



# Comparación entre los sitios de LLAMA y APEX

F. A. Bareilles<sup>1,2</sup>, R. Morras<sup>1,2</sup>, F. P. Hauscarriaga<sup>1</sup>, L. Guarrera<sup>1</sup>, E. M. Arnal<sup>1,2</sup> y J. R. D. Lepine<sup>3</sup>



(1) Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR-CONICET)  
 (2) Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas - UNLP  
 (3) Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias de la Atmósfera (IAG), Universidad de San Pablo, Brasil

## Resumen

Presentamos una comparación de datos meteorológicos y de opacidad atmosférica en la frecuencia de 210 GHz entre el lugar donde se encuentra instalado el radiotelescopio APEX (Atacama Pathfinder Experiment) y el sitio donde se construirá LLAMA (Long Latin American Millimeter Array). Este último se denomina Alto Chorrillo, se encuentra a 4800 m sobre el nivel del mar y a unos 16 Km de la localidad de San Antonio de los Cobres en la provincia de Salta. El trabajo se encuadra en las campañas de caracterización de sitios que el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR) se encuentra efectuando desde el año 2002.

## 1 Introducción

A principio de mayo de 2011 se instaló una robusta estación meteorológica en el sitio donde se construirá LLAMA (Long Latin American Millimeter Array). Si bien hubiésemos preferido realizar la instalación de esta estación conjuntamente con la del radiómetro Tipper en julio de 2009, no fue posible por motivos presupuestarios.

La base de datos meteorológicos es, al momento, de tan sólo 140 días. Por lo tanto, se decidió comparar los datos con los obtenidos en forma simultánea en el sitio del radiotelescopio APEX (Atacama Pathfinder Experiment), en los Llanos de Chajnantor, al norte de Chile y distante unos 185 Km en dirección Noroeste del sitio de LLAMA. En dicho sitio poseen una base temporal de datos meteorológicos muy extensa. Este hecho es el que motiva la comparación.

## 2 Equipo Meteorológico

Los sensores, y algunos elementos de la estación meteorológica, fueron adquiridos por el Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias de la Atmósfera (IAG) de la Universidad de San Pablo, Brasil, como parte del convenio LLAMA. Éstos fueron:

De la firma CAMPBELL SCIENTIFIC:

- Datalogger: CR1000
- Enclosure: ENC14/16
- Battery: BP24
- Regulator: CH100-SW
- Solar panel: SP20
- Pyranometer: CMP3-L and mounting: CM225

De la firma R. M. YOUNG:

- Wind Monitor: ALPINE 05103-45 (rugged version).
- RH and Temperature Probe: 41382VC
- Barometric Pressure Sensor: 61302V

El resto de los elementos: blindaje contra la radiación (Radiation Shield) del termómetro e higrómetro, torre, elementos de montaje, anclajes, vientos, muertos, etc. fueron desarrollados en el propio instituto (IAR) (figura 1).



Figura 1: Imágenes del proceso de instalación: hormigonado de la torre, el montaje, la conexión de elementos y la estación terminada.

### 2.1 Software

El fabricante del colector de datos (Datalogger) (CAMPBELL SCIENTIFIC) provee software para adquirir los datos en computadoras PC con Windows Vista en adelante, y software en Java para PC con GNU/Linux. Este último necesita gran cantidad de recursos, con los que no podíamos contar. Se optó por construir software para la adquisición local y remota de datos, y ponerlo a disposición de la comunidad respetando la Licencia Pública General versión 3 (GPL v3). El software construido adquirió usuarios rápidamente en todo el globo, principalmente en regiones cercanas al Polo Norte. Puede obtenerse una copia en: <http://www.iar.unlp.edu.ar/~fedegcampda.html> o realizando la búsqueda "gcampda" en el foro de usuarios de Campbell Scientific: <http://www.campbellsci.com/forum>

### 2.2 Transporte de Datos

Se dotó a la estación meteorológica y al equipamiento ya instalado en la montaña (Tipper), de un dispositivo Bluetooth. Se construyó así una red de instrumentos en el cerro que se vincula mediante un enlace de radio, en 2.4 GHz, a la estación del Tren de las Nubes en San Antonio de los Cobres, y desde ésta, al Escuadrón 22 de Gendarmería Nacional, donde nos proveen de Internet.

## 3 Datos

En este trabajo se presentan los datos obtenidos entre el 9 de mayo y el 22 de septiembre de 2011 para la estación instalada en Alto Chorrillo (LLAMA) y una estación en el Llano de Chajnantor (APEX).

En todos los casos, el tiempo está expresado en hora local argentina (GMT-3).

### 3.1 Presión Atmosférica

En la figura 2 podemos ver los registros de presión atmosférica para Chorrillo (4813 m sobre el nivel del mar) y APEX (5104 m sobre el nivel del mar). La diferencia de presión se debe a la diferencia de altura (291 m). Utilizando la ecuación altimétrica, la diferencia de altura  $z$  viene dada por:  $z = \alpha * \ln(P_0/P_1)$ , donde  $P_0$  y  $P_1$  son las presiones de ambos sitios y  $\alpha \approx 8430$  m. De esta forma obtenemos  $P_0/P_1 = 1.035$ , que está en buen acuerdo con los registros.

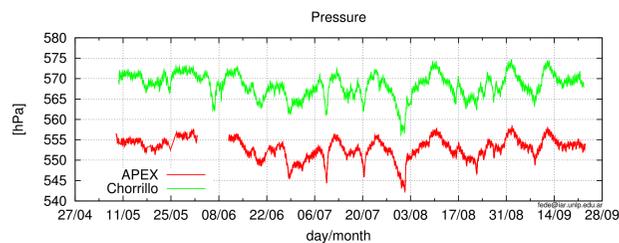


Figura 2: Registro de presión atmosférica simultáneo para APEX y Chorrillo

### 3.2 Temperatura

En la figura 3 se presentan los registros simultáneos de temperatura. Para facilitar la lectura del gráfico se ha representado en el lado izquierdo la temperatura media diaria para todo el periodo, y en el lado derecho el registro temporal completo para el mes de agosto de 2011. Se ha obtenido una amplitud térmica diaria media de  $\sim 11^\circ\text{C}$  en Chorrillo y de  $\sim 9^\circ\text{C}$  en APEX. Esta diferencia de  $2^\circ\text{C}$  en las amplitudes, podría explicarse: a) por la diferencia en el contenido de vapor de agua en el aire entre los dos sitios, pero esto no es lo que reflejan los datos de humedad relativa (figura 7), y b) por una posible ineficiencia en el blindaje contra la radiación solar, elemento que será reemplazado en la próxima campaña de mantenimiento, a los fines de investigar esta posibilidad.

En la siguiente tabla se resumen los datos de temperatura.

Sitio	Temperatura [ $^\circ\text{C}$ ]			
	Máxima	Mínima	Media	Amplitud
Chorrillo	9.9	-15.8	-3.5	10.9
APEX	5.8	-19.6	-6.6	9.1

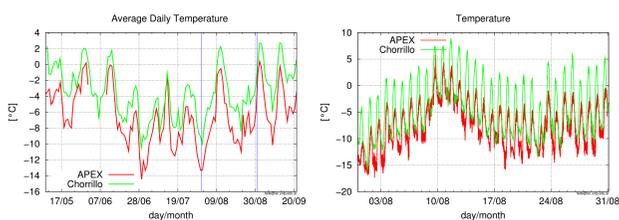


Figura 3: Izquierda: Temperatura media diaria para todo el periodo. Las líneas azules indican el periodo representado en el gráfico de las derecha. Derecha: Registro temporal completo para agosto de 2011.

### 3.3 Velocidad del Viento

Es la variable más delicada que debe ser medida en esta etapa del proyecto. De estos valores dependerá la estructura de la antena y su montaje. Se utilizará la base de datos obtenida para calcular un modelo dinámico de flujo en el cerro, y así elegir la mejor zona para las instalaciones.

En la figura 4 se representa el registro de velocidad del viento para el mes de agosto de 2011. Ésta muestra una muy buena correlación temporal entre los dos sitios que se comparan. La figura 5 presenta el histograma y la función de distribución acumulativa para todo el periodo de toma de datos. Se aprecia una menor dispersión en los datos de APEX, lo que será motivo de análisis en los próximos meses.

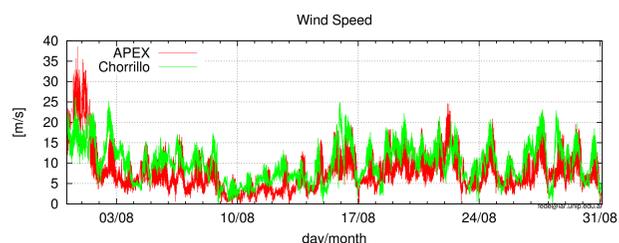


Figura 4: Velocidad del viento para agosto de 2011.

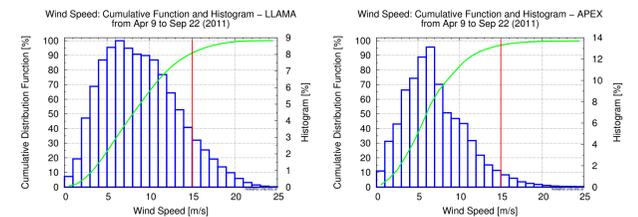


Figura 5: Velocidad del Viento: Función acumulativa e histograma para ambos sitios. La línea roja en 15 m/s (54 Km/h) señala el límite de operatividad para antenas del tipo APEX o ALMA (esquina inferior derecha).

La siguiente tabla resume los datos relevantes de la velocidad del viento.

Sitio	Velocidad del Viento			
	Media [m/s]	Moda [m/s]	tiempo < 15 m/s [%]	Nº de Medidas
Chorrillo	8.9	6.5	91.5	195796
APEX	7.1	6.2	96.9	166689

### 3.4 Humedad Relativa

El instrumento utilizado (41382VC) tiene una precisión de  $\pm 2\%$ , y una estabilidad superior al  $\pm 1\%$  por año. En la figura 7 (al pie del póster) se muestran los dos registros temporales completos. Se puede apreciar una muy buena correlación temporal, siendo la humedad relativa ambiente en Chorrillo ligeramente inferior a las de APEX.

## 4 Opacidad Atmosférica a 210 GHz

La opacidad atmosférica está siendo monitoreada en forma continua desde julio de 2009. En la figura 6 se representan los valores de opacidad obtenidos por cuantiles, para cada mes del año, para todo el periodo en el que se han tomado datos (2009-2011). Detalles del instrumental e información sobre la determinación de opacidades, pueden verse en [1] y [2].

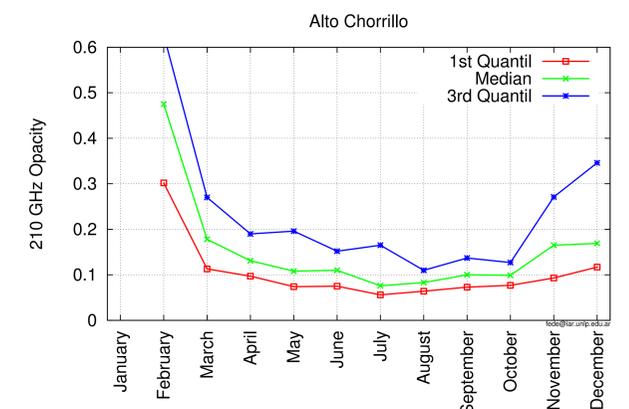


Figura 6: Datos obtenidos entre julio de 2009 y septiembre de 2011. Los datos obtenidos el mes de enero son muy escasos para tener representación estadística y se han omitido.

## 5 Conclusiones

Las mediciones de opacidad atmosférica permitieron seleccionar la región de Alto Chorrillo como sitio potencial para alojar LLAMA, pero aun faltaba una buena base de datos climatológicos de la zona. El hecho de que el clima se comporte en forma casi idéntica a como lo hace en la región del Llano de Chajnantor (APEX), permite concluir que el sitio de Alto Chorrillo muestra un comportamiento climático muy similar al del Llano de Chajnantor.

## Agradecimientos

Queremos agradecer a las Autoridades y personal del Escuadrón 22 de Gendarmería Nacional por el apoyo logístico y proveer el acceso a Internet con el que se transportan los datos en tiempo real. A la comunidad de San Antonio de los Cobres por su valiosa colaboración, tanto logística como de mano de obra.

## Referencias

- [1] Bareilles, F. A.; Morras, R.; Hauscarriaga, F. P.; Olalde, J. C.; Guarrera, L. & Arnal, E. M. 2010, BAAA, **53**, 199-202
- [2] Bareilles, F. A.; Morras, R.; Olalde, J. C.; Hauscarriaga, F. P. & Arnal, E. M. 2007, BAAA, **50**, 329-332

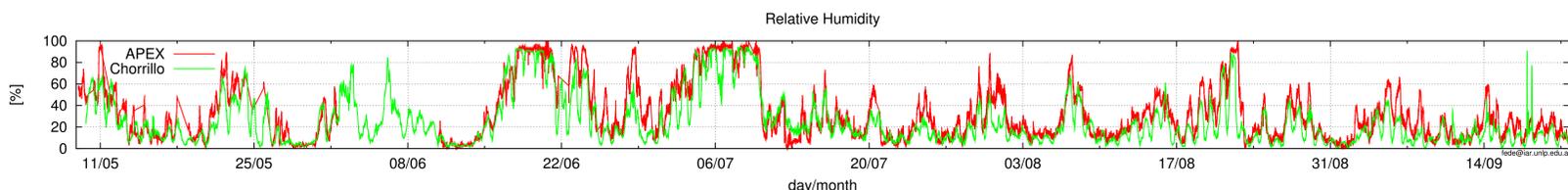


Figura 7: Registro de humedad relativa ambiente en APEX y Chorrillo.

