analizadas, lográndose una armonía físico-geográfica coherente con las características del complejo máxima - mínima y sus intervalos predominantes.

Los días muy cálidos y cálidos

La categoría de los días muy cálidos queda identificada por la ocurrencia de máximas superiores a 30°C y mínimas superiores a 20°C, pero solo el B5 resulta predominante en la muestra anual y tiene dos tipos básicos asociados: el B5 cuando predomina todos los meses del año y el tipo B5 - B4 que caracteriza el régimen térmico de Milagros y Babahoyo.

Tabla 2. Relación de las categorías y tipos con la altitud del lugar.

Categorías	Altitud (m)	Tipos	Altitud (m)
B5	< 200	B5 - B4	< 200
B4	201 - 400	B4 - B5	201 - 400
C4	700 - 1000	C4 - C5	400 - 700
D4	2300 - 2500	C4 - C3	700 - 1000
D3	2200 - 2800	D4 - D3	2100 - 2400
E3	2300 - 2800	D3 - D2	2200 - 2600
E2	2600 - 3100	D3 - E3	2500 - 2700
E1	3200 - 3600	E3 - E2	2300 - 2900
Restos de E y F	> 3600	E2 - E1	2800 - 3200
		E2 - F2	2900 - 3300
		E1 - Resto de F	3200 - 3600
		Restos de E y F	> 3600

El intervalo de interconexión (B5) predomina en todos los meses del año en Portoviejo (llanura costera del Pacífico) y en Nuevo Rocafuerte (cuenca del Amazonas), definiendo geográficamente el comportamiento del régimen térmico en las zonas llanas, relativamente alejadas de la costa, que rodean ambos lados de la cordillera montañosa central. Estas son las zonas más cálidas del país, prácticamente sin invierno, donde vive una población bien adaptada a las sensaciones de calor sofocante provocadas por la ocurrencia simultánea de muy altas temperaturas y elevada humedad ambiental.

El tipo B5 - B4 tiene en la muestra estudiada un solo lugar donde se observa el subtipo: el B5 - B4 - C5, que se presenta en Portoviejo y a pesar de ser muy cálido la mayor parte del año, tiene un corto período invernal donde las noches son más frescas y la frecuencia del intervalo C5 aumenta sobre el 10 %.

La presencia predominante del intervalo de interconexión B4 determina la tipificación del régimen térmico local como cálidos, con marcada o pequeña oscilación térmica diaria. En general ocurre en las zonas costeras e islas tropicales como Galápagos, donde la influencia marina constituye un factor local importante en la formación del clima local, siendo capaz de moderar las intensas sensaciones de calor estivales. Esta estructura del régimen térmico se observa en San Cristobal (islas Galápagos), Concordia, Pichilingue y Machala. Tiene un solo tipo: el B4 - B5, pero en las dos primeras estaciones se observa el subtipo B4 - B5 - C4, indicando el aumento de los días confortables durante un corto período invernal.

La estructura de los días cálidos con marcada oscilación térmica diaria no llega a predominar en ninguna de las localidades estudiadas. Aparecen con frecuencia superior al 10 % solo en las estaciones de Portoviejo y Gualaquiza y ello ratifica que las zonas con amplia oscilación térmica diaria y acentuados rasgos de clima continental son escasas en Ecuador.

La variación estacional de los días cálidos y muy cálidos en las localidades donde son predominantes, muestra que la transición de los días cálidos a los muy

cálidos ocurre según disminuye la influencia marítima, en las llanuras interiores y el Amazonas (Fig. 1).

En las zonas cercanas a la costa y en Galápagos los días cálidos predominan casi todo el año y los días muy cálidos solo tienen un máximo estacional bien definido en los primeros meses del año.

A medida que el observador se aleja de la costa del Pacífico y penetra en el interior no montañoso del país, aumenta el predominio de los días muy cálidos, especialmente en la cuenca amazónica. En estas localidades no ocurren días fríos y muy fríos, siendo baja frecuencia de los días confortables o frescos, excepto en Galápagos, los cuales se observan en los meses desde junio a noviembre.

Los días confortables o frescos

La categoría de los días confortables o frescos está integrada por los intervalos C3, C4, D3 y D4. Predomina en las zonas montañosas del país dentro del anillo comprendido entre 700 y 2,000 m sobre el nivel medio del mar, según la vertiente, el grado de exposición a los rayos del Sol y la época del año.

La categoría confortable está muy bien representada en las estaciones de Gualaquiza, Puyo, La Argelia, Pauté y Quito, siendo su característica más representativa: la mayor variación espacio-temporal del régimen térmico, dada por la gran riqueza de tipos de paisajes y ecosistemas existentes en los principales grupos montañosos del país. Así, la categoría C4 se manifiesta en los anillos altitudinales más bajos, entre los 700 y 1,000 m sobre el nivel medio del mar (nmm), mientras que el predominio de las categorías D3 y D4 está en el anillo entre los 2,200 y 2,800 m sobre el nmm (Fig. 2).

El grupo de los días confortables o frescos representa el régimen térmico intermedio o de transición en la estructura vertical del régimen térmico del país, ubicándose aproximadamente entre las cotas de 700 y 2,800 m sobre el nmm, o sea, entre las regiones de menor altitud donde predominan los días cálidos o muy cálidos y las regiones montañosas más elevadas con predominio de los días fríos y muy fríos.

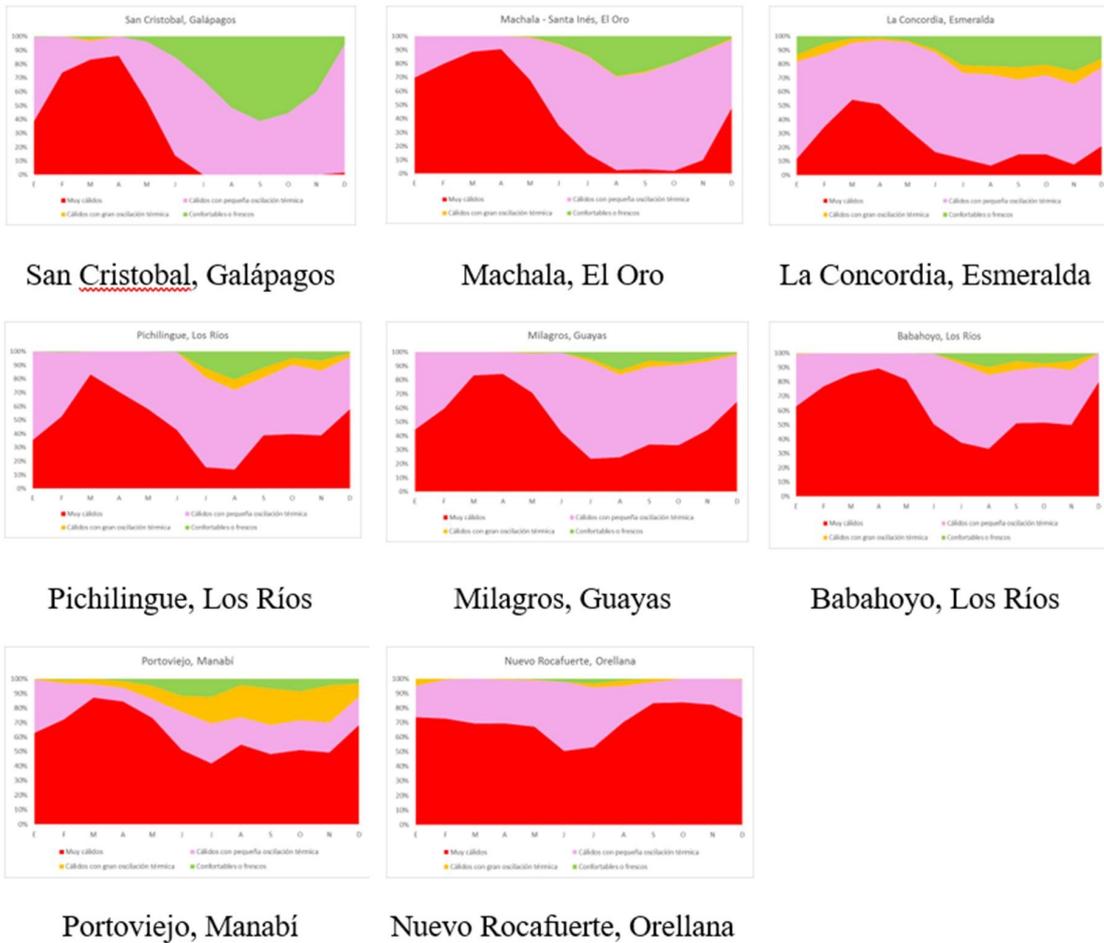


Figura 1. Marcha anual de las categorías del régimen térmico en localidades costeras y regiones llanas del Ecuador.

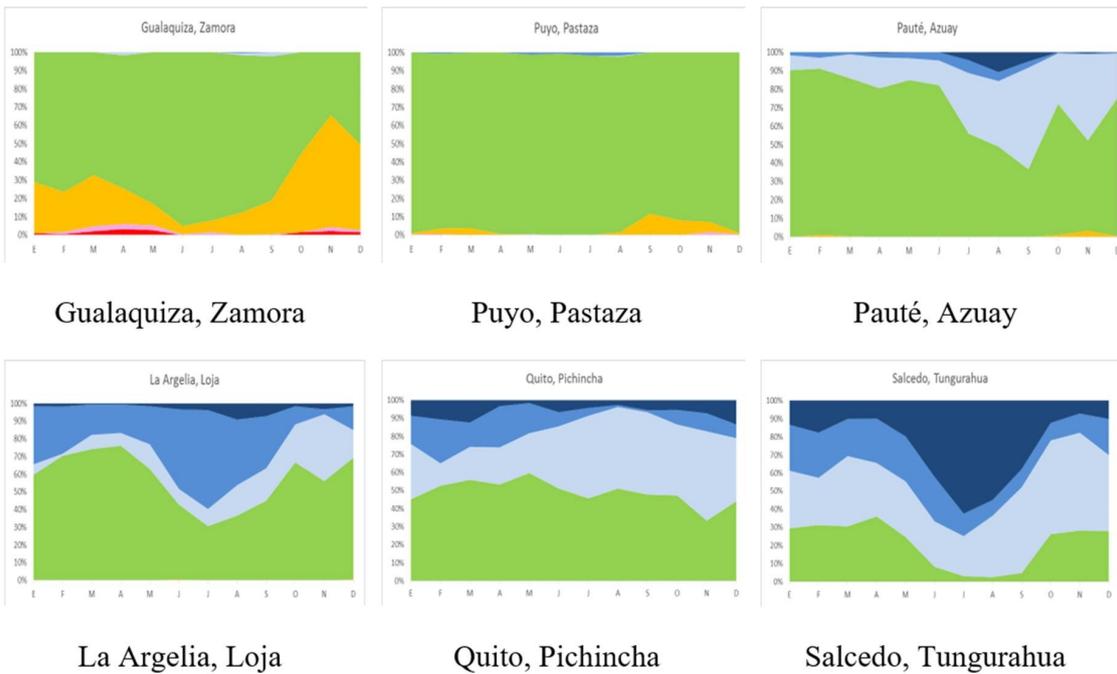


Figura 2. Marcha anual de las categorías de los días confortables o frescos en las regiones montañosas de Ecuador.

En general, las estaciones por debajo de los 400 m sobre el nmm presentan como categorías predominantes anuales las B4 o B5, entre los 400 m y 1,000 m sobre el nmm se manifiesta la C4; entre los 1,000 m y 2,300 m hay un vacío de información, pero puede estimarse que las categorías predominantes en ese anillo de altitud corresponden a los días confortables o frescos, por ese orden, a medida que aumenta la altitud.

En la **Tabla 3** se muestran las características de la estructura del régimen térmico asociada a estas categorías. Nótese que la categoría D3 no tiene subtipos de cuarto orden, por lo que tiene menor variabilidad que las otras dos, lo cual es una característica que la distingue y permite el aprovechamiento del clima térmico de estos lugares para el desarrollo de actividades recreativas, la climatoterapia y el turismo de salud.

Es evidente de la propia dinámica que se observa en la figura, que el anillo orográfico en que se encuentran situadas las estaciones de Gualaquiza y Puyo es representativo el régimen térmico más confortable del país, sin extremos de calor o frío excesivos, ideal para asentar en sus territorios la infraestructura de los tratamientos climatoterapéuticos, que van a tributar tanto al uso de los climas más fríos en los anillos superiores, como el aprovechamiento de los climas más cálidos en los anillos inferiores, incluyendo la talasoterapia, optimizando los gastos de transporte y el movimiento cíclico de los pacientes bajo tratamiento.

Los días fríos y muy fríos

Los días fríos y muy fríos resultan predominantes por encima de los 2,200 m sobre el nmm en todas las regiones montañosas del Ecuador. Por supuesto, el anillo altitudinal en que se encuentra este tipo de régimen térmico fluctúa con la época del año, más elevado en verano y más bajo en invierno; y también puede tener fluctuaciones de corto período asociadas a la influencia específica de ciertos procesos sinópticos o a la mayor o menor cercanía de la Zona Intertropical de Convergencia (ZIC). Luego, para poder discriminar mejor las peculiaridades del clima en las regiones montañosas ecuatorianas, que son representativas para casi toda la cordillera Andina desde Colombia hasta Perú; y facilitar el análisis de su potencial para la climatoterapia, resulta conveniente subdividir el amplio número de intervalos de interconexión

correspondientes a los días fríos y muy fríos de la forma siguiente:

- Se define la categoría de los días fríos con gran oscilación térmica como la conformada por los intervalos de interconexión E3 hasta E6, más los intervalos F3 hasta F6.
- Se define la categoría de los días fríos con pequeña oscilación térmica diaria a la conformada por los intervalos de interconexión C2, D1 y D2.
- Y la categoría de los días muy fríos, representativa de los territorios donde pueden observarse nieves perpetuas en algún período del año, se asocia con los intervalos de interconexión E1, E2, F1 y F2 que incluyen la ocurrencia de temperaturas bajo cero.

Las localidades de Salcedo, Otavalo, Guaslán, Chillanes, San Gabriel, El Ángel, Izobamba y Cañar quedaron todas comprendidas en este grupo porque en algún mes del año predomina la ocurrencia de días fríos y muy fríos, pero según la altitud de cada una y las características geográficas locales, se manifiestan aspectos muy peculiares en el comportamiento de la marcha anual de las categorías definidas para el régimen térmico tropical de montaña.

La **Fig. 3** muestra la marcha anual de los días fríos con gran oscilación térmica en las regiones montañosas del país. En los puntos más elevados (Izobamba, El Ángel y Cañar) por encima de los 3,000 m sobre el nmm, su ocurrencia es poco frecuente, pero va aumentando progresivamente en San Gabriel (2,860 m), Salcedo (2,685 m) y Chillanes (2,330 m) con frecuencias entre 15 % y 55 % según la época del año.

En determinadas zonas dentro este mismo anillo de alturas entre los 2,300 y 3,000 m sobre el nmm y por la influencia de factores físico-geográficos locales, esta categoría se hace predominante anual con valores superiores al 50 % la mayor parte del año, como sucede en Otavalo (2,550 m) y Guaslán (2,850 m).

Por su parte los días fríos con pequeña oscilación térmica diaria muestran una clara preferencia estacional por los meses lluviosos, indicando que su origen está determinado por el régimen térmico de las montañas medias y altas bajo la influencia de los días con precipitación (**Fig. 4**). Por último, los días muy fríos (nevados) tienen una evidente asociación con las zonas más altas del territorio, siendo predominantes la mayor parte del año por encima de los 2,800 m de elevación.

Tabla 3. Estructura del régimen térmico para los días confortables o frescos.

Categorías (1er orden)	Tipos (2do orden)	Subtipos (3er orden)	Subtipos (4to orden)
C4	C4 - C3		
	C4 - C5	C4 - C5 - D4	C4 - C5 - D4 - C3
D3	D3 - D2	D3 - D2 - E3	
	D3 - E3	D3 - E3 - D2	
D4	D4 - D3	D4 - D3 - E4	D4 - D3 - E4 - E3

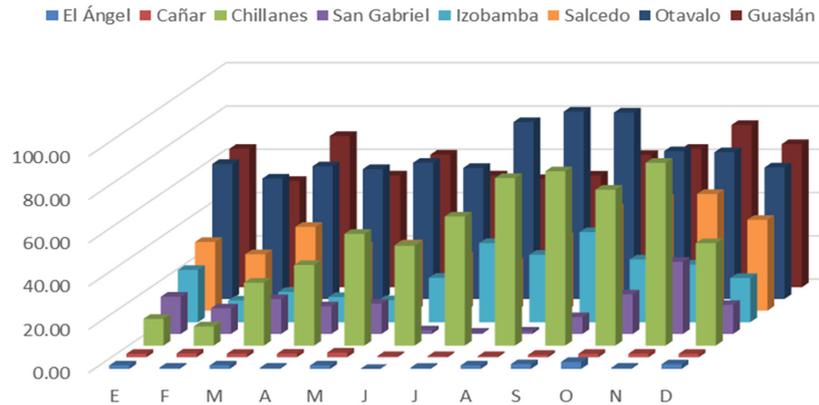


Figura 3. Marcha anual de los días fríos con gran oscilación térmica en las regiones montañosas de Ecuador.

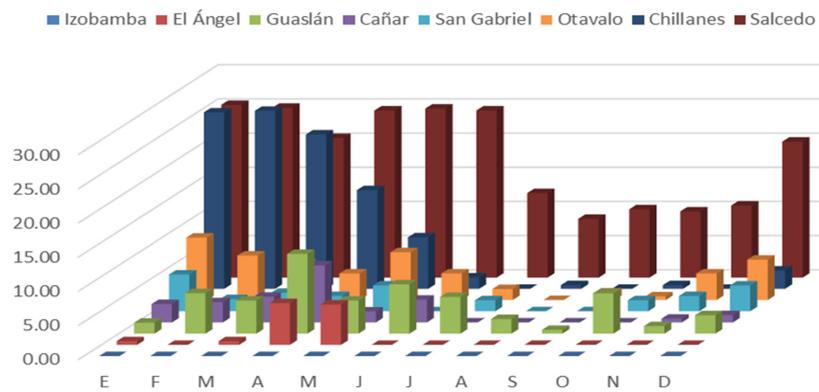


Figura 4. Marcha anual de los días fríos con pequeña oscilación térmica en las regiones montañosas de Ecuador.

Como se indica en la [Tabla 4](#), los tipos y subtipos asociados a las categorías de los días fríos y muy fríos están dados por combinaciones entre los intervalos de interconexión E1, E2, E3 y F2. La mayor variabilidad se observa en Salcedo con un subtipo de cuarto orden dado por la combinación E3 - E2 - D3 - D2, mientras que todas las demás localidades tienen subtipos de hasta tercer orden.

Conocer el comportamiento por meses de los días fríos muy fríos es muy importante para organizar los tratamientos de la climatoterapia, el uso productivo de algunos territorios montañosos e impulsar la práctica de ciertos deportes invernales que se pueden efectuar en las zonas de nieves perpetuas.

La altitud marca diferencias importantes en el predominio durante todo el año o en ciertos períodos de esta categoría del régimen térmico. Las estaciones de Cañar y el Ángel tienen esta categoría como predominante todo el año. En las estaciones de

Izobamba y San Gabriel también es superior al 50 % todo el año, pero en ellas se observa una cierta preferencia estacional no sincrónica ([Fig. 5](#)).

En Chillanes esta categoría predomina solamente en los meses de diciembre, enero y febrero; mientras que en Salcedo, Otavalo y Guaslán las frecuencias mensuales disminuyen por debajo del 50 % y solo en Salcedo son superiores al 40 % en el bimestre julio - agosto.

En dependencia de ciertos factores geográficos, el máximo de los días fríos y muy fríos se mueve estacionalmente de una región montañosa a otra, lo cual es una peculiaridad muy importante pues alarga y facilita la aplicación de los tratamientos de aeroterapia y helioterapia durante mayor tiempo en el año, a la vez que permite una mayor diversidad de opciones de alojamiento en las instalaciones hoteleras, balnearios y sanatorios (SPA).

Tabla 4. Estructura del régimen térmico para los días fríos y muy fríos.

Categorías (1er orden)	Tipos (2do orden)	Subtipos (3er orden)	Subtipos (4to orden)
E2	E2 - E1	E2 - E1 - F2	
	E2 - F2	E2 - F2 - E3	
E3	E3 - E2	E3 - E2 - D3	E3 - E2 - D3 - D2
		E3 - E2 - F3	

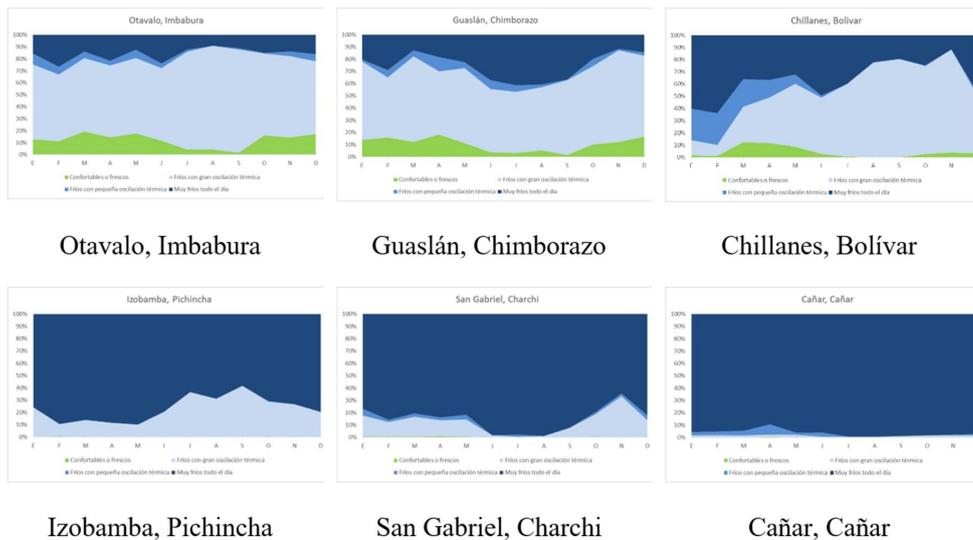


Figura 5. Diagramas de marcha anual de los días fríos y muy fríos en las regiones montañosas más elevadas de Ecuador.

La variación estacional de la estructura del régimen térmico del aire

La variación estacional del régimen térmico de las diferentes localidades estudiadas en el país define una dinámica anual o estructura espacio-temporal del complejo temperatura máxima-mínima que presenta, sucesiva y ordenadamente, las épocas del año con características distintas del complejo, en correspondencia con las influencias de los factores de físico-geográficos locales, especialmente el relieve.

Las marchas anuales de las categorías del complejo máxima-mínima en las localidades analizadas, muestran un cuadro muy heterogéneo y diverso del régimen térmico ecuatoriano, por lo cual el primer paso del proceso de ordenamiento comienza por identificar las categorías que predominan en cada mes del año, por estaciones, asignándole un color para facilitar la valoración de sus peculiaridades estacionales.

Después la tabla se ordena según la altitud de cada estación, y aquí ya resulta importante tener en cuenta la vertiente en que se ubica cada una, hasta llegar al último paso, donde las estaciones se agrupan según el sincronismo estacional de su régimen térmico y atendiendo a su pertenencia dentro de las diferentes zonas físico-geográficas del territorio.

La estructura preliminar del régimen térmico, basada en el ordenamiento de cada localidad según la estacionalidad de las categorías predominantes y su altitud, se muestra en la [Tabla 5](#) y fue posible identificar cuatro regiones bien definidas.

Región A: Integrada por las Islas Galápagos y la llanura costera occidental. Está caracterizada por el predominio de los días cálidos con pequeña oscilación térmica, marcada influencia marítima y verano muy cálido.

Región B: La vertiente de barlovento de la cordillera central, la cual está dominada por la rápida

transición vertical del régimen térmico, que pasa sucesivamente, en sentido ascendente, de días muy cálidos a confortables, frescos, fríos y muy fríos.

Región C: La vertiente de sotavento de la cordillera central, la cual parte de la meseta elevada de la cordillera central hacia el este y está caracterizada por el predominio de días frescos en verano y fríos o muy fríos en invierno. Según la altitud, en ella ocurren variados tipos del régimen térmico por efectos locales.

Región D: El Amazonas, región que presenta un régimen térmico estable, que se identifica por el predominio de los días muy cálidos y muy húmedos (categoría B5).

En primer lugar, en la estructura así lograda se destaca que varias estaciones tienen la misma categoría predominante todos los meses del año, lo cual resulta una condición esencial del clima ecuatorial que se caracteriza por su pequeña variabilidad estacional. O sea, tanto en las zonas costeras y de menor altitud, como en los diferentes anillos verticales que el relieve define en el régimen térmico, se observa una gran estabilidad del complejo temperatura máxima-mínima a través del año calendario.

Ejemplos de lo anterior se encuentran en las localidades de Portoviejo (46 m) y Nuevo Rocafuerte (185 m) en la categoría de los días muy cálidos, Puyo y Gualaquiza en la categoría de los días confortables, así como en todas las estaciones situadas por encima de los 2,500 m de altitud: Otavalo (2,550 m), Guaslán (2,850 m), San Gabriel (2,860 m), El Ángel (3,000 m), Izobamba (3,058 m) y Cañar (3,083 m).

En las localidades situadas por debajo de los 400 m sobre el nmm se encuentra el predominio de las categorías más cálidas del complejo máxima - mínima ([Fig. 6](#)), las que cubren hasta el 80 % de los días del año, con su máximo bien definido entre los meses de febrero y mayo.

Tabla 5. Estructura preliminar del régimen térmico del Ecuador.

Lugares	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Concordia	B4	B4	B5	B5	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4
S. Cristobal	B4	B5	B5	B5	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4
Milagros	B4	B5	B5	B5	B5	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B5
Pichilingue	B4	B5	B5	B5	B5	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B5
Machala	B5	B5	B5	B5	B5	B4	B4	B4	B4	B4	B4	B4
Babahoyo	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B4	B4	B5	B5	B5	B5
Portoviejo	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5
Quito	D3	D3	D3	D3	D3	D3	D3,E3	D3	D3	D3	E3	D3
Salcedo	E3	D3	E3	D3	E3	E2	E2	E2	E3	E3	E3	E3
Chillanes	E2	E2	E2	E2,E3	E3	E2	E3	E3	F3	E3	E3	E2
Otavalo	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3
Guaslán	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3	E3
San Gabriel	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2
El Ángel	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E1	E2	E2	E2	E2	E2
Isobamba	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2
Cañar	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2	E2
La Argelia	D3	D3	D3	D3	D3	D2	D2	D2,D3	D3	D3	D3	D3
Pauté	D4	D4	D4	D3	D4	D3	D3	D3	E3	E3	D4,E4	D4
Puyo	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4
Gualaquiza	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	C4	D4	C4	C5	C4
Nuevo Rocafuerte	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5	B5

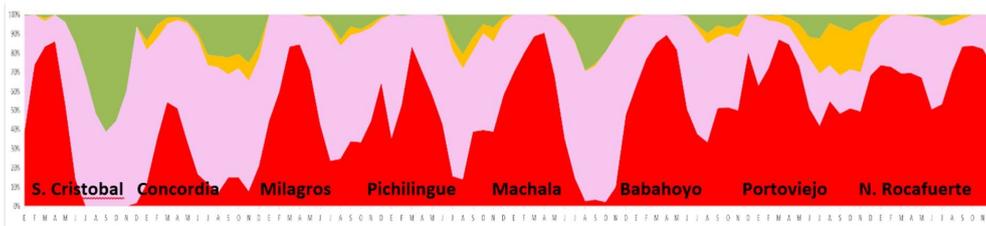


Figura 6. Estructura anual del régimen térmico por debajo de los 400 m, en corte transversal desde Galápagos hasta Nuevo Rocafuerte.

La categoría de días confortables se observa en los meses invernales con una frecuencia entre 10 % y 20 % de los días del año, siendo mayor su frecuencia en San Cristobal, Galápagos, donde alcanza el 50 % de los días del año y se extiende desde mayo hasta octubre.

El complejo relieve de Ecuador produce anillos verticales del régimen térmico con peculiaridades bien definidas entre sí. En el intervalo de alturas donde se ubican las montañas bajas y medias, comprendido aproximadamente entre 700 m y 2,300 m sobre el nmm, se produce paulatinamente la disminución de las categorías cálidas, aumenta la frecuencia de la categoría de los días confortables o frescos, hasta ser la predominante en dicho intervalo; y comienza a observarse la frecuencia de los distintos tipos de días fríos y muy fríos.

El diagrama compuesto de la Fig. 7 muestra muy bien este cambio vertical progresivo del régimen térmico, pero la falta de estaciones no permite hacer un corte transversal completo, en sentido oeste - este, a través de la cordillera central. Este corte debe visualizar objetivamente la dinámica vertical de las distintas categorías observadas a este nivel de altitud.

Por último en las regiones montañosas más altas el predominio de los días fríos y muy fríos es casi absoluto por encima de los 2,300 m sobre el nmm, aunque en dependencia de factores locales pueden ocurrir variantes en las características del verano o en la duración y extensión de la cubierta de nieves perpetuas (Fig. 8).

Estas regiones del país son apropiadas para el desarrollo de deportes invernales y tratamientos especializados de la aeroterapia y helioterapia, para el fortalecimiento de las capacidades inmunológicas individuales y del sistema termorregulador de los individuos más vulnerables a los efectos meteorotrópicos.

De este análisis se puede concluir que existen en Ecuador tres estructuras principales de las características estacionales del régimen térmico: las que incluyen a las localidades sin estacionalidad, que mantienen todo el año la misma categoría predominante, así como a las localidades con baja estacionalidad, caracterizadas por dos categorías predominantes del régimen térmico.

En la muestra estudiada solo se identificaron tres localidades con cuatro períodos o épocas climáticas:

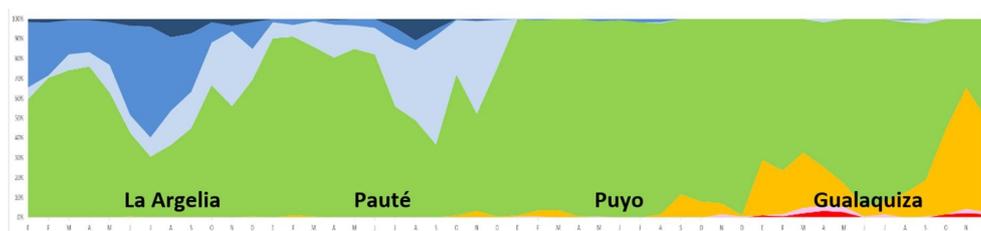


Figura 7. Estructura anual del régimen térmico en las montañas bajas y medias (vertiente oriental de la cordillera central).



Figura 8. Estructura anual del régimen térmico por encima de los 2,300 m, visto en corte desde Quito hasta las cumbres más elevadas del país.

Salcedo, Pauté y Gualaquiza. O sea, hay zonas en el país que por determinadas condiciones locales tienen mayor variabilidad estacional del régimen térmico, lo cual se podrá estudiar con mayor detalle cuando se disponga de suficiente información para todo el país.

Relación entre las categorías del régimen térmico y el umbral de adaptación de la población local

Todo el análisis previo, a pesar de su carácter preliminar, aporta importantes elementos de juicio sobre la interrelación específica que existe entre el comportamiento del régimen térmico local, las regiones naturales del país y el umbral de adaptación de la población residente. Para ello es fundamental dar una adecuada interpretación biometeorológica al contenido de la [Tabla 5](#), de donde se pueden inferir los aspectos siguientes:

- El ciclo estacional de la Zona Intertropical de Convergencia (ZIC) tiene una gran influencia en las características climáticas estacionales del Ecuador. Durante el período de máxima declinación meridional de la ZIC se produce el período lluvioso en la mayor parte del país, lo cual influye en el régimen térmico local, por lo que resulta muy recomendable analizar en el futuro la interacción entre el régimen térmico y el régimen de humedecimiento, actualizando los resultados de investigaciones precedentes como la realizada por [Cañadas \(1983\)](#).
- La población que vive en los lugares con baja estacionalidad o con el mismo régimen térmico todo el año resulta más vulnerable a los cambios bruscos de la temperatura del aire y está más expuesta a la influencia de los efectos meteorotrópicos.

- La variación vertical del régimen térmico en Ecuador es mucho más significativa que sus cambios horizontales. La población que por razones de trabajo u otra índole se desplaza con frecuencia entre anillos verticales contrastantes del régimen térmico, recibe un adecuado entrenamiento de su sistema termorregulador. Por ello el clima ecuatoriano tiene un elevado potencial para la climatoterapia aún no explotado ([Fig. 9](#)).
- La población que reside permanentemente en las zonas con baja estacionalidad debe programar sus períodos de vacaciones en otras zonas con régimen térmico contrastante con respecto a su lugar de origen, aprovechando estos períodos para el fortalecimiento de la salud individual.

La correspondencia que se establece entre la categoría del régimen térmico así definido y la sensación térmica de la población en cada lugar está dada porque se trata de una condición predominante del régimen térmico, y es por lo tanto: el umbral térmico a que está mejor adaptada la población local.

Por lo tanto, al representar cartográficamente los mapas con la regionalización climática del régimen térmico anual, por épocas del año o por meses y el patrón estacional de las categorías predominantes en cada localidad, se dispone realmente de una valiosa información para comprender las variaciones espaciotemporales de las capacidades de adaptación de la población residente ante la variabilidad del clima y del tiempo.

El comportamiento extremo del régimen térmico del aire

El clima ecuatoriano presenta comportamientos extremos del régimen térmico, justificado por las



Figura 9. Estructura vertical del régimen térmico de Ecuador (2009-2014).

condiciones complejas del relieve del país. En las zonas llanas ocurren temperaturas muy altas (superiores a 35° C), las cuales producen intensas sensaciones de calor sofocante durante el verano en las zonas llanas más alejadas de la costa; mientras que en las regiones de montañas bajas y medias el régimen térmico está caracterizado por temperaturas confortables o frescas casi todo el año; y en las zonas montañosas más elevadas se observan temperaturas frías y muy frías, todo lo cual produce en el país un benéfico efecto de contraste térmico asociado a los cambios del relieve, preferido por una gran parte de la población al disfrutar de diversos regímenes climáticos y de paisajes geográficos muy diversos que son la base de los tratamientos de la climatoterapia.

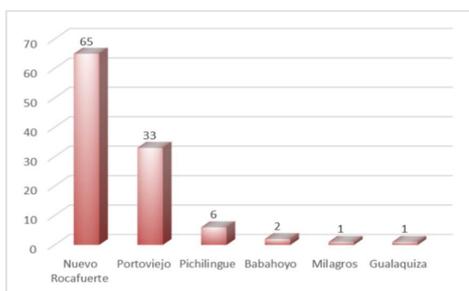
El análisis del comportamiento extremo del complejo temperatura máxima - mínima comienza por calcular el número de días al año y por meses con la temperatura máxima por encima de ciertos umbrales, por ejemplo 35°C, 30°C y 25°C. En el primer caso la ocurrencia anual de las máximas superiores a 35° C define las localidades con mayor frecuencia de sensaciones de calor extremo (Fig. 10A). Se destacan Nuevo Rocafuerte con 65 días y Portoviejo con 33 días, para un promedio anual de 10.8 días y 5.5 días, respectivamente. En las restantes estaciones analizadas y que se encuentran por debajo de los 400 m sobre el nmm, la ocurrencia de días con temperaturas máximas superiores a 35° C fue nula o estuvo por debajo de los 10 casos en todo el período de seis años estudiado. La época más intensa del verano para estas estaciones se enmarca entre

los meses de septiembre y marzo, con un máximo bien definido en el trimestre septiembre - noviembre (Fig. 10B).

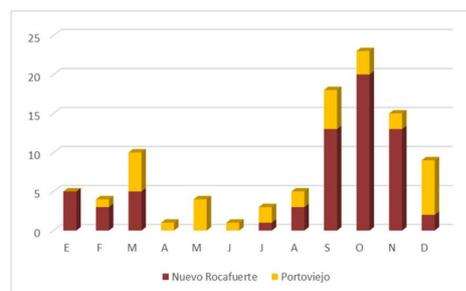
Sin embargo, hay diferencias entre ambas estaciones que se encuentran situadas a ambos lados de la cordillera montañosa central. En el caso de Nuevo Rocafuerte, la ocurrencia de temperaturas máximas superiores a 35° C se enmarca entre los meses de agosto y marzo, mientras que en Portoviejo, situada en la llanura costera occidental, tales temperaturas ocurren entre los meses de marzo y diciembre.

Por su parte, las frecuencias observadas de las temperaturas máximas superiores a 30° C, 25° C y 20° C definen la estructura vertical del período cálido del año. Como se observa en la Fig. 11, a partir de la altitud de Puyo (960 m) en la provincia de Pastaza no ocurren máximas superiores a los 30° C, sobre la altitud de Pauté (2,194 m) en la provincia de Azuay no se observan máximas por encima de los 25° C y por encima de los 3,000 m sobre el nmm no ocurren máximas superiores a los 20° C. Este resultado arroja un gradiente vertical de disminución de las máximas diarias de, aproximadamente, 1° C cada 200 m de elevación, el cual puede variar ligeramente en dependencia de factores locales y el grado de exposición de las pendientes.

Las temperaturas mínimas también responden a la influencia del relieve. La ocurrencia de mínimas inferiores a 15° C no se observa, prácticamente, por debajo de la altitud de Gualaquiza, localidad situada



(A)



(B)

Figura 10. (A) Total anual de días con T_{max} > 35°C; (B) Marcha anual de los días con T_{max} > 35°C en Nuevo Rocafuerte y Portoviejo (2009-2014).

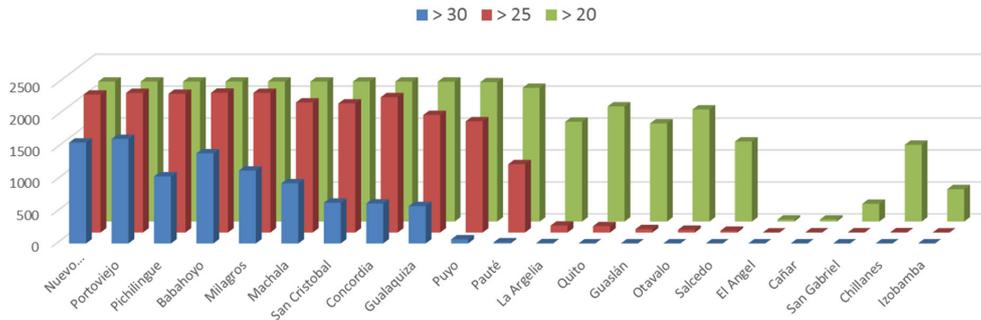


Figura 11. Número de días con temperaturas máximas por encima de diferentes umbrales (2009-2014).

a 750 m sobre el nmm (Fig. 12). Las mínimas por debajo de 10° C no son frecuentes en las zonas por debajo de la altitud de La Argelia (2,160 m) y las mínimas inferiores a 5° C solamente se observan en las zonas más elevadas de la cordillera central, generalmente por encima de los 2,300 m sobre el nmm.

El máximo de ocurrencia de las mínimas más bajas en el país, dentro de las estaciones estudiadas en este trabajo, se presenta en las localidades de Izoamba y Chillanes con 552 y 528 días, lo que equivale a una media anual de 92 y 88 días, respectivamente, para el período 2009-2014. Como se aprecia en la Fig. 13, el período en que resultan más frecuentes tales temperaturas mínimas extremas se extiende

desde mayo hasta diciembre, con un claro máximo estacional en los meses de agosto y septiembre.

Al igual que en el caso de las temperaturas máximas, el comportamiento de las mínimas muy bajas también está influido por los factores físico-geográficos locales, especialmente el relieve, y existen diferencias notables de un lugar a otro, incluso estando relativamente cerca entre sí.

Por último, la Fig. 14 muestra integralmente la importante diversidad y variación espacio-temporal del régimen térmico ecuatorial, lo cual constituye un valioso recurso natural para el país, al permitir la diversificación de producciones agropecuarias, silvícolas y forestales, múltiples usos de la tierra y el desarrollo de variadas actividades socioeconómicas.

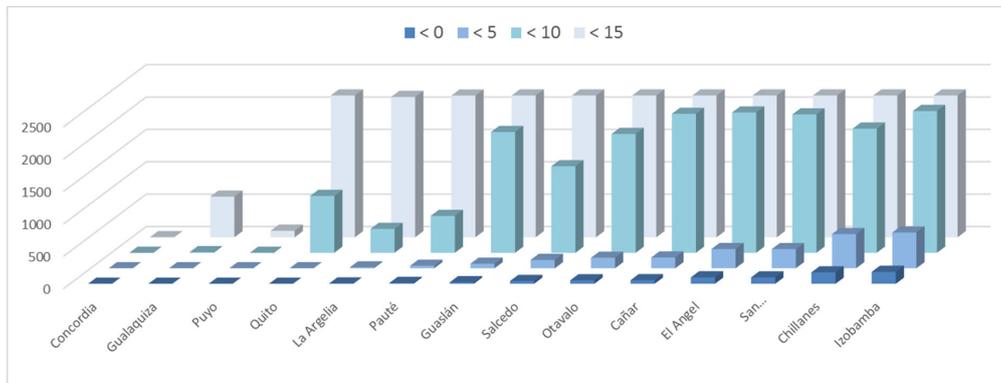


Figura 12. Días con temperaturas mínimas inferiores a varios umbrales prefijados (2009-2014).

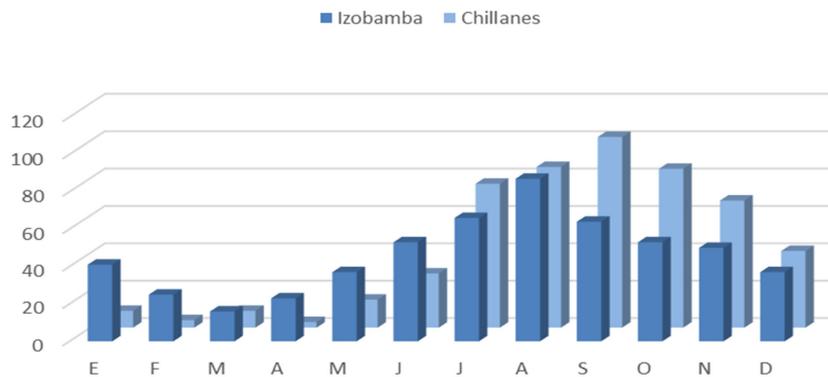


Figura 13. Número de días con temperaturas mínimas inferiores a 5°C en Izoamba y Chillanes.

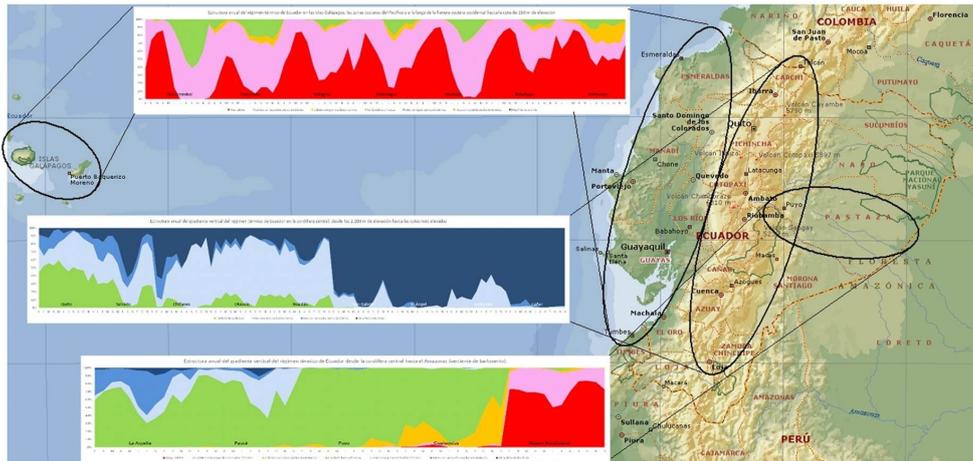


Figura 14. Representación integrada de la estructura del régimen térmico.

DISCUSIÓN

El estudio de las características y estructura del régimen térmico del aire en Ecuador, utilizando el comportamiento del complejo temperatura máxima - mínima de cada día ha demostrado su utilidad, aunque el presente análisis preliminar se refiere solamente a una muestra de 22 estaciones. Se demuestra la importante influencia que tiene el relieve y otros factores geográficos sobre la estructura del régimen térmico del aire, especialmente su pronunciada variación vertical, lo que permite encontrar en el país una amplia diversidad de climas, paisajes geográficos y regiones naturales.

Se describe por primera vez para el país la manera en que cambia de forma dinámica la estructura espacio-temporal del régimen térmico. Ello permite determinar las peculiaridades de los anillos verticales o zonas térmicas según las categorías, tipos y subtipos predominantes del complejo temperatura máxima - mínima, así como valorar sus comportamientos extremos y el nivel de peligro asociado a la ocurrencia potencial las sensaciones térmicas extremas (olas de calor o frío). También se aportan importantes fundamentos para el diseño y aplicación de los diferentes tipos de procedimientos climatoterapéuticos que se pueden establecer a partir del uso potencial del clima como un recurso económico para fines turístico-recreativos, la salud humana y las producciones agropecuarias.

Se pudo valorar con precisión el comportamiento estacional del régimen térmico en las localidades estudiadas, representativas de amplias zonas del territorio nacional. Predominan las zonas con pequeña variación estacional, aunque en ciertos lugares se pueden encontrar puntos con estacionalidad normal, o sea, hasta cuatro períodos bien definidos en diferentes épocas del año. La pequeña variabilidad espacial del régimen térmico se compensa con una marcada variación vertical, dada por la significativa influencia del relieve. Ello permite encontrar muy diversos tipos

de clima y variadas estructuras del régimen térmico local. Cuando se disponga de más estaciones, será posible realizar la cartografía de las categorías, tipos y subtipos del régimen térmico del aire en el país.

Se encuentra una estrecha relación entre las categorías predominantes del régimen térmico y el patrón de adaptación de la población residente. Este patrón cambia desde zonas con baja adaptación, donde la población resulta más vulnerable porque se expone todo el año a un solo tipo de estructura del régimen térmico, hasta las zonas con buena adaptación, en las cuales la población es menos vulnerable porque experimenta cada año un ciclo definido y variado de contrastes estacionales del complejo temperatura máxima - mínima. La gran ventaja del variado contraste vertical de la estructura del régimen térmico ecuatoriano es que se pueden aplicar procedimientos climatoterapéuticos para el fortalecimiento de la salud en las personas vulnerables, propiciando viajes frecuentes entre los anillos verticales contrastantes o realizando actividades estacionales de aeroterapia (incluyendo la práctica de deportes al aire libre) durante los períodos vacacionales de amplios sectores de la población.

En sentido general, desde el punto de vista sanitario, se pueden propiciar los movimientos pendulares estacionales y masivos de la población, que desde las zonas costeras y llanas se mueve hacia las regiones montañosas elevadas y viceversa, aprovechando las condiciones naturales de cada región, las características geográficas y la estructura contrastante del régimen térmico, para diseñar y aplicar diversos los tipos tres tipos de tratamientos que ofrece la climatoterapia, a saber: la helioterapia, la talasoterapia y la aeroterapia.

De esa forma, por ejemplo, es posible combinar los tratamientos médicos con excursiones y ofertas turísticas durante los períodos vacacionales de la población, para vincular de forma basculante a los habitantes de Guayaquil vs Quito, Cuenca o Loja;

y en sentido contrario: ofrecer a las poblaciones de las ciudades altas opciones para disfrutar del área protegida de las Islas Galápagos y de toda la zona costera.

CONCLUSIONES

Se logra realizar una evaluación preliminar del régimen térmico del aire del Ecuador, basada en el carácter diferencial de las temperaturas extremas diarias del aire, aplicando satisfactoriamente el método de la climatología compleja. Se caracteriza la gran diversidad del régimen térmico existente en el país, analizando su potencial de uso y el grado de contraste regional, como fundamentos para el diseño y desarrollo de los tratamientos principales de la climatoterapia, facilitando el uso del clima local con fines turísticos y productivos. Se recomienda continuar profundizando estos estudios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen profundamente al Lic. Raul Mejías por su apoyo incondicional a la realización de esta investigación y el aporte de la información diaria del complejo temperatura máxima-mínima, realizado en el contexto del desarrollo de servicios climáticos de interés para actividades socioeconómicas de la región de Guayas.

REFERENCIAS

- Cañadas, L. (1983). El mapa bioclimático y ecológico de Ecuador. Ed. MAG-PRONAREC, Quito; 214 pp.
- Lecha, L. (1987a). El comportamiento de las temperaturas extremas anuales en Cuba. Reporte de Investigación del INSMET 22, Octubre; 21pp.
- Lecha, L. (1987b). Tipificación del campo de las temperaturas extremas en la región central de Cuba. Reporte de Investigación del INSMET 23, Diciembre; 13 pp.
- Lecha, L. y A. Florido (1989). Principales características climáticas del régimen térmico del archipiélago cubano. Edit. Academia, La Habana; 56 pp.
- Lecha, L. y A. Chugaev (1989). La bioclimatología y algunas de sus aplicaciones en las condiciones de clima tropical húmedo. Edit. Academia, La Habana; 35 pp.
- Lecha, L. y M. Nourzhanova (1990). Descripción preliminar del clima de Nicaragua según los estados del tiempo diarios. Rev. Cubana Meteorología 3, 1; 53-61.
- Lecha, L. (2019). Pronósticos Biometeorológicos [eBook]. Ed. Citmatel, La Habana; 210 p. ISBN 978-959-237-752-3.
- Lugo, D. (2008). Programa automatizado para procesar los datos diarios de dos series climáticas relacionadas mediante Tabla de Contingencia. Centro de Estudios y Servicios Ambientales (CESAM), Villa Clara, Cuba. Manual de Usuario; 54 pp.
- Martín, D. y L. Lecha (2012). La variabilidad espacio-temporal del régimen térmico en España como fundamento para evaluar los efectos potenciales del estado del tiempo sobre la salud humana. En: Resúmenes del VIII Congreso de la Asoc. Española de Climatología, Salamanca, España, Septiembre 22-26 (2012). http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0081_PU-SA-VIII-2012-D_MARTIN.pdf
- Martín, D., L. Lecha, J. Olcina y P. Fernández de Arróyabe (2012). Clasificación compleja y objetiva de los estados del tiempo diarios, según la estructura del régimen térmico del aire y otros indicadores biometeorológicos. En: Resúmenes del VIII Congreso de la Asoc. Española de Climatología, Salamanca, España, Septiembre 22-26 (2012). http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0082_PU-SA-VIII-2012-D_MARTINESTEVEZ.pdf
- Roncancio, D.J., Nardocci, A.C. y Lecha, L. (2017). Evaluation of climate variability and temperature extremes in the Colombian Andes region. En: Resúmenes del XX Congreso de la Soc. Int. Biometeorología, Durham, Reino Unido.

Luis B. Lecha Estela. Centro Meteorológico de la Isla de la Juventud, Instituto de Meteorología, Cuba. E-mail: luis.lecha@gmail.com

José L. Santos Dávila. Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas y Recursos Naturales, Guayaquil, Ecuador. E-mail: jlsantos@espol.edu.ec

José A. Rodríguez Ruiz. Dirección Regional Técnica Hidrometeorológica de Guayas/Galápagos, Guayaquil, Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), Ecuador. E-mail: agonzalez@inamhi.gob.ec