

Parámetros de Rugosidad en la Tundra Siberiana Metodologías de Cálculo y Variabilidad Estacional

Manuel Cordón Gómez

*Máster en Geofísica y Meteorología
Universidad de Granada*

Abstract. Se ha efectuado una comparativa entre el método de *eddy covariance* y el del perfil logarítmico del viento a varias alturas (2-4-10 m) para el cálculo de la longitud de rugosidad (Z_0) y la velocidad de fricción (u^*) en un ecosistema de tundra ártica localizado en la desembocadura del río Lena, en Siberia. Igualmente se ha llevado a cabo un estudio de la variabilidad estacional de Z_0 para dicho ecosistema con el objetivo de analizar la dependencia de Z_0 respecto a la presencia y ausencia de nieve en la superficie. Los valores de Z_0 obtenidos mediante el perfil de viento son más elevados que los obtenidos usando *eddy covariance* sin bien ambos están dentro del rango establecido en la bibliografía de referencia para este tipo de ecosistema (0,0001-0,03m). Por su parte los valores de u^* calculados usando *eddy covariance* subestiman en un 22% aquellos obtenidos por el método de perfil de viento. La variabilidad estacional de Z_0 muestra una clara dependencia respecto a la presencia o ausencia de nieve en la superficie con valores en torno a 0,011 m en verano y cercanos a 0 en invierno.

Keywords: *eddy covariance*, longitud de rugosidad, perfil logarítmico del viento, velocidad de fricción, tundra, Siberia, turbulencia.

1-INTRODUCCIÓN

El contexto general actual de cambio climático y la necesidad de predicciones meteorológicas y climáticas a cada vez más largo plazo, hacen necesario una mejora en el conocimiento de los procesos de interacción entre la tierra y la atmósfera¹. La tundra ártica es especialmente sensible a los cambios en las temperaturas², este hecho desembocaría en alteraciones del área de distribución de las especies vegetales así como en su periodo de crecimiento modificando la rugosidad del terreno (Z_0) y con ello la velocidad de fricción (u^*) responsable de los flujos verticales y horizontales de agua, energía y materia. Todo ello, unido a la importancia del permafrost como reservorio de gases invernadero, dota a estas regiones de un papel primordial en el sistema climático.

Por ello, se ha procedido a caracterizar correctamente y con una metodología fiable y accesible la rugosidad de estos espacios así como u^* como parámetro cuantificador de la turbulencia. Así mismo, se ha analizado en qué medida Z_0 varía en estos ecosistemas a lo largo del año debido a la presencia o ausencia de nieve y así conocer los posibles cambios que ello pueda provocar en la capa límite atmosférica, además de mejorar la eficacia de las predicciones climáticas.

2-MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El área de estudio se sitúa en la isla de Samoylov, en el delta del río Lena, región siberiana de Yakutia (72°22'N, 126°30'E). El relieve se caracteriza por llanuras de inundación y terrazas fluviales con presencia de permafrost y formaciones de tundra poligonal, fruto de las contracciones termales del suelo. El clima de la región es continental-ártico, con una precipitación media de 250mm, en forma de nieve desde finales de septiembre hasta el mes de mayo. Las temperaturas pueden superar los 20° en verano y bajar de -45° en invierno, con fuertes vientos durante todo el año. Las especies vegetales están muy condicionadas por el clima y su periodo de crecimiento es muy corto, de mayo a septiembre. Las principales comunidades vegetales en la terraza fluvial donde se encuentran los instrumentos de medición son *Hylocomium splendens*, *Dryas punctata*, *Drepanocladus revolvens* y *Meesia triquetra*, registrando alturas máximas de 20cm³.

2.3 Fundamentos teóricos y metodologías para el cálculo de Z_0 y u^* mediante eddy covariance y el perfil logarítmico del viento

Los datos del estudio han sido facilitados por el doctor Benjamin Runkle de la Universidad de Hamburgo (Alemania). Dichos datos fueron obtenidos en el marco del proyecto “*Changing permafrost in the Arctic and its Global Effects in the 21st Century*” (PAGE21) puesto en marcha por la Comisión Europea.

Para las mediciones de *eddy covariance* se ha utilizado un anemómetro sónico tridimensional CSAT3 (Campbell Scientific, USA) que mide las tres componentes ortogonales del viento a 4 metros de altura y proporciona datos cada 30 minutos. El anemómetro permite el cálculo del flujo de momento y la velocidad de fricción (u^*), por lo que la longitud de rugosidad (Z_0) puede entonces obtenerse despejando la ecuación del perfil logarítmico del viento, que puede expresarse como:

$$u(z) = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (1)$$

Donde k es la constante de von Karman (0,4), z la altura en metros del punto de medición y u la velocidad del viento.

Igualmente se ha calculado Z_0 para periodos más prolongados representando la velocidad horizontal de viento (u) frente a u^* para el intervalo temporal oportuno. Mediante la ecuación del perfil logarítmico del viento y usando una regresión lineal del tipo $[y=ax+b]$, donde a es la pendiente de la recta de regresión, se calcula el valor de Z_0 :

$$Z_0 = \frac{z}{e^{\frac{k}{a}}} \quad (2)$$

Para el cálculo de Z_0 usando el método del perfil logarítmico del viento, se han obtenido medidas de la velocidad del viento horizontal por medio de un anemómetro de dos ejes Windsonic (Gill Instruments, UK) situado a 2 y 10 metros de altura, además de usar aquellas realizadas por el anemómetro CSAT3 a 4 metros, por lo que se dispone de tres alturas de medición.

Utilizando de nuevo la ecuación del perfil (1), se obtiene Z_0 y u^* representando gráficamente el logaritmo de las alturas de medición respecto a la velocidad del viento a esas alturas. Z_0 y u^* se obtienen a intervalos de 30 minutos usando la pendiente de la recta (a) y la intersección (b), de modo que:

$$u^* = \frac{k}{a}; \quad Z_0 = e^b \quad (3,4)$$

Para la obtención del valor de Z_0 en un mayor intervalo temporal, se ha llevado a cabo el mismo proceso usando la media de la velocidad del viento a cada altura para el periodo deseado.

En el estudio de la variabilidad temporal de Z_0 se ha utilizado el radiómetro CNR1 (Kipp and Zonen, Netherlands) para observar cambios drásticos en el albedo de la superficie, indicativos de la presencia de nieve, así como un sensor acústico SR50A (Campbell Scientific, USA) situado a un metro sobre la superficie, que mide la distancia entre ésta y el instrumento. De esta manera ha sido posible analizar la dependencia de Z_0 respecto a la presencia o ausencia de nieve en la superficie.

2.3 Selección de datos

El periodo total de datos disponibles comprende ente el 27 de julio y el 19 de octubre de 2012, si bien se dispone de un mayor periodo de datos captados por el anemómetro CSAT3 (14-7 al 9-11), usados en el estudio de variabilidad temporal de Z_0 .

El cálculo de Z_0 se ha realizado usando únicamente datos recogidos en condiciones atmosféricas neutras. Para ello se ha acudido a la teoría de semejanza de Monin-Obukhov (1954), de la que se deriva el parámetro L o longitud de Obukhov, considerado únicamente aquellos momentos en los que $z-d/L$ está comprendido entre -0.01 y 0.01 (siendo z la altura del punto de medición y d la distancia de desplazamiento, ambas en metros). Del mismo modo, se ha desechado aquellos valores fruto de errores en las mediciones, así como valores de Z_0 inviables para la zona de estudio según la clasificaciones revisadas en distintos manuales de referencia⁴.

3-RESULTADOS

Con ambos métodos (*eddy covariance* y perfiles de viento) se han obtenido valores coherentes de Z_0 y u^* . El valor medio derivado del uso del perfil logarítmico del viento para el total del periodo de estudio, 0,030 metros, es superior al calculado mediante *eddy covariance*, 0,012 metros, si bien ambos pueden incluirse dentro de los intervalos para terrenos de tundra publicados en diversos estudios de referencia⁵. Por

otro lado, en micrometeorología, el análisis de la variabilidad de Z_0 se estudia de forma logarítmica, de tal manera que las diferencias obtenidas en este estudio son poco acusadas dado que nos encontramos con valores muy próximos a 0.

Respecto a los valores de u^* calculados a cada 30 minutos con ambos métodos, se ha obtenido una destacada similitud de los resultados tanto en la variabilidad temporal de los valores como en el rango de los mismos, si bien se aprecia una subestimación del 22% de los valores obtenidos con *eddy covariance* respecto a los obtenidos empleando el perfil logarítmico del viento (Figura 1).

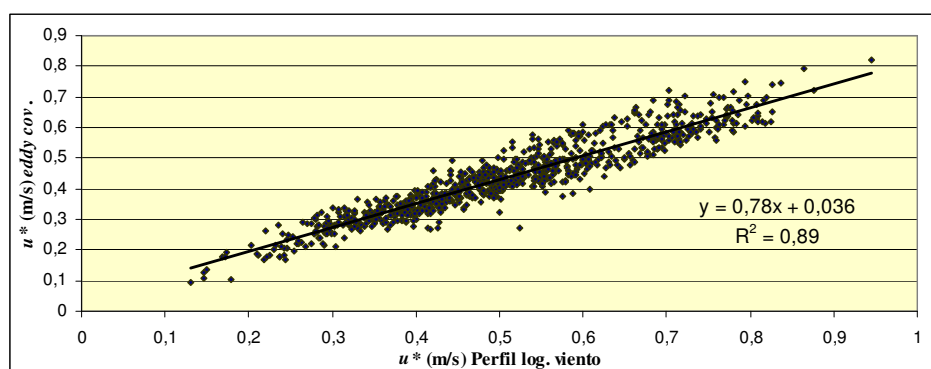


Figura 1: Representación de los valores de u^* para toda la serie temporal obtenidos mediante *eddy covariance* frente a los obtenidos usando el perfil logarítmico de u .

En cuanto al análisis de la variabilidad estacional de Z_0 , los resultados muestran una clara dependencia de dicho parámetro respecto a la presencia o ausencia de la cobertura de nieve sobre la superficie. En la corta estación estival, el crecimiento de la vegetación conlleva un aumento en los valores de Z_0 hasta el mes de septiembre donde se alcanza el máximo. Desde inicios de octubre, el inicio de la temporada de nieves interrumpe el crecimiento de la vegetación y homogeniza la superficie provocando un brusco descenso en Z_0 , cuyos valores se aproximan a 0 (Figura 2).

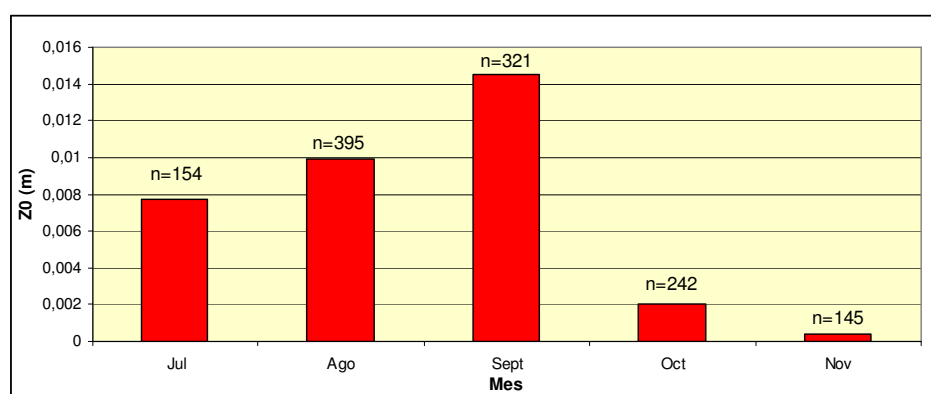


Figura 2: Evolución mensual del valor de Z_0 calculado con *eddy covariance*.

Dado el cambio que muestra la tendencia entre la época estival y el periodo con presencia de nieve, se ha obtenido dos valores de Z_0 , uno para cada periodo, permitiendo así definir de una manera más eficaz la rugosidad superficial. El periodo

en ausencia de nieve, datado usando el radiómetro CNR1 y el sensor de altura de nieve SR50A entre el 14/7 y el 30/9, presenta un valor medio de Z_0 de 0,0108 metros. En el periodo con nieve sobre la superficie, entre el 1/10 y el 9/11, se obtiene un valor de 0,0007 metros. Con valores tan cercanos a 0, puede afirmarse que durante la larga estación invernal, la generación de turbulencia se reduce considerablemente. Como se observa en la figura 3, ambos valores coinciden con los mostrados en la clasificación de Wieringa (1992).

Valores de Z_0 : Clasificación Wieringa (1992)		Valores Z_0 estudio (m)	
Z_0 (m)	Tipo de terreno	Sin nieve	Con nieve
0,03	Praderas, tundra, zonas aeroportuarias	0,0108	
0,005	Playas, ciénagas, campos nevados		0,0007
0,0002	Mar abierto, llanuras nevadas zonas pavimentadas		

Figura 3: Comparativa de valores de Z_0 obtenidos en el estudio con valores de la clasificación de Wieringa (1992).

AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la inestimable ayuda y dedicación de Penélope Serrano y Andy Kowalski, por su trato cordial y cercano desde el inicio. Agradecer al doctor Benjamin Runkle la gentileza de haber proporcionado los datos de este proyecto así como su disposición para resolver las cuestiones surgidas durante el proceso. Gracias a todos los compañeros de clase por estar siempre dispuestos a echar una mano y hacer tan amenas las interminables jornadas de cálculos en el “refugio”. Y gracias a mi familia, en especial a mis tíos *biyoyos*, por acogerme como a uno más en las últimas semanas de encierro.

REFERENCIAS

- ¹ Woodward, F., 1987. Climate and Plant Distribution. *Cambridge University Press*, 174pp.
- ² Zimov, S.A., Schuur, E.A.G. and Chapin III, F.S. 2006. Permafrost and the global carbon budget. *Science*, 312, 1612-1613.
- ³ Boike, J., Kattenstroth, B., Abramova, K., Bornemann, N., Chetverova, A., Fedorova, I., Frob, K., Grigoriev, M., Gruber, M., Kutzbach, L., Langer, M., Minke, M., Muster, S., Piel, K., Pfeiffer, E.-M., Stoof, G., Westermann, S., Wischniewski, K., Wille, C., Hubberten, H.-W. 2013. Baseline characteristics of climate, permafrost and land cover from a new permafrost observatory in the Lena River Delta, Siberia (1998–2011). *Biogeosciences*, 10, 2105–2128, 2013.
- ⁴ Stull, R. B.: 1988, An Introduction to Boundary Layer Meteorology, Kluwer, Netherlands.
- ⁵ Wieringa, J.: 1993, *Representative Roughness Parameters for Homogeneous Terrain*, Kluwer, Netherlands