

<https://doi.org/10.69639/arandu.v13i3.2483>

Variación de los flujos energéticos superficiales con la altitud en la baja atmósfera de la provincia de Chimborazo, Ecuador

Variation of Surface Energy Fluxes with Altitude in the Lower Atmosphere over Chimborazo Province, Ecuador

Arquímides Xavier Haro Velasteguí

aharo@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3391-5082>

Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería
Ecuador – Riobamba

Maria Magdalena Paredes Godoy

maparedes@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-8211-0400>

Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería
Riobamba – Ecuador

Raúl Ulises Sánchez Moscoso

rsanchez@unach.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6102-2938>

Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Laboratorio de Física Aplicada
Riobamba – Ecuador

Artículo recibido: 10 julio 2026- Aceptado para publicación: 16 agosto 2026
Conflictos de intereses: Ninguno que declarar.

RESUMEN

La variación de la altitud, la posición geográfica y la orografía irregular de la provincia de Chimborazo dan lugar a la formación de diversos microclimas, lo que se traduce en una dinámica variable dentro de la capa límite atmosférica. En esta dinámica resultan fundamentales los flujos de energía superficial generados por la interacción aire-suelo. En este sentido, el presente trabajo analiza la variación de dichos flujos y la influencia de la altitud en su comportamiento, considerando tres zonas de estudio ubicadas a diferentes altitudes de la provincia: Cumandá (331 m s. n. m.), Riobamba (2 754 m s. n. m.) y Tixán (3 546 m s. n. m.). Se emplearon datos horarios correspondientes a un período de tres años, obtenidos de la red de estaciones meteorológicas de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), a los cuales se les aplicó el modelo dinámico formulado por Van Ulden y Holtslag para determinar los flujos de calor sensible, calor latente y calor superficial generados en la interacción aire-suelo. Los resultados muestran que el calor latente disminuye de forma paulatina con el incremento de la altitud, mientras que el calor sensible presenta un mayor incremento durante las horas del día; en contraste, el calor latente y el calor superficial tienden a aumentar principalmente durante las horas de la noche.

Palabras clave: flujos térmicos; radiación neta; calor latente; calor superficial; calor sensible

ABSTRACT

Variations in altitude, geographical location, and the irregular orography of Chimborazo Province give rise to diverse microclimates, which translate into variable dynamics within the atmospheric boundary layer. Within these dynamics, the surface energy fluxes generated by land-atmosphere interactions are fundamental. Accordingly, this study analyzes the variation of these fluxes and the influence of altitude on their behavior by examining three study areas located at different elevations within the province: Cumandá (331 m a.s.l.), Riobamba (2,754 m a.s.l.), and Tixán (3,546 m a.s.l.). Hourly data spanning a three-year period were obtained from the meteorological station network of the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). The dynamic model formulated by Van Ulden and Holtslag was applied to these data to determine the sensible heat, latent heat, and ground heat fluxes generated by land-atmosphere interaction. The results demonstrate that while latent heat gradually decreases with increasing altitude, sensible heat exhibits a more pronounced increase during daytime hours. Conversely, latent heat and ground heat tend to rise primarily during nighttime hours.

Keywords: heat fluxes, net radiation, latent heat, ground heat, sensible heat

Todo el contenido de la Revista Científica Internacional Arandu UTIC publicado en este sitio está disponible bajo licencia Creative Commons Attribution 4.0 International. 

INTRODUCCIÓN

El tema que aborda este trabajo es el comportamiento de los flujos de energía superficial —calor sensible, calor latente, calor superficial y radiación neta— dentro de la capa límite atmosférica (CLA), el nivel donde tienen lugar los procesos dinámicos más importantes de la atmósfera al relacionarse el aire con el suelo o con el mar (Conangla Triviño et al., 1999). Esta interacción entre la atmósfera y la superficie terrestre origina flujos de energía en sus múltiples formas, fundamentales para la dinámica atmosférica y para las actividades que se desarrollan en cada zona (Wallace & Hobbs, 2006). Sin embargo, en territorios de orografía compleja como la sierra ecuatoriana, donde la altitud varía de forma abrupta en distancias cortas, aún se comprende de manera limitada cómo se modifica la partición de estos flujos energéticos entre zonas ubicadas a distinta altura y con distinta cobertura de suelo, lo que constituye el problema de investigación que este estudio busca abordar.

Comprender esta dinámica resulta relevante porque la CLA condiciona, en gran medida, el desarrollo de la vida y de las especies que la habitan, y resulta determinante para las actividades humanas, en particular el aprovechamiento de recursos naturales. Esta relevancia se acentúa en la provincia de Chimborazo, cuya posición geográfica y marcada variación altitudinal —entre 500 y 6 310 msnm—, propia de la cordillera de los Andes, dan lugar a múltiples microclimas entre valles y montañas (INAMHI, 2021); conocer el comportamiento energético superficial en estas condiciones aporta información de base para la gestión de recursos naturales, la planificación territorial y estudios posteriores de dispersión de contaminantes o de agroclimatología en la región.

El estudio se enmarca teóricamente en la física de la capa límite atmosférica y su naturaleza turbulenta: en cualquier punto de la CLA se observan típicamente fluctuaciones bruscas en la velocidad, la presión, la temperatura o el contenido de humedad del aire (Haro et al., 2018), y es precisamente el mecanismo de mezcla turbulenta el que propaga de forma rápida y eficiente, a través de toda la capa, el impacto de la fricción superficial, el calentamiento del suelo y la evaporación (Van Ulden & Holtslag, 1985). Sin turbulencia, este intercambio estaría gobernado por procesos moleculares de magnitud varios órdenes menor —entre 10^{-3} y 10^{-6} veces los valores actuales— (Stull, 1988). Sobre esta base física se aplica como marco de cálculo la teoría de Van Ulden-Holtslag, que permite estimar los flujos superficiales de calor sensible (Q_h), calor latente (Q_e), calor superficial (Q_g) y la radiación neta (Q^*) a partir de variables como la densidad del aire, el calor específico, el albedo superficial y los parámetros meteorológicos de radiación neta, presión, humedad, temperatura y velocidad del viento.

Como antecedentes, diversos autores coinciden en que la atmósfera obtiene de la superficie terrestre la mayor parte de su calor y que, pese a que la CLA representa solo una fracción reducida de la atmósfera —con un espesor que varía típicamente entre 30 y 3 000 m según el calentamiento

superficial, la velocidad del viento y la rugosidad del terreno—, en su interior se generan y transmiten los procesos energéticos que resultan determinantes para los fenómenos meteorológicos de gran escala y la circulación general atmosférica (Burgos Cuevas, 2014; Pareja, 2010). Estos antecedentes han caracterizado principalmente el comportamiento de la CLA en superficies homogéneas o en zonas puntuales; el presente trabajo aporta a esa línea de investigación al comparar simultáneamente tres zonas con altitudes y coberturas superficiales marcadamente distintas dentro de una misma provincia, lo que permite contrastar el efecto del gradiente altitudinal frente al efecto de las características locales de cada superficie.

El estudio se desarrolla en la provincia de Chimborazo, considerando tres zonas representativas del gradiente altitudinal de la región: la ciudad de Cumandá (331 msnm), la ciudad de Riobamba (2 754 msnm) y la parroquia de Tixán (3 546 msnm), donde la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) mantiene estaciones meteorológicas (Gobierno Provincial de Chimborazo, 2020). Para cada zona se emplearon tres años de datos horarios continuos (2020-2022), periodo en el que las series se encontraron completas.

En este marco, el objetivo general del estudio es analizar y comparar el comportamiento de los flujos de energía superficial (calor sensible, calor latente, calor superficial y radiación neta) en las tres zonas de estudio, mediante la aplicación del modelo de Van Ulden-Holtstag ajustado a las condiciones particulares de cada zona, con el fin de establecer en qué medida dicho comportamiento responde al gradiente altitudinal y en qué medida a las características superficiales locales de cada sitio.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, en la medida en que se trabaja con series numéricas de variables meteorológicas y flujos de energía, cuyo análisis se sustenta en el cálculo estadístico de valores promedio, máximos y mínimos, así como en la aplicación de un modelo matemático de estimación. Por su alcance, la investigación es de tipo descriptivo-comparativo, ya que su propósito es caracterizar el comportamiento de los flujos de energía superficial en cada zona y contrastar dichos resultados entre sí; adicionalmente, tiene un componente aplicativo, dado que emplea un modelo teórico preexistente (Van Ulden-Holtstag) sobre datos reales de la región de estudio.

El diseño es observacional y no experimental, ya que los investigadores no alteraron las variables meteorológicas; estas fueron registradas por las estaciones meteorológicas en su estado natural. Además, tiene un enfoque longitudinal, puesto que se recopilaban registros horarios continuos a lo largo de tres años (2020-2022), lo que permite examinar el comportamiento de los flujos energéticos a diferentes horas del día, en distintos días y meses. Finalmente, el diseño es comparativo de casos múltiples, ya que compara tres zonas de estudio (Cumandá, Riobamba y Tixán), que presentan diferencias en altitud y cobertura del suelo.

La unidad de análisis del estudio no corresponde a sujetos, sino a registros horarios de variables meteorológicas (velocidad del viento, precipitación, temperatura, radiación solar, presión y humedad) obtenidos de tres estaciones meteorológicas administradas por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), ubicadas en Cumandá, Riobamba y Tixán. El muestreo fue no probabilístico, por conveniencia, seleccionándose estas tres estaciones por disponer de series horarias completas y continuas durante el periodo 2020-2022, condición indispensable para la aplicación del modelo de balance de energía.

La recopilación de datos se llevó a cabo mediante un registro instrumental automatizado en las estaciones meteorológicas, incluyendo sensores de radiación neta, temperatura, humedad, presión y velocidad del viento. Esta información fue extraída de la base de datos institucional de la ESPOCH para el periodo 2020-2022. Adicionalmente, se utilizó la revisión documental de literatura especializada en modelación de la capa límite atmosférica como técnica complementaria para respaldar el marco teórico del estudio.

El método utilizado aborda el balance completo de energía de un volumen específico de aire dentro de la capa superficial, ubicada dentro de la capa límite atmosférica. Esta capa es la región de aire que se encuentra entre la superficie terrestre y la parte inferior de la atmósfera, según Arya (2001). En su forma más simplificada, la ecuación del balance de energía se representa como aparece en la Ec. (1):

$$R_N = Q_G + Q_H + Q_E \quad (1)$$

- R_N — flujo de radiación neta
- Q_G — flujo de calor almacenado en el suelo
- Q_H — flujo de calor sensible
- Q_E — flujo de calor latente

La ecuación no considera la energía invertida en la fotosíntesis, al ser despreciable frente a los demás flujos energéticos (Haro et al., 2018); tampoco se considera la divergencia horizontal de calor latente y sensible dentro del volumen, y se asume nulo el flujo de calor advectivo procedente de zonas circundantes (efecto "oasis"), para lo cual es necesario delimitar una zona de amortiguamiento alrededor de la parcela experimental, en particular en zonas áridas con irrigación artificial (Monteith & Unsworth, 2013).

Los términos de R_N y Q_G pueden medirse de manera directa: R_N se determina con un radiómetro de radiación neta, un sistema compuesto por termopares de láminas ennegrecidas que detecta la radiación global incidente y reflejada en cada cara, registrando su diferencia. De manera similar, Q_G se mide mediante termopares enterrados en el suelo. Omitir Q_G podría introducir errores significativos, ya que durante las primeras horas de la mañana, este valor puede ser negativo y alcanzar hasta un 25% de R_N . El error asociado aumenta mientras más corto sea el intervalo de medición y más cercanas sean las horas matutinas. En algunas circunstancias, Q_G se estima de manera empírica como una función fija de R_N , según Haro et al., 2018.).

Los flujos de calor sensible (QH) y calor latente (QE) no pueden medirse por separado: QH corresponde al calor que incrementa la temperatura del aire en el volumen considerado, mientras que QE es la energía empleada exclusivamente en producir evaporación. El cociente entre ambos (QH/QE) se conoce como relación de Bowen (Dal Pai et al., 2011; Reyes, 2001; Businger et al., 1971; Finzi & Brusasca, 1991; Kiely, 1999; Van Ulden & Holtslag, 1985). Partiendo del balance de energía superficial, el flujo de calor en el suelo se aproxima como $Q_G = a \cdot R_N$, donde $a = 0,1$ para áreas rurales y $a = 0,3$ para áreas urbanas (Doll, Ching y Kaneshire).

La radiación neta puede parametrizarse, según la Ec. (2), en función del albedo superficial (A), el ángulo de elevación solar (θ), la fracción de nubosidad (N), el flujo de radiación de onda corta (QSW) y la temperatura superficial (T):

$$R_N = [(1 - A) \cdot Q_{SW} + c_1 \cdot T^6 - \sigma \cdot T^4 + c_2 \cdot N] / (1 + c_3) \quad (2)$$

donde $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ es la constante de Stefan-Boltzmann, $c_1 = 5,31 \times 10^{-13} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-6}$ y $c_2 = 60 \text{ W m}^{-2}$; el parámetro c_3 depende, a su vez, del albedo y del ángulo de elevación solar. Cuando QH no se dispone de forma observada, este puede parametrizarse según la Ec. (3), como función de la fracción de radiación de onda corta (f) y de la nubosidad (N), siguiendo el esquema de Holtslag y Van Ulden (1985):

$$Q_H = (a_1 f + a_2) \cdot (1 - b_1 \cdot N^{b_2}) \quad (3)$$

con $a_1 = 990 \text{ W m}^{-2}$, $a_2 = -30 \text{ W m}^{-2}$, $b_1 = 0,75$ y $b_2 = 3,4$ (Van Ulden y Holtslag, 1985). El parámetro b, empleado en el cálculo del calor almacenado en el suelo, se asume constante e igual a 20 W m^{-2} . Este conjunto de ecuaciones —ajustado con los parámetros de densidad, calor específico y albedo propios de cada zona— constituye el modelo aplicado a los datos horarios de Cumandá, Riobamba y Tixán para obtener los resultados presentados a continuación.

En esta sección, se desarrollen una breve descripción de la metodología empleada. Esto incluye identificar si el enfoque adoptado es cuantitativo, cualitativo o una combinación de ambos. Es fundamental especificar el tipo de investigación que puede ser exploratoria, descriptiva, relacional, explicativa, predictiva o aplicada, o conforme a la clasificación que el autor de base utilice.

Además, es crucial detallar el diseño implementado, como si fue observacional o experimental; transversal o longitudinal; fenomenológico; constructivista, u otro tipo. Se debe señalar la población de estudio, los informantes clave o la muestra y el método de muestreo aplicable.

En cuanto a las técnicas de recolección o producción de datos, pueden incluir métodos cuantitativos como el censo, la encuesta o la observación estructurada, y en lo cualitativo, se destacan las entrevistas, la revisión documental y la observación etnográfica. Es importante resaltar también los instrumentos de recolección y/o materiales de apoyo utilizados para la producción de datos en cada caso, como guías para entrevistas u observaciones, bitácoras, entre otros.

Es relevante también abordar las consideraciones éticas, los criterios de inclusión y exclusión y mencionar cualquier limitación si aplica. Estos elementos sugeridos permiten a los lectores conocer las estrategias metodológicas, además de valorar su rigor y coherencia, así como la posibilidad de replicar tanto los procedimientos como el estudio en su conjunto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En primera instancia se presenta una tabla en la cual se presenta la ubicación de las estaciones meteorológicas (tabla 1) y se observa los valores promedios calculados de los datos meteorológicos usados para desarrollar el trabajo (tabla2).

Tabla 1

Ubicación de estaciones meteorológicas con sus respectivas alturas

Nº	Estaciones Meteorológicas	Cantón/Parroquia	X	Y	Altura (m)
1	Cumanda	Cumandá/ Cumandá	706262	9755579	331
2	Riobamba	Riobamba/ Lizarzaburu	758398	9816965	2754
3	Tixan	Alausi/ Tixán	749115	9761350	3546

Tabla 2

Parámetros meteorológicos promedios

PARAMETRO	Cumanda	Riobamba	Tixán
Velocidad (m/s)	2,03	2,25	4,27
Temperatura (°C)	25,30	13,20	8,24
Radiación solar (W/m ²)	118,33	216,16	195,91
Presión (mb)	975,62	768,38	700,00
Humedad (%)	86,70	75,57	83,98

En la tabla 1 se observan los parámetros meteorológicos medios de las variables meteorológicas principales en la ciudad de Riobamba durante los dos años de análisis.

La variación de los flujos de calor como de la radiación se observan bastante regulares en los diferentes días (tabla 3), particularmente esta es mayor en el flujo de calor latente y superficial.

Tabla 3

Flujos superficiales de calor sensible Q_h , calor latente Q_e , calor superficial Q_g y radiación neta media, de Cumanda, Riobamba y Tixan

FLUJOS	PROMEDIO		
GENERAL:	Cumandad	Riobamba	Tixan
Q_h (W/m ²):	29,42	43,54	28,18
Q_e (W/m ²):	49,88	44,43	34,08

Q_g (W/m^2):	33,98	37,7	26,69
Q_l (W/m^2):	113,28	125,68	88,95

En media se nota una gran diferencia entre el calor sensible y el latente y superficial, siendo el primero mucho mayor como muestra la tabla 2, de igual manera sucede entre máximos y mínimos, sin embargo, se puede notar que entre ellos mismos no hay fluctuaciones significativas.

Con los datos obtenidos por cada hora durante los dos años de análisis se procedió a procesarlos mediante el modelo de Van Ulden Hostlang, desarrollado en software con codificación fortran en el estudio de difusión de contaminantes atmosférica en el Parque Industrial Riobamba, el cual permite calcularlos, para luego ser procesados y analizados por días, horas y meses, los mismos que se presentan a continuación en las Fig. 1, Fig. 2 y Fig.3.

Figura 1

Flujos de energía superficial en la ciudad de Cumanda calculado por horas promedio durante tres años

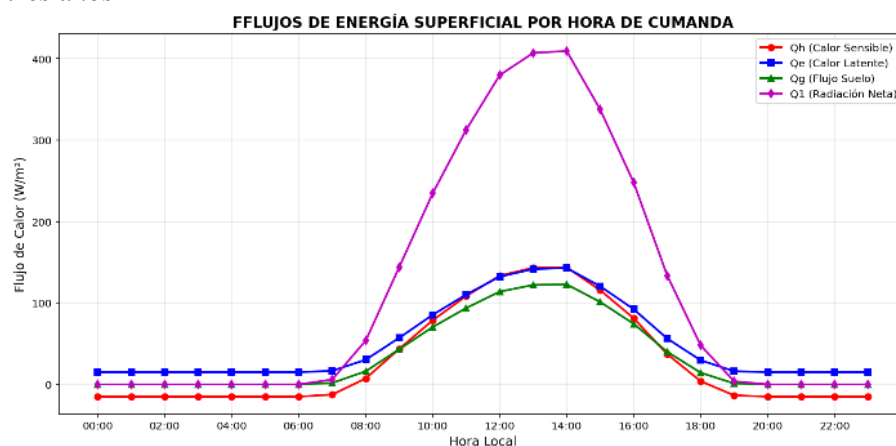


Figura 2

Flujos de energía superficial en la ciudad de Riobamba calculado por horas promedio durante tres años

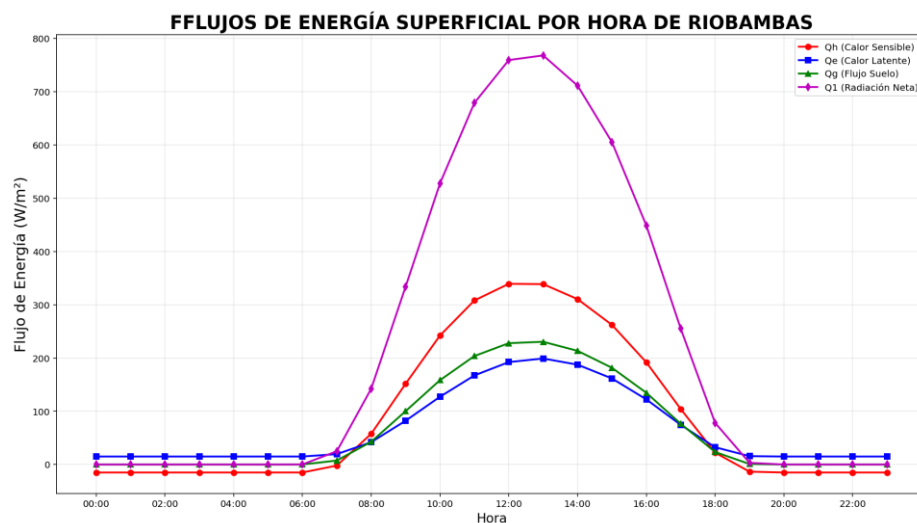
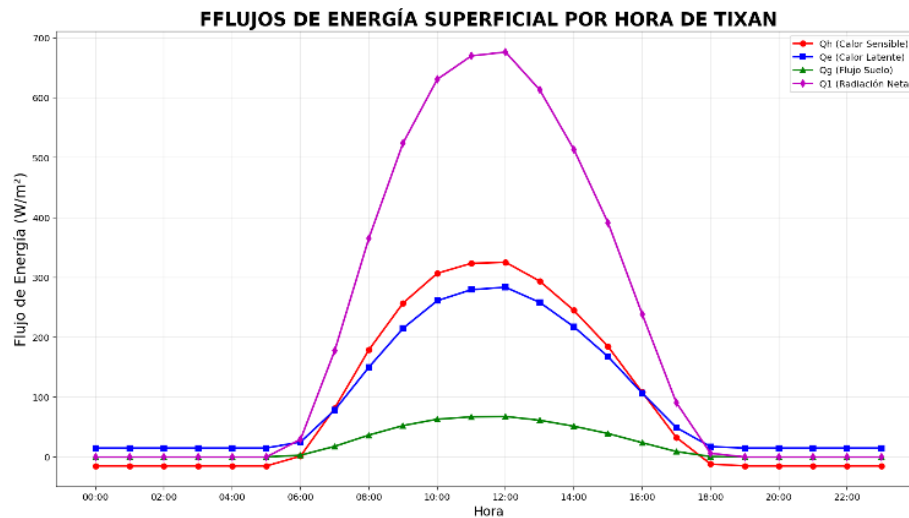


Figura 3

Flujos de energía superficial en la parroquia Tixan calculado por horas promedio durante tres años



La variación de los flujos térmicos por horas es más significativa durante las diferentes horas del día, siendo entre las 10h00 y 15h00 las de mayor intensidad en el caso del calor sensible y radiación neta, mientras que el flujo de calor latente y superficial aumenta en horas de la noche de forma regular en cada una de zonas de estudio (Fig.1,2 y3), adicionalmente se nota que el calor latente varía con la altura de la zona siendo mayor al flujo de calor superficial en Cumandad, disminuyendo para Riobamba y Tixan que se encuentran en zonas más altas.

Tabla 4

Flujos superficiales de calor y radiación neta media, máxima y mínima por horas en la ciudad de Riobamba

	Flujo de Calor Latente	Flujo de Calor Superficial	Flujo de Calor Sensible	Flujo de Calor Radiación Neta
Media	38,09	22,13	155,74	215,95
Máximo	139,24	126,86	763,04	734,05
Mínimo	-3,92	-27,48	-263,27	0

En el caso de los parámetros medios de los flujos y la radiación a diferencia de lo que sucede entre días, la variación para las horas entre máximos y mínimos es significativa como se observa en la tabla 4, particularmente para el flujo de calor sensible.

Figura 4

Flujos de energía superficial en la ciudad de Cumanda promedio mensuales calculado durante tres años de medidas

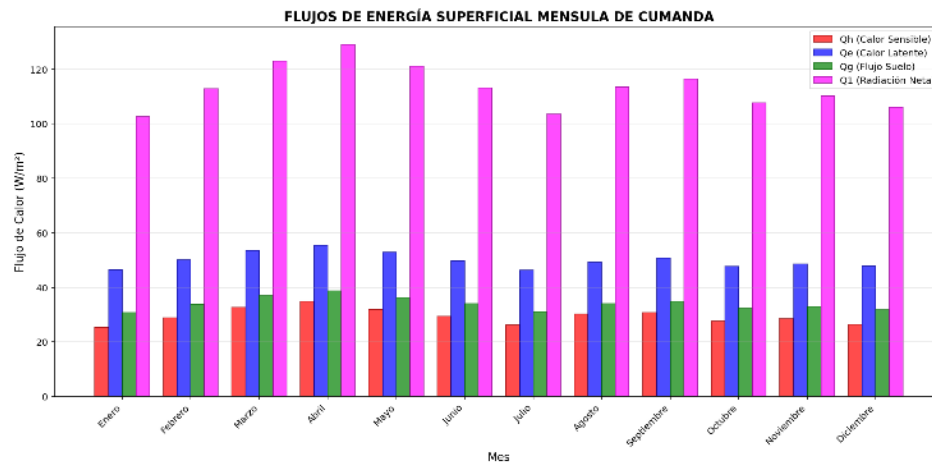


Figura 5

Flujos de energía superficial en la ciudad de Riobamba promedio mensuales calculado durante tres años de medidas

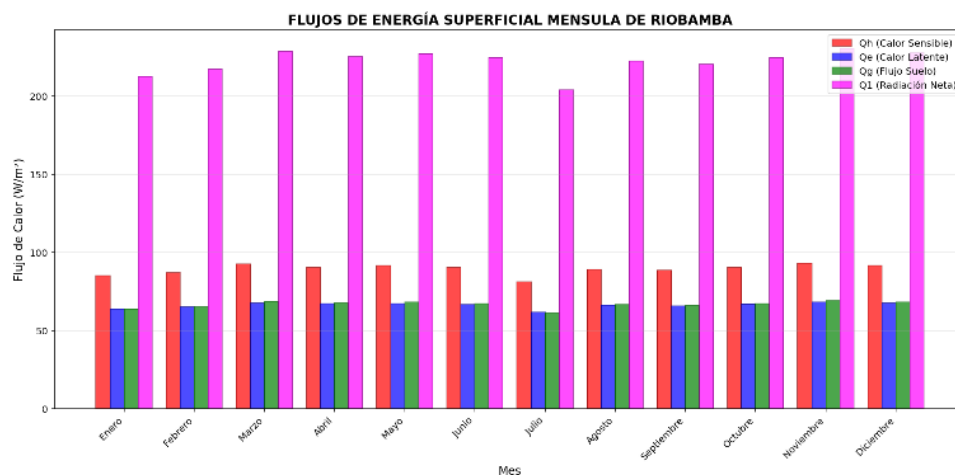
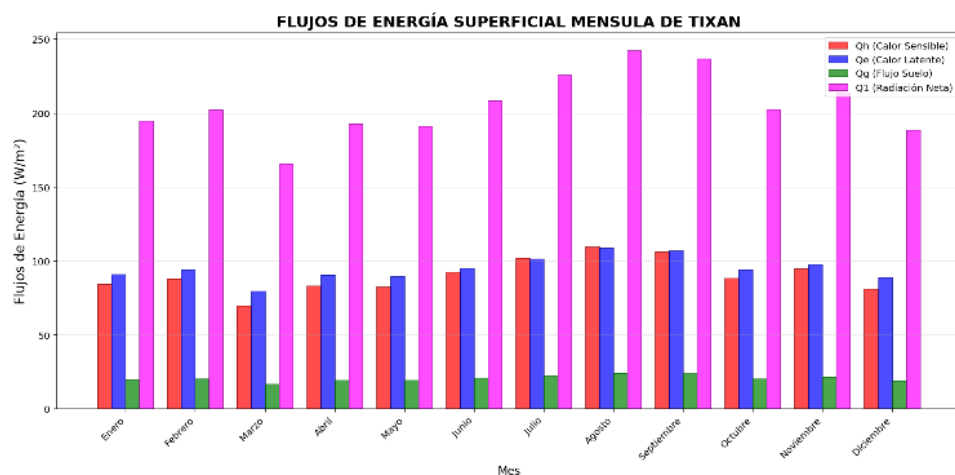


Figura 6

Flujos de energía superficial en la parroquia Tixan promedio mensuales calculado durante tres años de medidas



Las fluctuaciones de calor y radiación durante los meses de julio y agosto presentan cierto incremento en el flujo de calor sensible y radiación neta (Fig. 3), sin embargo, no es tan significativa en comparación a lo que sucede entre horas (Fig. 2).

La variación mensual entre máximos y mínimas para los flujos térmicos y el de radiación no presenta variaciones considerables, determinándose así, meses regulares, tabla 5, así como entre días, lo que no sucedió con las horas para la zona de la ciudad de Riobamba.

Tabla 5

Flujos superficiales de calor y radiación neta media, máxima y mínima por meses en la ciudad de Riobamba

	Flujo de Calor Latente	Flujo de Calor Superficial	Flujo de Calor Sensible	Radiación Neta
Media	38,08	22,12	155,52	215,73
Máximo	41,94	25,47	188,19	255,61
Mínimo	35,52	18,34	131,24	194,11

CONCLUSIONES

El calor latente disminuye de forma sistemática con la altitud, siendo máximo en Cumandá (331 m) y mínimo en Tixán (3 546 m), reflejando el papel de la humedad disponible en cada zona.

Los flujos de calor sensible, calor superficial y la radiación neta no siguen un patrón puramente altitudinal, sino que Riobamba —zona de mayor urbanización— presenta los valores más altos en estas tres variables, lo que apunta a un efecto de la cobertura de suelo urbano sobre el balance energético superficial.

Tixán, al ser la zona de mayor altitud y con cobertura tipo páramo, presenta de manera consistente los valores más bajos en los cuatro flujos analizados (Q_h , Q_e , Q_g y Q^*), consolidándose como la zona de menor intercambio energético superficial de las tres estudiadas.

La estructura horaria del ciclo energético (mayor calor sensible y radiación neta al mediodía; mayor calor latente y superficial en la noche) se mantiene similar entre las tres zonas, lo que sugiere que las diferencias entre ellas son principalmente de magnitud y no de patrón temporal.

REFERENCIAS

- Arya, S. P. (2001). Introduction to micrometeorology. Academic Press.
<https://shop.elsevier.com/books/introduction-to-micrometeorology/arya/978-0-12-059354-5>
- Burgos Cuevas, A. (2014). Caracterización de la capa límite atmosférica sobre la Ciudad de México [Tesis doctoral, Universidad Nacional Autónoma de México].
<https://repositorio.unam.mx/contenidos/3578166>
- Businger, J. A., Wyngaard, J. C., Izumi, Y., & Bradley, E. F. (1971). Flux-profile relationships in the atmospheric surface layer. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 28, 181–189.
[https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1971\)028%3C0181:FPRITA%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1971)028%3C0181:FPRITA%3E2.0.CO;2)
- Cañada, J., & Salvador, D. (1997). Radiación solar. Universidad Politécnica de Valencia.
- Conangla Triviño, L., Espinalt Gamisans, A., Ferreres Soler, E., & Soler, M. R. (1999). Análisis de la capa límite atmosférica y su relación con el clima. Congreso AEC-AECLIM, Asociación Española de Climatología. https://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0015_PU-SA-I-99-L_CONANGLA.pdf
- Creus, A. (2010). Energía termosolar. Cano Pina.
https://books.google.com/books/about/Energ%C3%ADa_termosolar.html?id=xusCaAEACAAJ
- Dal Pai, A., Escobedo, J., Gomes, E., & Souza, A. (2011). Estimativas das componentes da radiação solar incidente em superfícies inclinadas baseadas na radiação global horizontal. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000300009>
- Fernández, J. (2010). Compendio de energía solar. Mundi-Prensa.
<https://amvediciones.com/inicio/314-compendio-de-energia-solar-fotovoltaica-termica-y-termoelectrica.html>
- Finzi, G., & Brusasca, G. (1991). La qualità dell'aria: Modelli previsionali e gestionali. Masson.
- Gobierno Provincial de Chimborazo. (2020). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de la provincia de Chimborazo. GAD Chimborazo.
<https://chimborazo.gob.ec/principal/wp-content/uploads/2022/06/PDOT.pdf>
- Haro, A., Limaico, C., Perugachi, N., & Parra, M. (2018). Evaluación de la estabilidad atmosférica bajo condiciones físicas y meteorológicas del altiplano ecuatoriano. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 336–343. <https://doi.org/10.1590/0102-7786332015>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2021). Anuario meteorológico. INAMHI. <https://www.inamhi.gob.ec/biblioteca/>
- Kiely, G. (1999). Ingeniería ambiental (Tomos II y III). McGraw-Hill.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=235126>

- Monteith, J. L., & Unsworth, M. H. (2013). Principles of environmental physics (4th ed.). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123869104/principles-of-environmental-physics>
- Pareja, M. A. (2010). Radiación solar y su aprovechamiento energético. Marcombo. <https://www.marcombo.com/libro/libros-tecnicos-de-arte-y-cientificos/instalaciones-libros-tecnicos-y-cientificos/energias-renovables-instalaciones/radiacion-solar-y-su-aprovechamiento-energetico/>
- Reyes, S. (2001). Introducción a la meteorología. Universidad Autónoma de Baja California. <https://catalogocimarron.uabc.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=106019>
- Stull, R. B. (1988). An introduction to boundary layer meteorology. Springer Science & Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-3027-8>
- Van Ulden, A. P., & Holtslag, A. A. M. (1985). Estimation of atmospheric boundary layer parameters for diffusion applications. Journal of Climate and Applied Meteorology, 24, 1196–1207. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1985\)024%3C1196:EOABLP%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1985)024%3C1196:EOABLP%3E2.0.CO;2)
- Wallace, J. M., & Hobbs, P. V. (2006). Atmospheric science: An introductory survey. Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780127329512/atmospheric-science>