

Modelado y análisis de parámetros micro meteorológicos en la ciudad de Riobamba



Modeling and analysis of micro meteorological parameters on the Riobamba city

Nelly Patricia Perugachi Cahueñas.¹, Jorge Milton Lara Sinaluisa.² & Arquímedes Xavier Haro Velasteguí.³

Recibido: 26-05-2020 / Aceptado: 26-06-2020 / Publicado: 03-07-2020

Abstract.

DOI: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1336>

In the atmospheric boundary layer, the air-soil interaction produces dynamic effects that affect the atmosphere, particularly the surface layer, where the most important activities of man and his environment take place; the present investigation calculates the micro meteorological parameters and analyzes their variation over time; under typical conditions of the Riobamba city, considering the effects due to its height and geographical position (2750 m and $1^{\circ} 58' 58''$ S of latitude and $78^{\circ} 39' 33''$ W of longitude), from which it follows a high regularity in behavior throughout the year, with strong convective flows, due to the high latent heat flow, which results in significant variations in the length of Obukhov, during daylight hours, and conversely, at night, it decreases becoming a stable system, which are determined using the Van Ulden and Hostlang model as a basis.

Keywords: Atmospheric dynamics, micrometeorology, mathematical models, thermal flows, Obukhov length, friction speed.

¹ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias. Riobamba, Ecuador. npperugachi@esPOCH.edu.ec

² Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Informática y Electrónica. Riobamba, Ecuador. j_lara@esPOCH.edu.ec

³ Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería. Riobamba, Ecuador. aharo@esPOCH.edu.ec

Resumen.

En la capa límite atmosférica, la interacción aire-suelo, produce efectos dinámicos que afectan la atmósfera, particularmente la capa superficial, donde se desarrollan las actividades más importantes del hombre y su entorno; la presente investigación calcula los parámetros micro meteorológicos y analiza su variación en el tiempo; bajo condiciones típicas de la ciudad de Riobamba, considerando los efectos debido a su altura y posición geográfica (2750 m y $1^{\circ} 58' 58''$ S de latitud y $78^{\circ} 39' 33''$ O de longitud), de los cuales se desprende una alta regularidad en el comportamiento a lo largo del año, con fuertes flujos convectivos, por el alto flujo de calor latente, que dan como resultado variaciones significativas de la longitud de Obukhov, durante las horas del día, y al contrario, durante la noche, la misma disminuye tornándose un sistema estable, lo cual se determinan usando como base el modelo de Van Ulden y Hostlang.

Palabras claves: Dinámica atmosférica, micrometeorología, modelos matemáticos, flujos térmicos, longitud de Obucov, velocidad de fricción, ipografía.

Introducción.

La atmósfera actúa como una cubierta protectora, que protege de elementos extraterrestres como los meteoritos y radiaciones peligrosas, sin ella la temperatura terrestre alcanzaría $+75^{\circ}$ C durante el día y -130° C bajo cero en la noche. Está constituida por una mezcla de gases que rodean al planeta, envolviéndolo en capas concéntricas de espesor y densidades variables. La base de la atmósfera está en contacto con la superficie terrestre y sus irregularidades tales como el relieve de los continentes (Zúñiga 2012, Van Ulden 1985).

La atmósfera no es un sistema cerrado, ya que en ella se producen intercambios entre varios elementos y posee propiedades relacionadas con su estado físico y composición química. Los procesos internos e interacciones externas mantienen o alteran la dinámica de la atmósfera. La capa límite es el estrato más bajo de la atmósfera terrestre, en el que turbulencia originada por desequilibrios térmicos o mecánicos, produce un aumento de los movimientos turbulentos del aire, favoreciendo el fenómeno de difusión (Geral 1999, Mankin 2011).

Los gases que la constituyen están bien mezclados en la atmósfera, pero esta no es físicamente uniforme pues tiene variaciones significativas en temperaturas y presiones, en relación con la altura sobre el nivel del mar (Haro 2018, Bloss 2012).

La mayor parte de los fenómenos de la atmósfera se desenvuelven en la tropósfera, la capa más baja de la atmósfera, y particularmente en la capa límite atmosférica, subcapa superficial de la tropósfera, en la cual se llevan a cabo procesos dinámicos importantes. Estos procesos dinámicos se producen debido al desarrollo de la turbulencia mecánica, la cual se relaciona con el rozamiento del viento con la superficie sólida y la turbulencia convectiva, producida

por el flujo de calor entre el suelo y el aire, resultado del calentamiento del suelo en horas del día (Cohen 2015).

En general, la mayor parte de los procesos naturales que ocurren en la atmósfera se sabe que son de carácter turbulento, es decir, un sistema no lineal, razón por lo que se han desarrollado una serie de modelos que permiten describir con cierta aproximación su dinámica (Richards 2019, Rodríguez 2015).

Usando métodos propuestos por Van Ulden y Hostlag, al cual se le ajusta a las condiciones particulares de la ciudad de Riobamba, con lo cual se desarrolla un modelo de cálculo para determinar los parámetros micro meteorológicos para estudiar la micro dinámica atmosférica y sus variaciones (Van Ulden 1985, Haro 2018).

Con este estudio se espera conocer el comportamiento de los parámetros micro meteorológico, con la finalidad de saber el efecto que pueden tener los mismos en la dinámica atmosférica, se determina un comportamiento regular a lo largo del año y fuertes variaciones en el día, con una tendencia clara a la inestabilidad en el día y estabilidad en la noche, de acuerdo a los resultados hallados en la Longitud de Obukhov, produciéndose una inversión térmica en forma regular a las 6 de la tarde todos los días del año (Kundu 2019).

Cabe resaltar que este comportamiento influiría significativamente en procesos como: la difusión de contaminantes, polinización, microclimas entre otros aspectos, como el tiempo y el clima mismo de la zona (Cian 2014).

Metodología.

Usando métodos de Van Ulden y Hostlag, se desarrolla un estudio de flujos superficiales en la capa límite atmosférica. Para lo cual se considera que cuando una masa de aire circula sobre una superficie y pasa a otra con características diferentes, sus propiedades físicas cambian (Van Ulden 1985, Haro 2018).

La ecuación del balance de energía de forma simplificada está dada por la ecuación 1:

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

donde: R_N = flujo de radiación neta, Q_H =flujo de calor sensible, Q_E =flujo de calor latente y Q_G =flujo de calor almacenado en el suelo, ecuación 2.

$$Q_G = a_e \cdot R_N \quad (2)$$

Con a_e constante igual a 0,1 para áreas rurales y 0,3 para áreas urbanas propuesto por Doll D, Ching J. K. S. y Kaneshire J (Van Ulden 1985).

El calor sensible está dado por la ecuación 3.

$$Q_H = \left[\frac{(1-a) + S}{1+S} \right] R_N (1-a) - \xi \quad (3)$$

Donde ξ es una constante igual a 20 W m^{-2} , el parámetro S es definido por la ecuación 4 (Van Ulden 1985):

$$S = \exp [0,055 (T - 279)] \quad (4)$$

Balance de energía turbulenta.

Considerando la ecuación 5, de energía cinética para la turbulencia en la atmósfera, ecuación de energía turbulenta para superficies cerradas (Cohen 2015):

$$\frac{\partial(q^2/2)}{\partial t} = \frac{g}{g} (\overline{w'g'}) + \frac{\partial U}{\partial Z} (\overline{w'u'}) - \varepsilon - \frac{\partial}{\partial Z} \left(\frac{\overline{w'q'}}{2} + \frac{\overline{w'p'}}{\ell} \right) \quad (5)$$

El término de la izquierda representa el flujo de energía total, mientras que el primer término de la derecha representa la fluctuación de energía térmica, el segundo la fluctuación de energía mecánica, el tercero la disipación de energía por efecto de fricción y el cuarto, el flujo de energía que conjunta a su vez al término de transporte turbulento y el de presión (Davidson, 2015).

A partir de la ecuación 5 se puede determinar un parámetro muy importante llamado longitud de Obukhov (L), en la que se equilibra la producción térmica con la mecánica.

$$\frac{(g/g)(\overline{w'g'})}{(\partial U / \partial Z)(\overline{w'u'})} = 1 \quad (6)$$

De acuerdo con la teoría de la baja atmósfera se cumple $\overline{w'u'} = \mu_*^2 y (\partial U / \partial Z) = \mu_* / KZ$, donde μ_* es la velocidad de fricción, $Q_H = C_p \rho T \overline{w'g'}$; K la constante de Van Karmans; C_p calor específico del aire, T temperatura del aire y ρ densidad del aire que se ajusta a la altura mediante la ecuación 8 (Mankin 2011, Mikkelsen 2017).

Reemplazando en la ecuación 6 y considerando $Z=L$, se halla la longitud de Obukhov, que se le escribe por convención como:

$$L = -\frac{\mu_*^3 C_p \rho T}{Kg Q_H} \quad (7)$$

en donde, el parámetro de la derecha se les considera de superficie y pueden ser calculado a través de medidas meteorológicas (velocidad del viento, temperatura, precesión, radiación neta, humedad), ecuación que se usa como un indicador del estado dinámico de la atmósfera (Haro 2018).

$$\rho = \left(\frac{P_o}{P}\right) \frac{353,44}{T+273.15} \quad (8)$$

Se puede decir que dicho estado dinámico se manifiesta al desplazar una parcela de aire hacia arriba, si la misma no sufre alteración alguna con la altura, es decir no actúan fuerzas externas de las parcelas circundantes, entonces podemos considerar a la atmósfera como neutra o adiabática; al contrario, si al ser desplazada actúan fuerzas tales que la pequeña porción de aire es desplazada hacia arriba, se dice que es inestable, pero si las fuerzas externas tienden hacer que la parcela regrese a la posición de equilibrio u origen entonces la atmósfera se halla en condiciones estables (Haro 2018).

Cuantitativamente lo dicho anteriormente lo podemos medir según los siguientes valores de Obukhov.

Si $L < 0$ es inestable

Si $L > 0$ es estable

Si $L \rightarrow \pm\infty$ es neutro o es estable

Dependiendo del grado de fluctuación de energía, mecánica o térmica, L será negativo si la fluctuación térmica es positiva (el suelo sede calor a la atmósfera, atmosfera inestable) y positiva si sucede lo contrario (la atmósfera sede calor a la atmósfera, atmosfera estable). Si estas fluctuaciones tienden a dar un valor grande de L (positivo o negativo) se dice que el estado es neutro o adiabático, es decir la atmósfera tiende a un estado adiabático (Cian 2014, Haro 2018).

Análisis de Resultados.

El estudio se centra en determinar la variación de los parámetros micro meteorológicos en términos de las variables meteorológicas, bajo las condiciones particulares del altiplano ecuatoriano. Aplicando el software diseñado por los autores del artículo se determina los parámetros micro meteorológicos básicos como la longitud de Obukhov, flujos de calor superficial, sensible y latente, la velocidad de fricción y radiación neta, en base a la propuesta de Van Ulden y Hostlang, mismos que determinan la micro dinámica atmosférica en la capa límite.

Tabla 1. Parámetros meteorológicos medios, máximos y mínimos la ciudad de Riobamba correspondientes al año 2019

Datos meteorológicos	Promedio	Mínimo	Máximo
Velocidad del Viento (m/s)	2,39	0,30	9,53
Temperatura Ambiente (°C)	13,84	4,87	23,49
Radiación Incidente(W/m ²)	219,61	0,00	1284,57
Presión Atmosférica (hPa)	768,36	767,97	768,73
Humedad del Aire (%)	64,81	17,28	97,86

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se presentan los promedios, mínimos y máximos anuales, de las variables meteorológicas medidas en la zona de estudio, en ella se observa los efectos de la altura en la temperatura y presión, principalmente, que disminuyen considerablemente respecto a sus valores al nivel del mar, posición en la que se encuentra la zona ecuatorial (latitud cero).

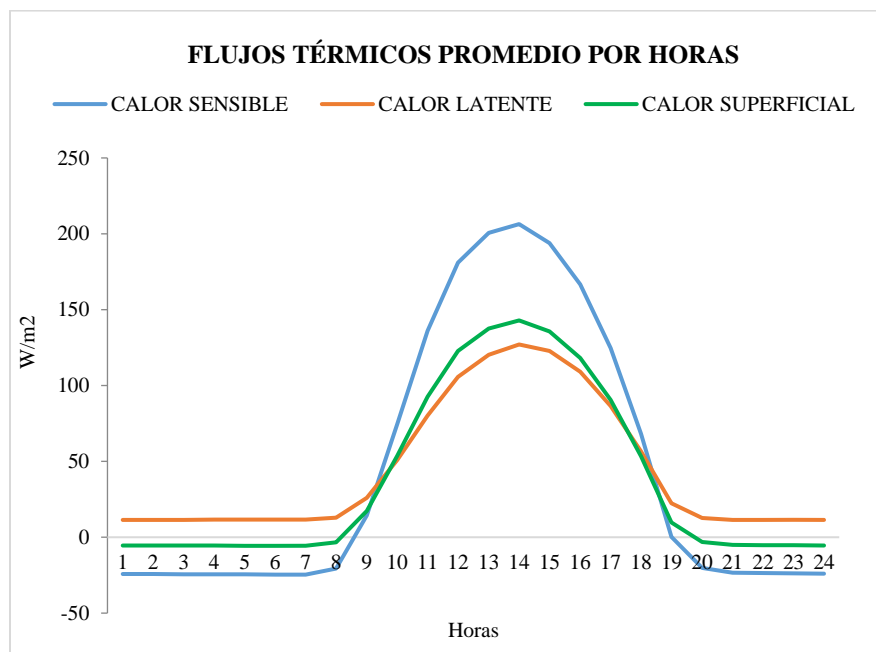
Tabla 2. Parámetros micro meteorológicos medios, máximos y mínimos del año 2019 de la ciudad de Riobamba

	Calor sensible (W/m ²)	Calor latente (W/m ²)	Calor superficial (W/m ²)	Radiación neta (W/m ²)	Velocidad de fricción (m/s)	Longitud de Obukhov (m)
Promedio	44,14	44,17	37,84	126,15	0,21	4,12
Mínimo	-27,19	11,35	-6,29	-20,98	0,00	-6732,61
Máximo	359,76	230,27	252,87	842,90	1,10	31020,98

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se presentan las variables micrometeorológicas promedio, mínimo y máximo anual estudiadas, en donde se observan pequeñas variaciones entre los flujos de calor, sin embargo tienen un amplio rango de variación, de igual forma que la Longitud de Obukhov, las variables como la radiación neta sufren una disminución en sus valores hallados respecto a la radiación incidente debido a la radiación reflejada o emitida por la Tierra y la velocidad de fricción se caracteriza por mantener valores que fluctúan en un rango pequeño de hasta 1,10 m/s.

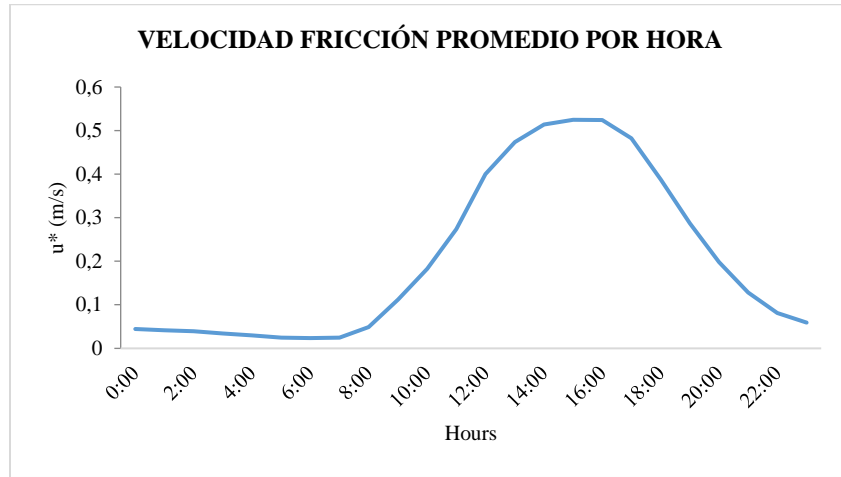
Figura 1. Flujos de calor sensible, calor latente y calor superficial promedio hora del año 2019



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 1 se observa la variación de los flujos de energía térmica y la radiación neta promedio hora de un año (2019), que se han determinado en base a los trabajos de Van Ulden y Hostlag, Con una importante presencia de flujo de calor sensible y superficial, debido a los efectos de la altura y posición geográfica, que permiten una fuerte interacción entre la superficie y el aire en la capa límite atmosférica.

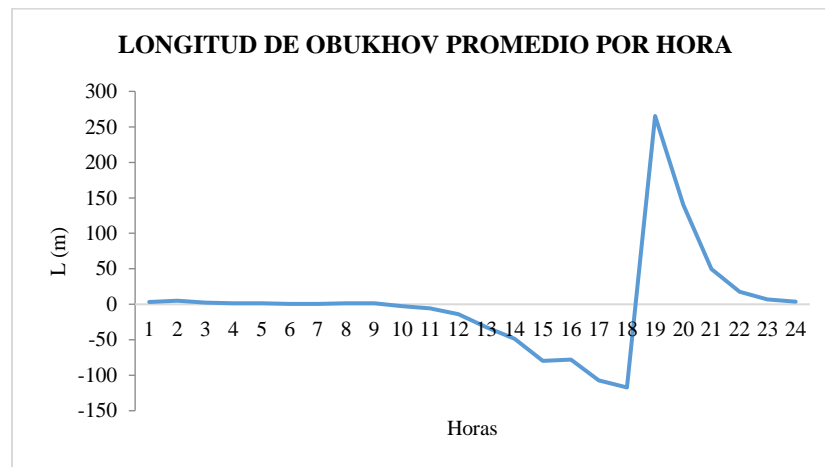
Figura 2. Velocidad de fricción promedio hora del año 2019



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2 se observa la variación de la velocidad de fricción promedio hora, en el año de estudio, con una clara tendencia de ascender al medio día y disminuir a la noche, comportamiento regular a lo largo del año debido a la posición geográfica.

Figura 3. Longitud de Obukhov promedio hora del año 2019



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3 se observa el comportamiento de la Longitud de Obukhov promedio hora en el año de estudio, que se presenta regular en las diferentes horas, con una variación marcada entre las 17:00 y 19:00 al ocultarse el Sol, produciendo una inversión térmica en la zona, que cambia el estado dinámico de la atmósfera.

Conclusiones:

- Se determina la variación de los parámetros micro meteorológicos (calor latente, calor sensible, calor superficial, velocidad de fricción y longitud de Obukhov) y sus variaciones, esencialmente en las horas del día debido al efecto de la posición geográfica y altura respecto al nivel del mar, produciendo una inversión térmica brusca a las 18:00.
- Predomina el flujo de calor sensible respecto al calor latente y superficial alcanzando 359 W/m^2 , debido a la fuerte incidencia de la radiación solar y los efectos de la altura.
- La longitud de Obukhov presenta variaciones significativas entre las 17:00 y 19:00, donde se da una inversión térmica que cambia el estado dinámico de la atmósfera.

Referencias bibliográficas.

- Bloss W. (2012) Urban Atmospheric Composition Processes. In: Meyers R.A. (eds) Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. Springer, New York, NY
- Cian J Desmond, Simon Watson (2014) A study of stability effects in forested terrain, Journal of Physics: Conference Series 555, pp.1-17.
- Cohen Aand et al (2015) A Review of Planetary Boundary Layer Parameterization Schemes and Their Sensitivity in Simulating Southeastern U.S. Cold Season Severe Weather Environments, Rev. weather and forecasting, volume 30, pp.591-612.
- Davidson PA (2015) Turbulence—an introduction for scientists and engineers, 2nd edn. Oxford University Press, Oxford
- Geral Kiely (1999) Ingeniería Ambiental, Tomo II y III, McGRAW-HILL, España.
- Haro Velasteguí, A., Limáico Nieto, C., Perugachi Cahueñas, N. & Fernandez Parra, M. (2018). Evaluación de la Estabilidad Atmosférica Bajo Condiciones Físicas y Meteorológicas del Altiplano Ecuatoriano. Revista Brasileira de Meteorologia, 33(2), 336-343. <https://dx.doi.org/10.1590/0102-7786332015>
- Mankin M. (2011). Atmospheric Dynamics, Cambridge University Press, Vol. 1, Londres, Inglaterra.
- Mikkelsen T, Larsen SE, Jørgensen HE, Astrup P, Larsén XG (2017) Scaling of turbulence spectra measured in strong shear flow near the Earth's surface. Phys Scr 92(12):1–15.
- Kundu, S., 2019. Modeling stratified suspension concentration distribution in turbulent flow using fractional advection–diffusion equation. Environ Fluid, 1557–1574. <https://doi.org/10.1007/s10652-019-09679-9>
- Richards PJ, Norris SE (2019) Appropriate boundary conditions: still an issue after 25 years.

J Wind Eng Ind Aerodyn 190:245–255.

Rodríguez D. and et al (2015) Variación de la estabilidad y altura de la capa de mezcla en la ciudad de Pinar del Río: su relación con condiciones sinópticas, Revista Brasileira de Meteorología, v. 30, no 1, pp. 1 - 15.

Van Ulden, Hostlag (1985) Estimation of Atmospheric Boundary Layer Parameters for Diffusion Applications; Journal of climate and Applied Meteorology, 24, pg 1196 - 1207.

Zúñiga López I. (2012), Meteorología y Climatología, UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.

PARA CITAR EL ARTÍCULO INDEXADO.

Perugachi Cahueñas, N. P., Lara Sinaluisa, J. M., & Arquímedes Xavier Haro Velasteguí, A. X. H. V. (2020). Modelado y análisis de parámetros micro meteorológicos en la ciudad de Riobamba. *ConcienciaDigital*, 3(3), 435-445.
<https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1336>



El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Conciencia Digital**.

El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Conciencia Digital**.

