

## ALGUNAS CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS DE LA LOCALIDAD DE TAMBO QUEMADO – BOLIVIA

R. Torrez , F. Ghezzi, E. Palenque <sup>(1)</sup>  
J. Egger, J. Reuder , J. Sweeden <sup>(2)</sup>

<sup>1</sup>Laboratorio de Física de la Atmósfera  
Universidad Mayor de San Andrés  
La Paz, Bolivia

<sup>2</sup>Instituto de Meteorología de Munich  
Universidad de Munich  
Munich, Alemania

### RESUMEN

En el marco del proyecto “Circulación Atmosférica sobre el Altiplano Andino”, en plena ejecución, entre investigadores del Meteorological Institute of Munich (MIM) de la Universidad de Munich, y del Laboratorio de Física de la Atmósfera (LFA) de la UMSA, se esta realizando el análisis de las series temporales de las estaciones meteorológicas instaladas en las regiones de transición entre altiplano y tierras bajas. El presente artículo, es solo una prospección de las características climáticas de la región de Tambo Quemado, con el objeto de describir y modelar su comportamiento en relación al clima altiplánico.

La localidad de Tambo Quemado corresponde al Departamento de Oruro, y se encuentra al oeste del país, justo en la línea fronteriza entre la republica de Bolivia y la república de Chile, está situado a  $18^{\circ}16'62''S$  y  $69^{\circ}00'34''$ , y a una altitud de  $4400msnm$ . El periodo de análisis corresponde a la temporada primavera-verano del año 2003. En este trabajo se presenta un análisis del comportamiento de la temperatura, la variabilidad de la humedad relativa, los flujos de viento, la alta incidencia de la radiación solar y las relaciones entre ellas.

### 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto “Circulación atmosférica sobre el Altiplano Andino”, tiene su origen el año 2000, con la visita del Prof. J. Egger del Instituto de Meteorología de la Universidad de Munich. El año 2003 se ejecuta el proyecto, con una gran campaña de mediciones, en diferentes lugares del país. Entre ellos, la localidad de Tambo Quemado. Asimismo, se instalan en dichos lugares, estaciones meteorológicas para el seguimiento del comportamiento

climático por varios años.

La estación meteorológica de Tambo Quemado consiste de un equipo automático de registro de datos, con gran autonomía de operación y adecuado a las duras condiciones ambientales de esta región. Consta de un sensor de radiación solar Kipp and Zonen, sensores de temperatura y humedad Vaisala, sensores de presión, velocidad y dirección de Viento Fischer, así como sistema de adquisición de datos, sistema de potencia y protección,

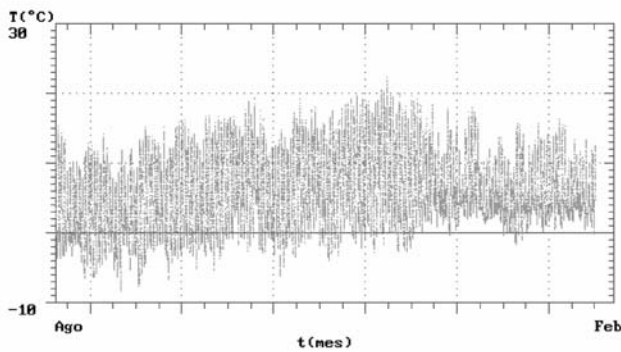


Figura 1. Variación de la temperatura en el periodo primavera-verano del año 2003 en la localidad de Tambo Quemado. Bolivia.

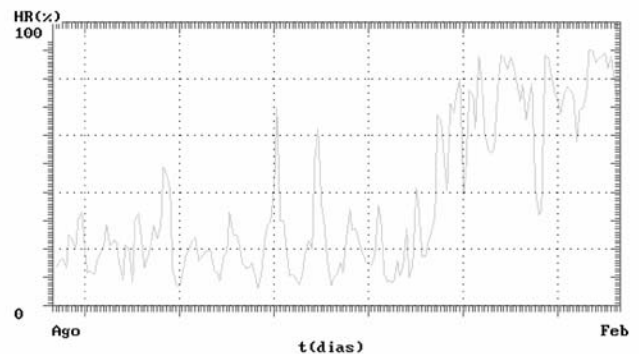


Figura 2. Variación de la humedad relativa a lo largo del periodo de análisis.

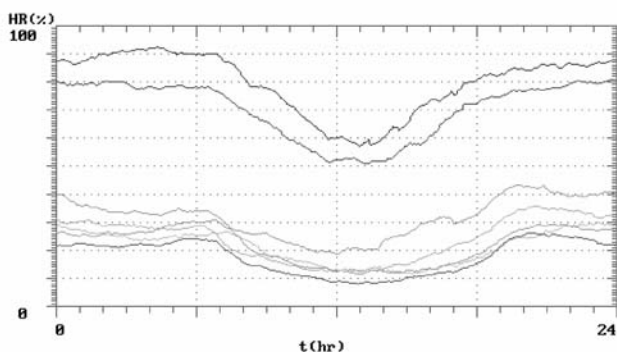


Figura 3. Evolución de la humedad relativa diaria a lo largo de los meses. Las curvas inferiores corresponden a la época seca, mientras que las superiores a la lluviosa.

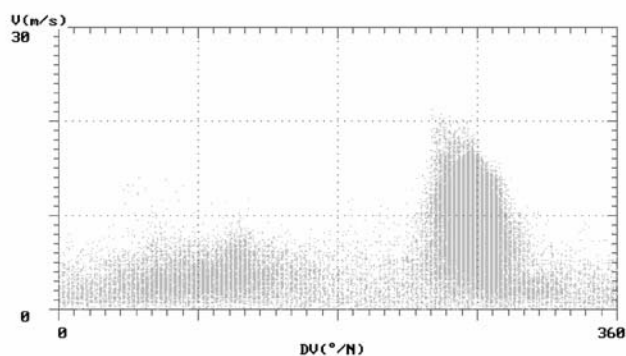


Figura 5. Dirección y velocidad del viento en Tambo Quemado. Se observan dos flujos predominantes.

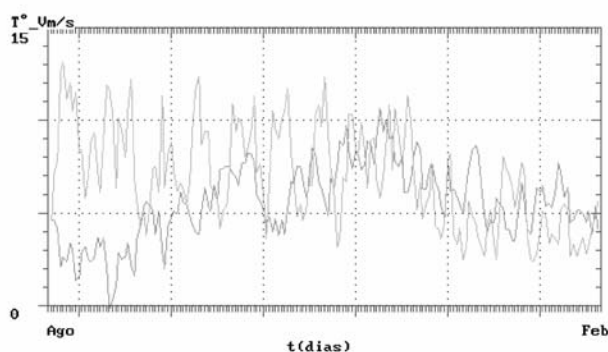


Figura 4. Variación de la velocidad promedio diario del viento (curva sup.). Se puede observar que se reduce notablemente hacia el final de la serie.

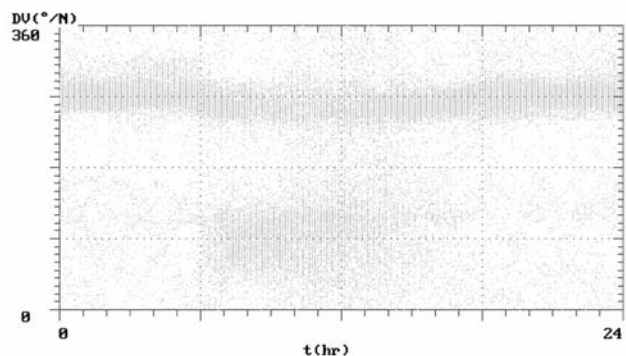


Figura 6. Dirección del viento a lo largo del día. Se observa que la velocidad mas frecuente tiene también dirección constante.

estructura de soporte y control, de la misma compañía.

El objetivo del proyecto es; establecer la interacción de la atmósfera altiplánica con las corrientes tropicales a ambos lados de las cordilleras. Para este propósito, se han instalado una serie de estaciones meteorológicas en los principales pasos de montaña entre estas regiones, para el seguimiento de las variables climáticas a lo largo de un periodo de cinco años, adicionalmente se han realizado mediciones del perfil atmosférico sobre el lugar con el lanzamiento de globos, sondeo de temperatura, vientos y humedad con aviones de aeromodelismo, y mediciones en tierra a intervalos de una hora aproximadamente.

El paso montañoso de la localidad de Tambo Quemado, se sitúa sobre el fondo oeste del altiplano orureño, entre medio de los volcanes Payachata y Huallatiri, a aproximadamente 250km al sud-oeste de la ciudad de La Paz. La zona presenta escasa cobertura vegetal, ríos de curso solo estacionales, y cielos claros y limpios durante la mayor parte del año.

## 2. LAS SERIES TEMPORALES DE DATOS

Los datos obtenidos para esta región presentan en general una marcada regularidad por periodos de tiempo, por ejemplo, la temperatura aumenta paulatinamente desde un valor promedio de 3°C en agosto hasta un

valor promedio de 10°C en diciembre, desde donde desciende irregularmente hasta los valores inicialesde (fig. 1).

En cuanto se refiere a la humedad, la región de Tambo Quemado es críticamente seca, con una humedad promedio en invierno y primavera de alrededor del 20 %, que se mantiene con ligeras fluctuaciones hasta diciembre, sin embargo en la época de lluvias, la humedad se incrementa rápidamente hasta valores superiores al 80 % (fig. 2).

La sequedad ambiental se refleja también notablemente a lo largo de los días. La figura 3 muestra como la humedad varía entre el día y la noche en un 15 % aproximadamente en los meses secos, ampliándose hasta 30 y 40 % en los meses de lluvia.

En cuanto al régimen de viento, se observa que su flujo es considerable en la época seca, o sea, al principio de la primavera, observándose un decrecimiento notable al final del verano como se observa en la figura 4. Con respecto al comportamiento diario, la velocidad del viento alcanza sus máximas valores alrededor de las 4 de la tarde, luego del cuál decrece paulatinamente durante la noche hasta alcanzar sus valores mínimos aproximadamente a las 9 de la mañana del día siguiente.

El flujo de viento tiene básicamente dos direcciones

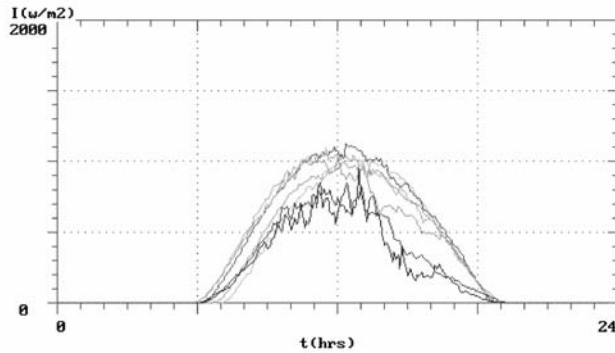


Figura 7. Evolución de la intensidad de radiación solar desde el inicio de la serie de datos. Se puede observar las distorsiones de la curva típica durante el verano.

predominantes, la primera y mas frecuente se origina en el lado de la costa y se mueve con dirección al este, o sea, hacia el altiplano boliviano (fig. 5). El viento de ésta dirección es más intenso y más regular durante la noche, sin embargo en el día es perturbado por el flujo diurno del altiplano en sentido contrario. Esta peculiar característica nos permite vincular esta corriente de aire a efectos sinópticos de la circulación general atmosférica [1].

El flujo altiplánico diurno de este a oeste, es típicamente térmico, es decir; tiene origen en el calentamiento del aire altiplánico que da lugar a un gradiente de presión hacia el oeste. Este viento que tiene igual o mayor intensidad que el viento sinóptico, ‘colisiona’ con este dando lugar a una disminución neta de la velocidad y a un cambio brusco de dirección. Es decir: da lugar a corrientes turbulentas más dispersas y con menores o iguales velocidades instantáneas que el flujo estacionario, y que se manifiestan desde las primeras horas de la mañana hasta el final de la tarde

En lo que se refiere a la intensidad de la radiación solar, ésta alcanza valores notablemente elevados en esta región, especialmente en la primavera, debido a su cielo limpio y claro (fig. 7). Durante el verano o época lluviosa, la presencia de las nubes distorsiona la curva de radiación solar, especialmente por las tardes.

Los valores significativamente altos de la velocidad del viento y de la radiación solar, hacen interesante la posibilidad de su aprovechamiento, teniendo en cuenta que los valores obtenidos corresponden a una superficie pasiva, o que fueron obtenidos a poca altura sobre el suelo.

La figura 8 presenta la evaluación de las energías solar y eólica pasiva acumulada diaria, a pocos metros del suelo, y por unidad de área del colector o sistema [2]. Para el caso del viento, en la evaluación de su energía, se ha estimado la densidad del aire en aproximadamente la mitad de su valor a nivel del mar. En la gráfica se puede ver la alta y creciente incidencia de la energía solar durante la primavera con valores promedio superiores a los 25 MJ por día. Sin embargo, iniciado la época lluviosa,

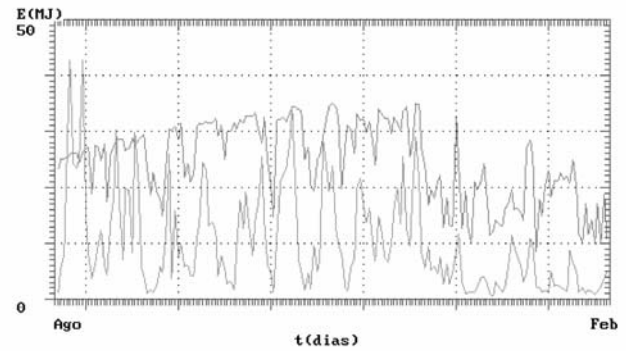


Figura 8. Disponibilidad de energía diaria. La curva superior corresponde a la energía solar, y la inferior a la energía eólica. Se puede observar la reducción de ambas durante el verano.

esta disponibilidad de energía se reduce notablemente, hasta alrededor de 10 MJ.

En cuanto a la energía eólica, este se observa más variable en el corto periodo, pero se muestra más estable en el largo periodo con un promedio mensual aproximado a los 15 MJ por día.

Dado que en la región de Tambo Quemado se tiene un largo periodo seco, la gran disponibilidad de energía en este periodo puede bien aplicarse para bombeo de agua, o alternativamente para producción de energía eléctrica, que supliría en gran medida al empleo de biomasa como combustible para las actividades domésticas de los pobladores de la región.

En cuanto se refiere a la intensidad de la radiación solar, los máximos alcanzados durante los meses de invierno y primavera son significativamente altos para fines de aprovechamiento energético, como se ha explicado anteriormente, pero asimismo, bastante peligrosos para la exposición prolongada a esta radiación, en vista de la componentes de radiación ultravioleta que conllevan, especialmente del tipo B [3].

### 3. CONCLUSIONES

Aclarando debidamente que este análisis es parcial y preliminar, debido a que el proyecto contempla un estudio global de todas las estaciones y por lo menos con 3 años de datos. Las conclusiones que se extraen a continuación tienen solo carácter indicativo:

- La humedad relativa presenta dos estaciones bien definidas, seca y lluviosa.
- La temperatura presenta una notable regularidad con un margen de variación de pocos grados centígrados entre ambos periodos.
- En cuanto al flujo de viento, presenta un régimen sinóptico diario bien definido, alterado por condiciones del entorno próximo, especialmente del altiplano. Como fuente de energía puede ser significativo su aprovechamiento.

- La radiación solar como energía es notablemente alta en el primer periodo y no significativo en el segundo. Para fines de salud puede resultar peligroso prolongadas exposiciones al sol.

## REFERENCIAS

- [1] Salby M. Fundamentals of Atmospheric Physics, Academic Press, New York, 1995.
- [2] Iqbal, M. Introduction to Solar Radiation, Academic Press, New York, 1986; GTZ, Wind Energy, Friedr. Vieweg & Sohn, Wiesbaden, 1985.
- [3] Zaratti, F. y Forno, R. La Radiación Ultravioleta en Bolivia, LFA & OPS, La Paz, 2004.