

## Estudio del Clima en el Complejo Astronómico Andrés Bello

Oliver Christopher López<sup>1,2,3,4,5</sup>, Janeth Rivas Silva<sup>1,6,7</sup>

<sup>1</sup> Complejo Astronómico Andrés Bello, [www.olichris.jimdo.com](http://www.olichris.jimdo.com)

<sup>2</sup> Sociedad Venezolana de Aficionados a la Astronomía, [www.sovafa.com](http://www.sovafa.com)

<sup>3</sup> Planetario Humboldt, [www.planetariohumboldt.com](http://www.planetariohumboldt.com)

<sup>4</sup> Sociedad Astronómica de Venezuela

<sup>5</sup> Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables <http://aavso.org>

<sup>6</sup> Universe Awarenes

<sup>7</sup> U.E.N Aguedo Felipe Alvarado

[olichris26@gmail.com](mailto:olichris26@gmail.com), [janethrivas8@gmail.com](mailto:janethrivas8@gmail.com)

### RESUMEN

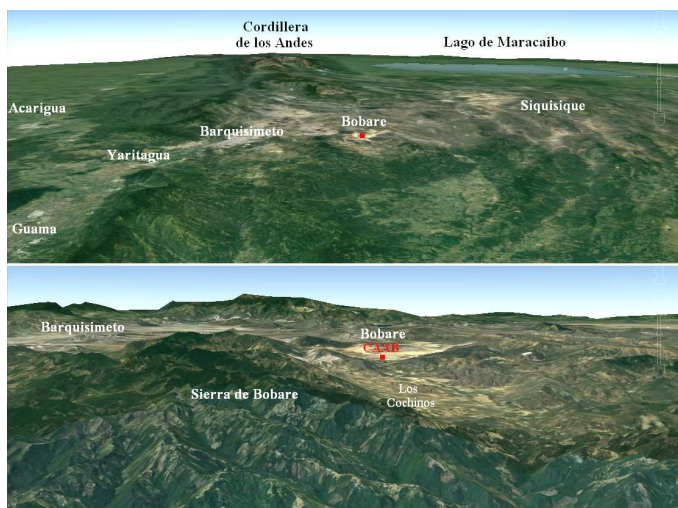
En el presente trabajo se estudia la temperatura, humedad, nubosidad y precipitación en el Complejo Astronómico Andrés Bello (CAAB), con la finalidad de evaluar lo favorable de la región para las observaciones astronómicas, tanto para el CAAB como para el Centro de Observación Astronómica Tayabeyxo (COAT). Los datos fueron recabados durante el día y la noche por los autores junto a los alumnos de la U.E.N Aguedo Felipe Alvarado entre marzo de 2015 y octubre de 2018.

Palabras clave: Astronomía Observacional – Meteorología – Climatología – Lluvias – Geografía – Nubosidad – Bobare.

### 1. INTRODUCCIÓN

El complejo Astronómico Andrés Bello se encuentra situado en las afueras de la población de Bobare en el estado Lara de Venezuela, lo seco de esta zona y su ubicación geográfica Lat: 10°16'31,7"N, Lon: 69g27m45,8sO, Altura:655.3msnm<sup>1</sup>, que le da acceso a los 2 hemisferios celestes, lo hacen un excelente sitio para la observación astronómica. Por esto fue necesario conocer las condiciones climáticas y cantidad de noches despejadas al año, para aprovechar todo su potencial observacional.

Imágenes 1 y 2



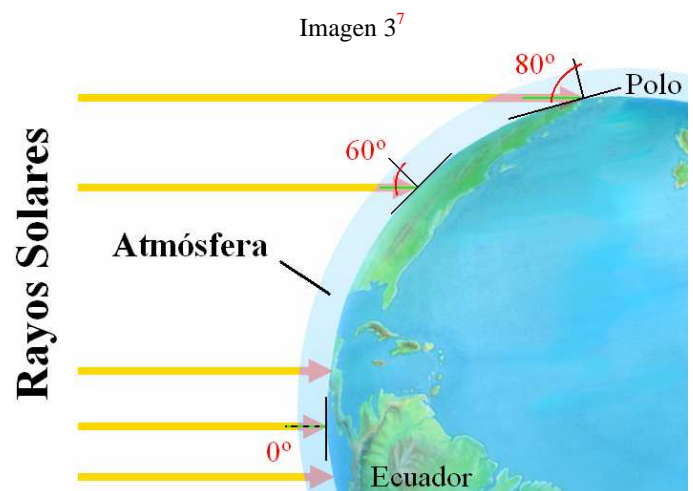
Las imágenes 1 y 2<sup>2</sup> muestran la ubicación del lugar del complejo (cuadro rojo), visto de E a O desde una altura de 19.15, y 3.98 Km respectivamente.

El clima es el conjunto de factores meteorológicos que afectan a un territorio y viene determinado por la temperatura, humedad,

precipitaciones, vientos, proximidad del mar, altura, latitud y relieve<sup>3</sup>. El viento ha sido evaluado en un estudio previo<sup>4</sup>, por tal motivo en este estudio se monitorean solo cuatro aspectos: temperatura, humedad, nubosidad, y precipitación. Los datos fueron obtenidos por los autores junto a los alumnos de Geografía de la U.E.N Aguedo Felipe Alvarado de Bobare, así como de la base de datos del Ministerio del Ambiente<sup>5</sup> y del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH)<sup>6</sup>.

#### 1.1 Dinámica de la Temperatura y la Humedad

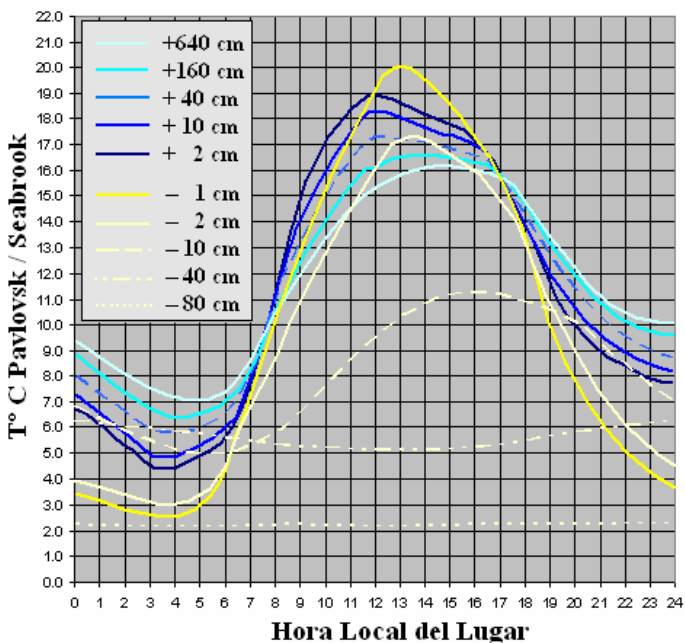
La temperatura es el nivel de calentamiento de un lugar y depende fundamentalmente del grado de insolación del suelo. A nivel global, el calentamiento es mayor en el ecuador que en los polos, debido a que los rayos solares inciden en el suelo perpendicularmente (imagen 3), cuanto más se separa el Sol del



cenit (punto mas alto del cielo), menor es la energía absorbida por el suelo. Por ejemplo a 60° del cenit el efecto calorífico es aproximadamente la mitad del que provocarían los mismos rayos si llegaran al suelo perpendicularmente como en el ecuador. Adicionalmente, como hacia el ecuador la luz atraviesa menor espesor atmosférico, dominan las radiaciones azules y UV con mayor temperatura, mientras que el los polos se hace mayor el espesor, filtrándose y dispersándose estas radiaciones y penetrando solo las radiaciones rojas e infrarrojas con menor temperatura. El mismo fenómeno ocurre a medida que el Sol se va elevando en el firmamento a lo largo del día y su luz va atravesando menor espesor atmosférico, siendo el mínimo espesor a medio día, por esto la temperatura máxima se registra luego de mediodía, hacia las 14 horas o 2 de la tarde (ver grafica 1). En las regiones templadas esta puede llegar a 60°C<sup>8</sup>.

El aire que se encuentra en las proximidades del suelo, se calienta por contacto con este, produciéndose un gradiente térmico que decrece alrededor de 1°C por cm de elevación. Al llegar la noche el suelo se enfría al irradiar a hacia al espacio el calor acumulado durante el día en forma de rayos infrarrojos, lo que enfría también el aire (aunque a un ritmo mas lento), aunque esta reemisión tiene la propiedad de atravesar la bruma y las nubes poco densas<sup>9</sup>, a mayor transparencia atmosférica, es decir, mientras mas despejado este el cielo y más seca la atmósfera, este enfriamiento es más intenso, estableciéndose así un gradiente térmico nocturno inverso al gradiente diurno, el descenso de la temperatura alcanza su mínimo poco antes de la salida del Sol<sup>10,8</sup>.

Grafica 1



La grafica 1 adaptada<sup>8</sup>, muestra en tonos azul la temperatura a diferentes elevaciones del suelo en primavera en Seabrook-Nueva Jersey (EEUU), se aprecia el amortiguamiento de las variaciones térmicas con la elevación y la inversión de temperaturas. En amarillo se muestra la temperatura a diferentes

profundidades de un suelo arenoso en primavera en la ciudad de Pávlovsk, en el distrito de Púshkinski de San Petersburgo (Rusia)<sup>11, 12</sup>. Se aprecia igualmente el amortiguamiento de las variaciones térmicas con la profundidad y la inversión nocturna de las temperaturas en las proximidades de la superficie.

El calentamiento diurno del suelo por lo general se atenúa muy rápidamente con la profundidad y prácticamente deja de ser perceptible más allá de los 50 cm. A medida que se incrementa la profundidad, la amplitud de las oscilaciones térmicas se van amortiguando por demorarse la transmisión del calor a los estratos más profundos, desfasándose los máximos y mínimos.

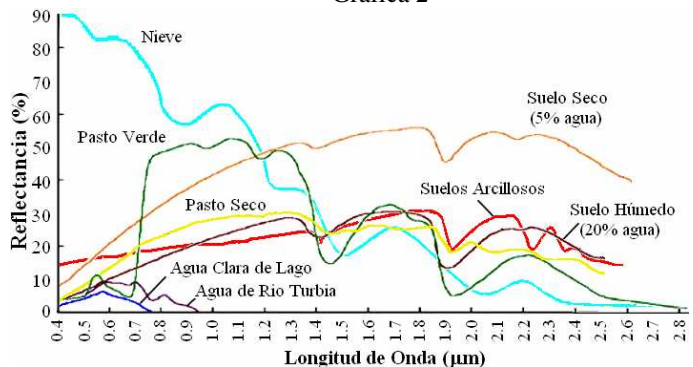
El albedo o reflectancia del suelo también influye en su calentamiento<sup>8</sup>, esta propiedad depende de su composición granulométrica (ver tabla 1), y del contenido de materia orgánica, factores que determinan su grado de retención de agua, la que por sus propiedades, absorbe la luz (ver grafica 2, e imagen 6a), por esto los suelos ásperos y arenosos, presentan por su buen drenaje, un bajo contenido de agua<sup>13</sup>, lo que los hace mas claros, reflejando en el óptico alrededor del 26% de la luz incidente, y hasta el 60% en el infrarrojo térmico<sup>8</sup>. En cambio los suelos con sedimentos finos o materia orgánica como el humus bruto mojado, al tener bajo drenaje, retienen mas agua, lo que disminuye su albedo a solo el 8%<sup>8</sup> en el óptico, con bandas de absorción producidas por el agua a 1.4, 1.9 y 2.7 μm. Por comparación, la nieve recién caída refleja en el óptico el 90% de la luz incidente, pero su contenido microscópico de agua líquida disminuye su albedo dramáticamente hacia infrarrojo medio<sup>14</sup>.

Tabla 1<sup>8, 15, 16, 17, 18</sup>

Tamaño de las Partículas	Nombre
2 – 0.2 mm	Arena Gruesa
0.2 – 0.05 mm ó (50 μ)	Arena Fina
50 μ – 20 μ	Arena Muy Fina o Limo Grueso
20 μ – 2 μ	Limo
<= 2 μ	Arcilla

Tabla 1: clasificación granulométrica de los suelos (1 micra “μ” = 0.001 mm). Las Arenas son esencialmente una mezcla de granos de cuarzo prácticamente inalterable (sílice puro) producto de la disgregación de las rocas cristalinas, o derivado de estas, el Limo, es una mezcla de sedimentos arcillosos, calcáreos, ferruginos y arenosos con materia orgánica<sup>16, 17, 18</sup>, las arcillas por su parte, están compuestas fundamentalmente de silicatos de aluminio hidratados como el AlOH, originados por la hidrólisis de las micas y feldspatos iniciales (magma o lava volcánica solidificada)<sup>8, 15, 19</sup>.

Grafica 2<sup>20, 14</sup>



Los suelos rojos, amarillos y café por la presencia de minerales de Hierro: Goethita (FeOOH), y Jarosita  $K(Fe^{3+})_3[(OH)_6(SO_4)_2]$ <sup>20</sup>, producen fuertes bandas de absorción a 0.48, 0.55, y 0.92  $\mu m$ <sup>13</sup>, así como el Oxido Ferroso (FeO), y Óxidos Férricos (Fe<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de las Hematitas<sup>21, 20</sup> que disminuyen también la reflectancia en el óptico pero mas allá de 0.6  $\mu m$  posee una alta reflectancia<sup>22</sup>, en los suelos arcillosos el Hidroxilo (OH) unido al aluminio (AlOH) y al magnesio (MgOH), produce bandas de absorción a 2.2 y 2.3  $\mu m$  respectivamente (ver grafica 2).

Otro factor que determina la reflectancia de los suelos, es la rugosidad de su superficie, en ausencia de agua las rocas parecen más oscuras que los suelos de texturas finas. No obstante, a pesar de los altos albedos de los suelos secos de arena fina, la elevación de la temperatura en su superficie es mayor a la de un suelo húmedo, porque en los suelos húmedos el contenido de agua aumenta la conductividad del calor absorbido hacia los estratos mas profundos, y adicionalmente cierta cantidad de la energía calorífica se disipa en la evaporación del agua<sup>8</sup>.

El sitio del CAAB se ha caracterizado por poseer suelos arcillosos, y arena clara y seca típico de las regiones áridas y semiáridas (ver la tonalidad de Bobare en las imágenes 1 y 2). La mayor parte de los sedimentos arcillosos propiamente dichos son el resultado de un transporte de partículas de alteración desde el continente hasta el mar o lago donde se depositan, en el caso de Bobare, se encuentra en una zona de depresión que se encontraba sumergido bajo el agua hacia el periodo cuaternario.

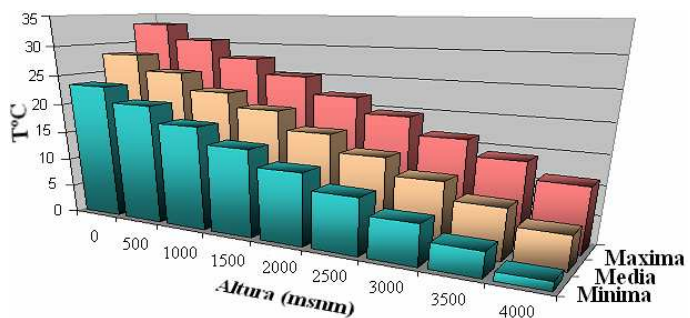
La vegetación por su parte, esta condicionada por la naturaleza del suelo, la hidrografía y el clima, e influye también en el calentamiento del suelo, el calor se atenúa más rápidamente en el interior de la formación cuanto más clara y densa es esta y mayor es su número de estratos. En el bosque por ejemplo, durante el día, se establece también un gradiente térmico decreciente hacia el suelo, es decir, inverso del que se da al aire libre. Por el contrario, por la noche, la cubierta tiende a reducir el enfriamiento del suelo y del aire en los estratos inferiores. Entonces las temperaturas bajo una cubierta vegetal son menos elevadas durante el día pero mas elevadas durante al noche que en las localidades situadas al descubierto. A esto se suma la transpiración de los vegetales, al utilizar una parte de la energía recibida, contribuye a disminuir el calentamiento del aire durante el día y la inversión durante la noche<sup>8</sup>.

Las curvas de reflectancia de la grafica 2, muestran como en la vegetación verde sana, la clorofila absorbe en el espectro de reflexión una alta proporción de energía entre 0.45 y 0.67  $\mu m$ , incrementando la reflectancia de forma dramática en el 40 a 50% de la energía incidente hacia el infrarrojo cercano entre 0.7 al 1.3  $\mu m$  (picos en las curvas), debido a estructura celular de las hojas de las plantas. Más allá de 1.3  $\mu m$ , la energía incidente sobre la vegetación es esencialmente absorbida<sup>22</sup> por el agua en las hojas, presentándose las mismas bandas de absorción de agua que exhibe el del suelo húmedo a 1.4, 1.9 y 2.7  $\mu m$ .

A medida que nos alejamos del suelo más allá de los 2 m de altura, su influencia calorífica en la temperatura del aire se atenúa rápidamente, y esta pasa a depender de la elevación del lugar con respecto al nivel del mar, descendiendo en los primeros 12 km de altura (troposfera) a un ritmo de entre 0.55 y 0.98°C cada 100 m de elevación<sup>8, 23, 24</sup>. Esto sucede porque la atmósfera, aunque se extiende hacia lo alto varios cientos de kilómetros desde la superficie terrestre, la mayor parte de su masa se encuentra comprimida por su propio peso en los

La grafica 3<sup>23</sup> muestra los valores medios, mínimos y máximos vs la altura.

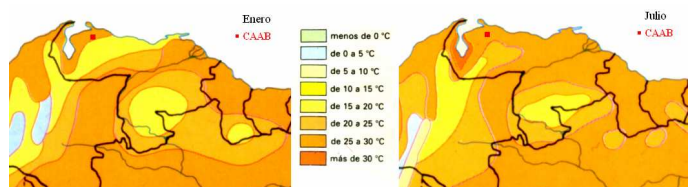
Grafica 3<sup>23</sup>



primeros 30 kilómetros, lo que la hace menos densa con la altura al ir disminuyendo su presión. Es decir, hay menor cantidad de moléculas de gas por unidad de volumen. Decimos entonces que el aire se enrarece. Al reducirse el espesor de la atmósfera, la absorción de la luz que esta ejerce también se reduce, en especial la contribución de luz azul y UV<sup>8</sup>, lo que incrementarse la radiación solar que calienta el suelo, pero la menor presión también reduce la capacidad hidrométrica del aire (capacidad para contener vapor de agua), perdiendo con esto conductividad lo cual impide que el suelo le transmita su calor al aire, el cual por si mismo absorbe solo débilmente la radiación solar y también se enfría muy lentamente por si solo. Esto hace descender la temperatura con la altura. La menor humedad del aire favorece la perdida de calor durante la noche y en invierno, lo que motiva un descenso brusco de la temperatura<sup>25, 26</sup>.

Algunos autores<sup>23</sup> estiman la temperatura superficial de un lugar a partir solo de su altura sobre el nivel del mar, y para puntos intermedios interpolan altitud en lugar de la temperatura.

Imagen 4a, 4b<sup>27</sup>



La imagen 4a y 4b indica la temperatura media del territorio venezolano para Enero y Julio, las zonas de igual temperatura se unen a través de líneas isotermas<sup>3</sup>. Notese que las menores temperaturas (en amarillo) se dan en la región mas alta representada por la cordillera de los andes. Los mapas de temperatura comúnmente muestran la temperatura en función de la altura msnm.

En los desiertos, la diferencia entre las temperaturas del aire diurnas y nocturnas son corrientemente de 20°C, mientras que las del suelo pueden llegar a ser de hasta 35°C. En los océanos, por el contrario, estas variaciones no sobrepasan los 2°C<sup>10,8</sup>.

La Humedad por su parte, es la cantidad de vapor de agua en el aire, y se origina de la evaporación del agua contenida en los mares, lagos y ríos, y en el propio suelo. Los suelos arcillosos o ricos en humus, por ser más impermeables, retienen el agua más eficazmente contribuyendo más al incremento de la humedad, que los suelos arenosos, cuya permeabilidad permite el descenso del agua<sup>8</sup>, aunque estos se vuelven impermeables al saturarse de agua en las temporadas de lluvias<sup>15</sup>. La estructura y textura del suelo regulan, en buena parte, la filtración y la retención de agua, de la cual dependen la humedad de la localidad y la evaporación. En climas húmedos, los suelos de elevada porosidad (arenas, calizas fisuradas) corresponden generalmente a las localidades más xerófilas, por oposición a los suelos ricos en coloides o con un horizonte impermeable. En climas áridos, por el contrario se produce un fenómeno inverso: en las arenas el agua se mantiene almacenada a gran profundidad, mientras los suelos compactos, donde la infiltración es lenta o nula, dejan evaporar la mayor parte de los aportes<sup>8</sup>.

El tapiz vegetal tiende a mantener la humedad del suelo, y del aire, en el bajo bosque los valores de humedad son superiores que los encontrados al descubierto, este también trae consigo una reducción proporcional del poder de evaporación<sup>8</sup>.

La Humedad Absoluta es la cantidad de vapor de agua por unidad de volumen de aire, y es directamente proporcional al incremento de temperatura del aire, cuando el aire está caliente, por estar expandido, admite más vapor que el aire frío, por ejemplo: a temperaturas de 13°C, 27°C, y 50°C, admite 2, 5 y 20 veces más vapor que a 0°C respectivamente. Por otro lado La Humedad Relativa (HR), se mide en porcentaje y corresponde a la relación entre la masa de vapor de agua contenido en un metro cúbico de aire, y la masa que existiría si estuviera saturado a la misma temperatura (es decir que se cuantifica a la inversa de la humedad absoluta), aumenta al disminuir la temperatura. Entonces en igualdad de condiciones geográficas esta será mayor en invierno que en verano, en la noche que en el día, y en los países fríos que en los cálidos. Los vientos procedentes del mar, especialmente en invierno, al llegar al continente más frío que el océano, determinan un gran aumento de la humedad relativa del aire. Los vientos continentales por el contrario, la hacen disminuir. La altitud es otro factor que influye en la humedad relativa del aire. La humedad absoluta disminuye con la altitud, al disminuir la temperatura, y la humedad relativa aumenta por la misma razón. La humedad relativa es de mayor importancia en climatología, y será la utilizada en este estudio<sup>28</sup>.

La humedad atmosférica es un factor determinante en la clasificación de los climas, es rarísimo encontrar humedades relativas por debajo del 20%, incluso en los desiertos más secos, por debajo de 30% la sensación es difícil de resistir, entre 30 y 40 % es considerada baja, entre 40 y 60 % es considerada

normal, mientras esta debajo de 50% se puede sentir la sequía en el aire, cuando está por encima de 70% es alta y se dice que el aire es húmedo, cuando sobrepasa 85% es incomoda, y cuando alcanza 100%, el agua se condensa en forma de rocío<sup>28</sup>. El cual se da en las horas próximas al amanecer debido a la inversión térmica, donde el suelo se enfría por debajo de la temperatura del aire (ver gráfica 1), y si la temperatura ambiente es inferior a 0°C el rocío se convierte en escarcha en la superficie del suelo; a causa del enfriamiento, la capa inferior del aire alcanza su punto de saturación de vapor de agua, con la consiguiente condensación<sup>10,8</sup>.

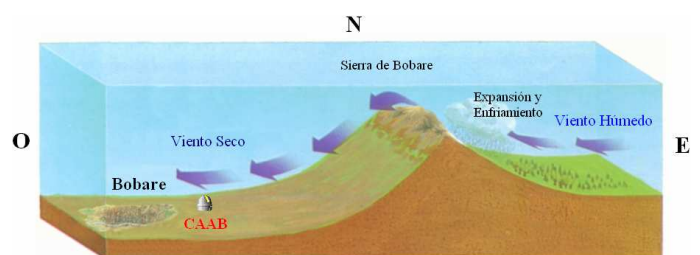
## 1.2 Dinámica de la Nubosidad y las Precipitaciones

El aire contiene cierta cantidad de vapor de agua, pero este por sí solo no forma las nubes, se requiere suficiente humedad para que el aire al sufrir un enfriamiento, la saturación lo haga condensarse en gotas, pero las moléculas de vapor de agua no concurren por sí solas en gotas sin la presencia en la atmósfera de “núcleos de condensación”, partículas sólidas de orígenes diversos: polvo fino arrancado al suelo por el viento, cristales de sal procedentes de los mares, partículas de humos industriales y domésticos, cenizas de los volcanes, polvillo producido de la volatilización de los meteoritos en la atmósfera, partículas de origen solar, etc. Los más propicios para la formación de las gotas de agua, son aquellos cuya superficie es giroscópica (o sea que absorbe la humedad), y los que la tienen mojada.

La condensación del vapor de agua sobre estos núcleos, ocurre cuando el aire se satura. Un aire próximo a la saturación en las capas más bajas de la atmósfera, llega al estado de saturación si se eleva suficientemente y se enfría. La humedad necesaria para saturar el aire es menor cuanto más baja es la temperatura.

En la región del CAAB el principal mecanismo para el enfriamiento del aire es la interposición en la trayectoria del viento dominante, de las sierras de Aroa y Bobare, estas hacen elevar la masa de aire la cual se expande debido a la menor presión, a este tipo de expansión sin aumento de calor (expansión adiabática), le sigue siempre un descenso de temperatura, con lo que el exceso de vapor de agua se condensa sobre los núcleos de condensación, formándose las nubes de lluvia del lado en que viene el viento (Barlovento), precipitándose la mayor parte de la lluvia de ese lado, quedando el lado opuesto (Sotavento) en la “sombra pluviométrica” presentando un clima seco<sup>29</sup>.

Imagen 5<sup>30,31</sup>

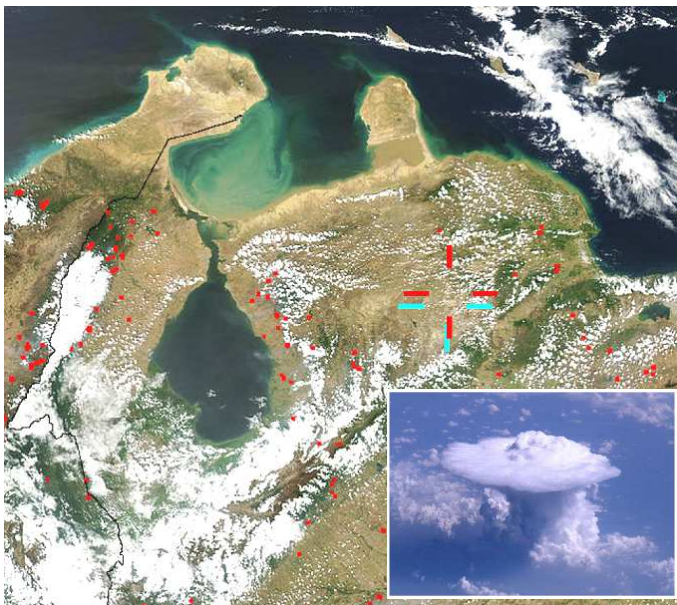


La segunda causa de la formación de desiertos y semidesiertos en el mundo, es precisamente este mecanismo. Por esto en los caseríos del este de Bobare asentados en plena sierra (Simara, Los Cochinos, el Sancharo, etc), llueve típicamente primero que en Bobare, y en el Cuji y Tamaca, del otro lado de la sierra de Bobare, la precipitación en mm es mayor.

Este fenómeno explica la importante nubosidad que se localiza a determinadas altitudes, así como la frecuente formación de nieblas en las depresiones donde la temperatura se mantiene más baja<sup>8</sup>.

La imagen 6a muestra como este fenómeno delinea las nubes en la cordillera de los andes, y se ve aunque con nubes mas pequeñas, delineando las nubes paralelamente a las sierras del sistema coreano (sierra de Aroa, Bobare, etc) en el estado Lara.

Imagen 6a<sup>32</sup> 6b



En otros casos se forman nubes de convección debido a un intenso calentamiento del suelo por los rayos solares, imagen 6b. El aire que esta en contacto con el suelo se calienta al mismo tiempo que se carga con la humedad evaporada; asciende entonces y el calor va propagándose a capas cada vez más altas. Se crea así un movimiento de convección, pero el aire sufrirá mas arriba un enfriamiento que provocara la condensación del vapor una vez alcanzado el nivel de condensación. La ascensión del aire puede deberse a la simple turbulencia de la atmósfera.

Muchas veces la nubosidad es engendrada por los frentes. Un frente frío puede ser comparado con una gigantesca montaña formada por una masa de aire frío, el cual hace elevar al aire calido y húmedo progresivamente, formando las nubes una vez que el aire ha franqueado el nivel de condensación<sup>3</sup>.

La neblina por su parte, se da frecuentemente en invierno, y no es mas que una nube al ras del suelo, con la diferencia que las gotitas de las nubes son de unos 0.16 mm, mientras que las de la neblina son más pequeñas (entre 0.006 y 0.02 mm). La transparencia del aire es el criterio adoptado para definirla: si la visibilidad horizontal es superior a 1 km de distancia, se trata de neblina o bruma húmeda, si es inferior a 1 km; es niebla, si es inferior a 500 m, es niebla espesa, y si es inferior a 300 m, es niebla cerrada. La niebla puede tener diferentes causas, pero en todas ha de concurrir dos condiciones, la presencia de núcleos de condensación y un tenor en agua mínimo de 0.5 gramos por kg de aire. Las causas de su disipación son múltiples, al igual que las de su formación, aunque predominan entre ellas el viento y la insolación. En los centros urbanos es frecuente ver el smog (del ingles *smoke*, humo, y *fog*, niebla), una niebla persistente que se carga con los humos, gases y vapores industriales<sup>33, 26</sup>.

Cuando las partículas de agua de lluvia, nieve, granizo, llovizna, rocío o escarcha, caen desde las nubes hasta la superficie terrestre se denomina precipitación atmosférica, y es contabilizada en mm. Aunque las dos ultimas no proceden propiamente de las nubes, sino de la condensación en las capas atmosféricas superficiales.

La inestabilidad atmosférica se manifiesta habitualmente en forma de lluvia. De esta manera, los chaparrones o lluvias veraniegas características de ambientes calidos, frecuentemente acompañadas de truenos y actividad eléctrica, provienen del rápido ascenso de bloques de aire cuyas partículas se electrizan por el rozamiento y favorecen tanto la creación de cristales de hielo, como la aparición de campos eléctricos que pueden liberar su energía a través de las enormes descargas entre las nubes, o entre las nubes y la tierra llamadas relámpagos<sup>34</sup>.

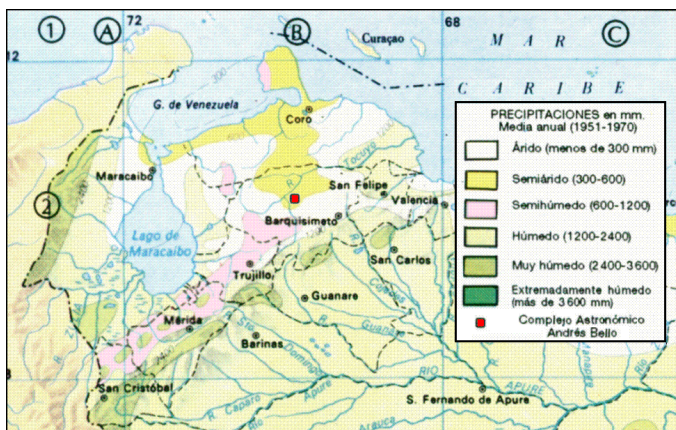
La masa de una gota de lluvia puede equivaler a un millón de veces la de una partícula acuosa de una nube, la formación de estas a partir de las nubes se explica corrientemente por la concatenación o superposición de varias fases físicas. En la fase de sublimación la nube asciende bruscamente bajando su temperatura por debajo de los  $-15^{\circ}$  y se convierte directamente el vapor de agua en grupos de pequeños cristales de hielo "núcleo de sublimación" por ocurrir una transición de fase entre gas y solidó sin pasar por estado liquido. En la fase de condensación, pequeños núcleos formados primordialmente por soluciones de cloruro de sodio (sal común) evaporada del agua del mar, y compuestos sulfatados provenientes de reacciones químicas atmosféricas que se hallan en el aire en suspensión, por su carácter hidrófilo los induce a capturar moléculas de agua, acentuar la humedad del aire, y facilitar la proliferación de cristales de hielo en las nubes. Estas se aglomeran en torno a los núcleos de sublimación. Cuando las partículas alcanzan un peso que impide a las corrientes ascendentes mantenerlas en la solución coloidal, caen hacia el suelo por gravedad. Las diversas formas de precipitación dependen del estado y características del aire en los diferentes estratos atmosféricos. El que logren alcanzar el suelo luego de atravesar largas distancias rozando el

aire, se debe a las notables dimensiones de las partículas y su velocidad de caída. Cuando sus diámetros superan los 0.127 mm tienen el peso suficiente para comenzar a llover, y se considera como llovizna mientras sus diámetros no superan el medio milímetro (0.5 mm), cuando lo superan se llama Lluvia. En ocasiones superan los 4 mm, pero al aumentar su tamaño resulta más probable su fragmentación en gotas más pequeñas.

Desde el punto de vista técnico la lluvia se clasifica en tres tipos, según la cantidad de líquido precipitada en mm. Lluvia ligera adopta valores por debajo de los 2.5 mm en una hora; moderada entre 2.8 y 7.6 mm, y pesada, superior a 7.6 mm. En la región del CAAB y el COAT, como en la mayor parte de la franja ecuatorial del planeta, se presentan lluvias de doble estación o Bimodales, en este caso los picos ocurren en Abril y Octubre, con entre 250 y 480 mm anuales.

La imagen 7 muestra los climas en la región de nor-occidental Venezolana, el sitio del estudio se indica con un cuadrado rojo, compare las zonas áridas y semiáridas con la imagen 6a.

Imagen 7<sup>35</sup>



Las regiones con una precipitación media anual inferior a 250 mm son consideradas como desierto, y en la mayoría de los casos, la evaporación es mayor que la precipitación. Es importante destacar que si bien la presencia de lluvias involucra directamente la existencia de nubes, la ausencia de lluvia no implica necesariamente cielos despejados.

## 2. MÉTODO

Las medidas de temperatura se obtuvieron con un termómetro digital con un rango de entre -9 y 99°C y una resolución de 0.1°, y las de humedad con un higrómetro capilar de aguja (usado en los estuches de violín) que indica la humedad relativa en porcentaje (ver imagen 8).

Estas medidas se obtuvieron según lo recomendado, a una altura de entre 1.60 y 2 metros sobre el nivel del suelo y que el Sol no incida directamente en el termómetro<sup>36</sup>, las lecturas se

Imagen 8



realizaron en dos periodos, desde el 13 de Marzo de 2015 para la temperatura, y desde el 22 de Marzo los de humedad (9 días después). Las lecturas se realizaron simultáneamente entre cada 15 minutos a una hora, desde un corredor techado ubicado en la población de Bobare a 1.9 Km del sitio del complejo a Lat: 10.26149436, Log: -69.47817361, Altura: 662 msnm, y se finalizaron el 12 de septiembre de 2015 a las 17:45 HLV. Un segundo grupo de medidas se realizó también desde un corredor techado a partir del 5 de octubre de 2017 a las 7:08 HLV. A unos 500 metros del complejo, a: Lat: 10.27708499, Log: -69.46638241, Altura: 648 msnm. A partir del 2 de marzo se realizan medidas simultáneas desde este punto y el sitio del CAAB, y para el 9 de marzo se lleva el termómetro e higrómetro al CAAB donde se continuó usando el mismo criterio.

Las medidas de temperatura del suelo se realizaron desde el sitio del CAAB con la sonda a unos 0.3 cm de profundidad, se midió la temperatura con el suelo iluminado a pleno sol, y también en la noche con cielo despejado.

### 2.1 Medidas de la Nubosidad

El método adoptado en este estudio fue el tradicional basado en observaciones in situ. La nubosidad se cuantificó basada en una escala de porcentaje: 0 para un cielo completamente libre de nubes, y 100 para un cielo completamente cubierto. Adicionalmente se realizaron estimaciones de la Neblina usando una escala del 0 al 4, donde: hasta 1, es una bruma muy suave que hasta el grado 0.5 no se percibe fácilmente, pero se visualiza en noches de luna como un halo tenue a su alrededor, o en las noches sin luna muestra la vía Láctea desenfocada y con brillo poco contrastado con el fondo del cielo, con ella es posible ver sin problemas la vía Láctea y realizar fotometría diferencial de estrellas no demasiado débiles. De 1 a 2 permite ver estrellas medianamente brillantes con un aspecto nebuloso, y hasta al alrededor del grado 1.5 permite discernir la vía Láctea, siendo 1.8 equivalente al propio brillo de la vía Láctea. Entre 2 y 3 indica una neblina más espesa que imposibilita debido al gran emborronamiento, imágenes planetarias y fotometría diferencial

de estrellas brillantes. Entre 3 y 4 oculta según el grado las estrellas más brillantes, y los planetas a partir del grado 3.5, el grado 4 oculta la luna llena. Esta escala intenta mantener una analogía con el criterio de visibilidad expuesto en la sección 1.2, aunque teniendo en cuenta que el grado 4 en esta escala, viene a ser similar al grado más tenue de la neblina o bruma húmeda, donde la visibilidad horizontal es superior a 1 km de distancia. En las imágenes satelitales la neblina esta representada por la detección de vapor de agua a  $6.7 \mu\text{m}$ <sup>36</sup> ver sesión 2.4.

Según el criterio descrito, un cielo como el de la imagen 9-1, tendría valores de: 95% Nubes, 100 % de neblina con un espesor de 2, simplificado seria 1) N = 95 B = 100 E = 2. Para las imágenes 9-2, 9-3 y 9-4 tendríamos respectivamente 2) N = 70 B = 80 E = 3. 3) N = 23 B = 70 E = 2. 4) N = 12 B = 45 E = 1.2.

Imagen 9-1, 9-2, 9-3, y 9-4<sup>37</sup>

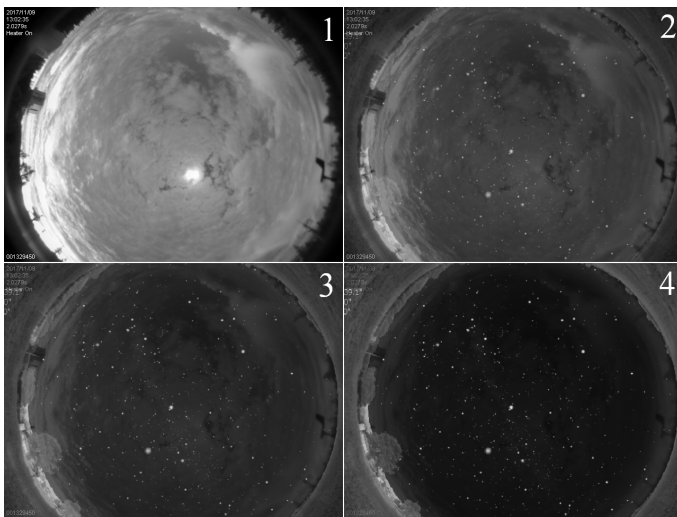
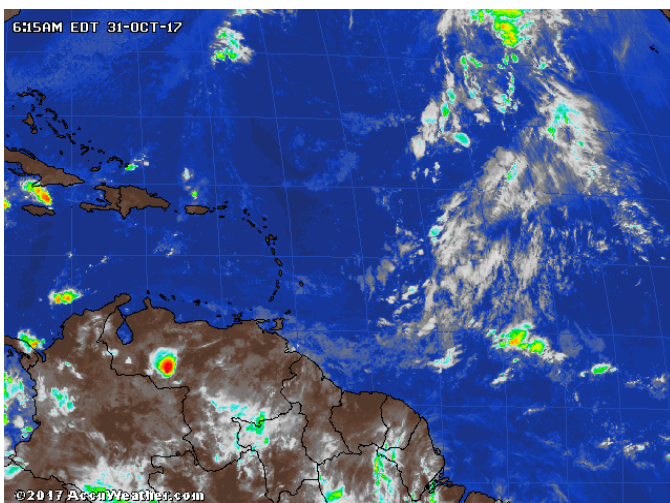


Imagen 10

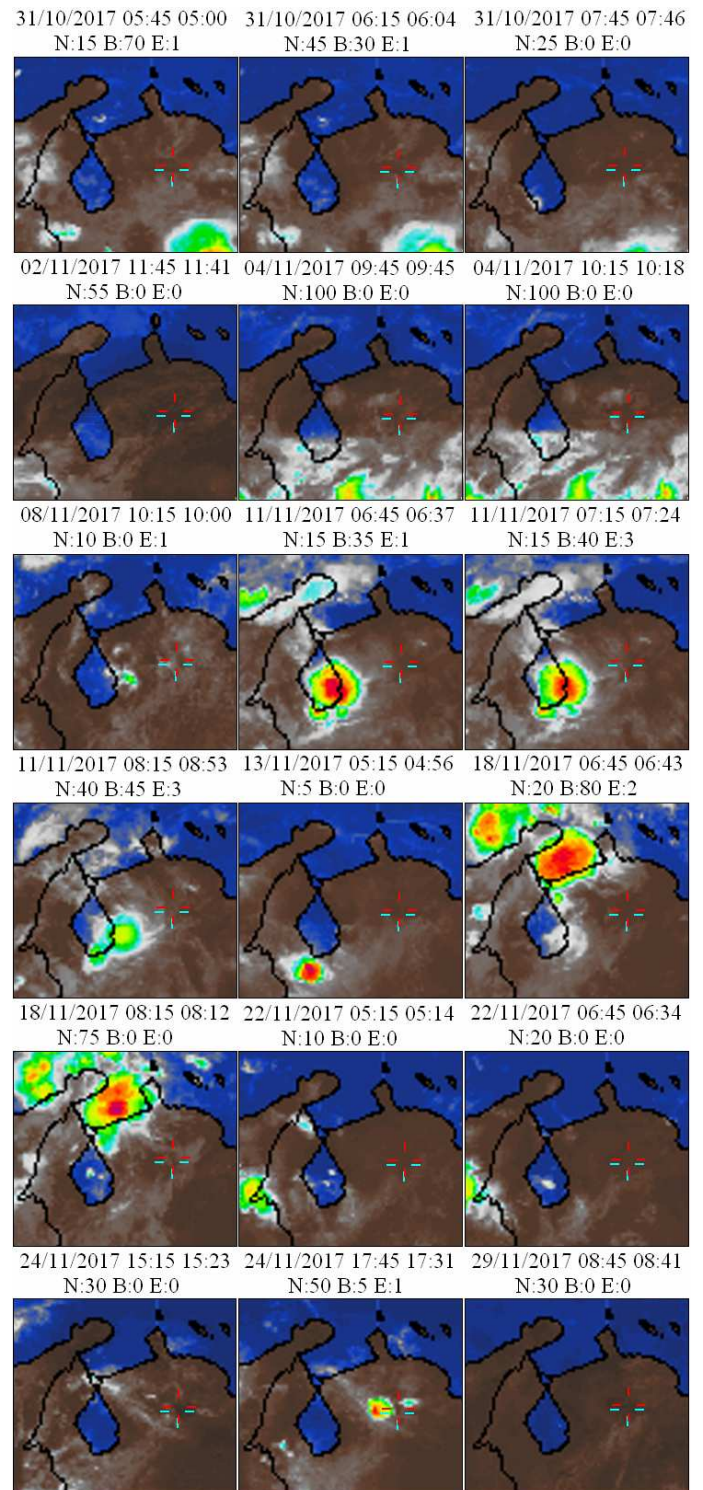


Para la lluvia se usaron tres números: 1 para llovizna, 2 para

lluvia, y 3 para lluvia torrencial.

Las medidas fueron comenzadas por el primer autor el 27 de Octubre de 2017 a las 10:23 HLV desde el segundo sitio

Imágenes 11a - 11p



mencionado. En la primera semana se establecieron y refinaron los parámetros descritos, al cotejarse las medidas in situ con imágenes satelitales descargadas semanalmente los dos primeros meses de los satélites GOES de la NASA<sup>38</sup>, tratadas por Space Science & Engineering Center University of Wisconsin – Madison<sup>39</sup> accesibles a través de Blog<sup>40</sup> (imagen 10). Estas fueron reescaladas a 3X con el algoritmo Bicubic en Iris 5.59<sup>41</sup>.

La ventaja de estas imágenes, es que a diferencia del sitio weather.msfc.nasa.gov/GOES<sup>38</sup>, permite apreciar las nubes en las horas nocturnas, y además toma en cuenta otras características recogidas también en otras bandas como la B3 (a 6.7 μm), correspondiente al vapor de agua. Las imágenes satelitales se comparan en el mismo instante con los valores in situ. Los parámetros para cada imagen son de izquierda a derecha: Fecha, Hora de la Imagen, Hora de la estimación in situ, Nubes, Bruma, Densidad de la Bruma. La fecha de la imagen se muestra en verde, la hora en negro es la de la estimación in situ, y la hora roja la de la imagen satelital.

Luego del refinamiento del método y paralelamente al cotejo con imágenes satelitales, se incorporo a los estudiantes de Geografía, luego de que la segunda autora explicara los conceptos en una clase previa haciendo pruebas de estimación al aire libre. Con ellos se simplifico la escala de porcentaje de nubes y neblina a una escala del 0 al 10. Las estimaciones de estos se realizaron

a lo largo de las 24 horas durante un mes.

La imagen 12 muestra una de las hojas de reporte entregadas por uno de los alumnos con la información recabada. Los datos de los alumnos se correlacionaron entre todos los participantes para detectar valores inconsistentes, y se cotejaron con las medidas de los autores y una vez a la semana durante un mes con las imágenes satelitales para convalidar sus estimaciones.

### 2.2 Criterio Estándar para Medir la Nubosidad

La presencia de nubes en general, cambia con el paso de las horas, una noche inicialmente despejada no garantizará que continúe así hasta el amanecer. Por tal motivo se hacia necesario comprobar como el porcentaje de cobertura por nubes y neblina cambiaba no solo por la noche, sino a lo largo de las 24 horas para tener una idea mas completa del comportamiento. La cobertura entonces, se clasifica según la transparencia del cielo, y también según la duración de esta transparencia. Según la transparencia tenemos el siguiente criterio<sup>36</sup>:

**Noche Fotométrica:** Una noche completamente libre de nubes.

**Noche Espectroscópica:** (noche utilizable con alguna nube)

**Noche Opaca:** (inutilizable debido a la gran cantidad de nubes)

Según la duración de la transparencia, el criterio es cuantificar dicha transparencia en tres instantes de la noche: al comienzo 19:15, al momento central 1:45, y al final 4:45. De este modo:

**Noche Despejada:** aquella que estuvo completamente libre de nubes en los tres instantes mencionados, su factor de calidad en la duración de la transparencia es del 100% (toda la noche fue fotométrica).

**Noche Clara:** aquella donde al menos 3/4 partes de la noche estuvo libre de nubes (fotométrica), factor de calidad en la duración de la transparencia mayor al 70 %.

**Noche Utilizable:** aquella donde al menos la mitad de la noche estuvo completamente libre de nubes (fotométrica), factor de calidad en la duración de la transparencia mayor al 50 %.

**Noche Cubierta:** donde se detectaron nubes en los tres instantes de la noche, su factor de calidad es del 0 %.

De lo anterior es posible determinar el tiempo útil o Fracción de Noches Claras al año, por sus siglas en inglés CSF (Clear Sky Fraction). Para los observatorios modernos se buscan lugares con el 80% de noches utilizables al año, 60% de estas noches fotométricas, sin embargo, noches fotométricas que brindan condiciones para fotometría absoluta con precisión del 1%, no es un interés primordial en el CAAB, debido a que gran parte de la fotometría realizada es diferencial, la cual en la actualidad se ve beneficiada por cartografiados como SDSS (Sloan Digital Sky Survey), LSST, o APPAS, los cuales brindan estrellas de comparación precisas en cualquier ubicación, y a que si bien, no

Imagen 12

U.E.N AGUEDO FELIPE ALVARADO / COMPLEJO ASTRONÓMICO ANDRÉS BELLO  
BOBARE – ESTADO LARA  
ESTUDIO DE NUBOSIDAD  
PROF. JANETH RIVAS

(El profesor comparará la veracidad de los valores con la nubosidad de imágenes satelitales)

Apellido y Nombre: Zurbriggen, Celso Año: 3 Sección: 3 Lugar: Centro de Bobare  
Lat: 10.00 Long: 68.00 Altura usnm: 1000 Fecha de entrega: 07/12/17

Indique la cantidad de nubes en la columna N (Nubes) usando números del 0 al 10, 0 para un cielo completamente libre de nubes, y 10 para un cielo completamente cubierto de nubes. Indique la cantidad de Bruma (Neblina) en la columna B. He igual modo del 0 al 10, en la columna B indique el grado de espesor de la Bruma. 1 Transparente, 2 Semiespesa, 3 Densa, 4 Opaco total. En la columna L, indique si las nubes están acompañadas de lluvia usando tres números: 1 para lluvia fina, 2 para lluvia, y 3 para aguacero torrencial. Indique en fecha: día, mes, año (en el año use solo los dos últimos dígitos), en hora indique con AM o PM. Ejemplo: 27/10/17 12:22 PM, o 27/Oct/17 12:22 PM. Realice 3 medidas en el día: la primera amaneciendo, la segunda a cualquier hora del día, y la tercera atardeciendo, y 3 medidas en la noche.

Fecha/Hora	N	B	L	Fecha/Hora	N	B	L	Fecha/Hora	N	B	L	Fecha/Hora	N	B	L
11-11-17 05:00 am	0	0	0	11-11-17 14:00 pm	0	0	0	11-11-17 11:00 pm	0	0	0	11-11-17 08:00 pm	0	0	0
11-11-17 06:00 am	0	0	0	11-11-17 15:00 pm	0	0	0	11-11-17 12:00 am	0	0	0	11-11-17 09:00 pm	0	0	0
11-11-17 07:00 am	0	0	0	11-11-17 16:00 pm	0	0	0	11-11-17 01:00 am	0	0	0	11-11-17 10:00 pm	0	0	0
11-11-17 08:00 am	0	0	0	11-11-17 17:00 pm	0	0	0	11-11-17 02:00 am	0	0	0	11-11-17 11:00 pm	0	0	0
11-11-17 09:00 am	0	0	0	11-11-17 18:00 pm	0	0	0	11-11-17 03:00 am	0	0	0	11-11-17 12:00 am	0	0	0
11-11-17 10:00 am	0	0	0	11-11-17 19:00 pm	0	0	0	11-11-17 04:00 am	0	0	0	11-11-17 01:00 am	0	0	0
11-11-17 11:00 am	0	0	0	11-11-17 20:00 pm	0	0	0	11-11-17 05:00 am	0	0	0	11-11-17 02:00 am	0	0	0
11-11-17 12:00 pm	0	0	0	11-11-17 21:00 pm	0	0	0	11-11-17 06:00 am	0	0	0	11-11-17 03:00 am	0	0	0
11-11-17 13:00 pm	0	0	0	11-11-17 22:00 pm	0	0	0	11-11-17 07:00 am	0	0	0	11-11-17 04:00 am	0	0	0
11-11-17 14:00 pm	0	0	0	11-11-17 23:00 pm	0	0	0	11-11-17 08:00 am	0	0	0	11-11-17 05:00 am	0	0	0
11-11-17 15:00 pm	0	0	0	11-11-17 00:00 am	0	0	0	11-11-17 09:00 am	0	0	0	11-11-17 06:00 am	0	0	0
11-11-17 16:00 pm	0	0	0	11-11-17 01:00 am	0	0	0	11-11-17 10:00 am	0	0	0	11-11-17 07:00 am	0	0	0
11-11-17 17:00 pm	0	0	0	11-11-17 02:00 am	0	0	0	11-11-17 11:00 am	0	0	0	11-11-17 08:00 am	0	0	0
11-11-17 18:00 pm	0	0	0	11-11-17 03:00 am	0	0	0	11-11-17 12:00 pm	0	0	0	11-11-17 09:00 am	0	0	0
11-11-17 19:00 pm	0	0	0	11-11-17 04:00 am	0	0	0	11-11-17 01:00 pm	0	0	0	11-11-17 10:00 am	0	0	0
11-11-17 20:00 pm	0	0	0	11-11-17 05:00 am	0	0	0	11-11-17 02:00 pm	0	0	0	11-11-17 11:00 am	0	0	0
11-11-17 21:00 pm	0	0	0	11-11-17 06:00 am	0	0	0	11-11-17 03:00 pm	0	0	0	11-11-17 12:00 pm	0	0	0
11-11-17 22:00 pm	0	0	0	11-11-17 07:00 am	0	0	0	11-11-17 04:00 pm	0	0	0	11-11-17 01:00 pm	0	0	0
11-11-17 23:00 pm	0	0	0	11-11-17 08:00 am	0	0	0	11-11-17 05:00 pm	0	0	0	11-11-17 02:00 pm	0	0	0
11-11-17 00:00 am	0	0	0	11-11-17 09:00 am	0	0	0	11-11-17 06:00 pm	0	0	0	11-11-17 03:00 pm	0	0	0
11-11-17 01:00 am	0	0	0	11-11-17 10:00 am	0	0	0	11-11-17 07:00 pm	0	0	0	11-11-17 04:00 pm	0	0	0
11-11-17 02:00 am	0	0	0	11-11-17 11:00 am	0	0	0	11-11-17 08:00 pm	0	0	0	11-11-17 05:00 pm	0	0	0
11-11-17 03:00 am	0	0	0	11-11-17 12:00 pm	0	0	0	11-11-17 09:00 pm	0	0	0	11-11-17 06:00 pm	0	0	0
11-11-17 04:00 am	0	0	0	11-11-17 01:00 pm	0	0	0	11-11-17 10:00 pm	0	0	0	11-11-17 07:00 pm	0	0	0
11-11-17 05:00 am	0	0	0	11-11-17 02:00 pm	0	0	0	11-11-17 11:00 pm	0	0	0	11-11-17 08:00 pm	0	0	0
11-11-17 06:00 am	0	0	0	11-11-17 03:00 pm	0	0	0	11-11-17 12:00 am	0	0	0	11-11-17 09:00 pm	0	0	0
11-11-17 07:00 am	0	0	0	11-11-17 04:00 pm	0	0	0	11-11-17 01:00 am	0	0	0	11-11-17 10:00 pm	0	0	0
11-11-17 08:00 am	0	0	0	11-11-17 05:00 pm	0	0	0	11-11-17 02:00 am	0	0	0	11-11-17 11:00 pm	0	0	0
11-11-17 09:00 am	0	0	0	11-11-17 06:00 pm	0	0	0	11-11-17 03:00 am	0	0	0	11-11-17 12:00 am	0	0	0
11-11-17 10:00 am	0	0	0	11-11-17 07:00 pm	0	0	0	11-11-17 04:00 am	0	0	0	11-11-17 01:00 am	0	0	0
11-11-17 11:00 am	0	0	0	11-11-17 08:00 pm	0	0	0	11-11-17 05:00 am	0	0	0	11-11-17 02:00 am	0	0	0
11-11-17 12:00 pm	0	0	0	11-11-17 09:00 pm	0	0	0	11-11-17 06:00 am	0	0	0	11-11-17 03:00 am	0	0	0
11-11-17 01:00 pm	0	0	0	11-11-17 10:00 pm	0	0	0	11-11-17 07:00 am	0	0	0	11-11-17 04:00 am	0	0	0
11-11-17 02:00 pm	0	0	0	11-11-17 11:00 pm	0	0	0	11-11-17 08:00 am	0	0	0	11-11-17 05:00 am	0	0	0
11-11-17 03:00 pm	0	0	0	11-11-17 12:00 am	0	0	0	11-11-17 09:00 am	0	0	0	11-11-17 06:00 am	0	0	0
11-11-17 04:00 pm	0	0	0	11-11-17 01:00 am	0	0	0	11-11-17 10:00 am	0	0	0	11-11-17 07:00 am	0	0	0
11-11-17 05:00 pm	0	0	0	11-11-17 02:00 am	0	0	0	11-11-17 11:00 am	0	0	0	11-11-17 08:00 am	0	0	0
11-11-17 06:00 pm	0	0	0	11-11-17 03:00 am	0	0	0	11-11-17 12:00 pm	0	0	0	11-11-17 09:00 am	0	0	0
11-11-17 07:00 pm	0	0	0	11-11-17 04:00 am	0	0	0	11-11-17 01:00 pm	0	0	0	11-11-17 10:00 am	0	0	0
11-11-17 08:00 pm	0	0	0	11-11-17 05:00 am	0	0	0	11-11-17 02:00 pm	0	0	0	11-11-17 11:00 am	0	0	0
11-11-17 09:00 pm	0	0	0	11-11-17 06:00 am	0	0	0	11-11-17 03:00 pm	0	0	0	11-11-17 12:00 pm	0	0	0
11-11-17 10:00 pm	0	0	0	11-11-17 07:00 am	0	0	0	11-11-17 04:00 pm	0	0	0	11-11-17 01:00 pm	0	0	0
11-11-17 11:00 pm	0	0	0	11-11-17 08:00 am	0	0	0	11-11-17 05:00 pm	0	0	0	11-11-17 02:00 pm	0	0	0
11-11-17 12:00 am	0	0	0	11-11-17 09:00 am	0	0	0	11-11-17 06:00 pm	0	0	0	11-11-17 03:00 pm	0	0	0



es el caso de la mayoría de la fotometría, muchos trabajos observacionales se pueden realizar con neblina leve, y un cielo nublado con ventanas ocasionales despejadas.

### 2.3 Nuestra Extensión en las Medidas de Nubosidad

Según los resultados de diversos autores revisados en este trabajo (ver discusión), los argumentos de las secciones 1.2 y 2.2, y nuestro propio resultado, se sabe que la región del CAAB presenta una alta nubosidad, por tal motivo se incorporaron tres categorías adicionales de noches útiles 1 con área mas despejadas y 2 con fracciones más cubiertas, neblina leve y lapsos de tiempo más cortos en cuanto a la duración de la transparencia.

**Noche Semi-cubierta:** aquellas donde un área de al menos la mitad, un cuarto, o un octavo del cielo estuvo despejada. (Noche utilizable moderadamente nublada o muy nublada con 50%, 25%, y 12.5% de área libre de nubes respectivamente). En las secciones siguientes veremos que en la cuantificación estándar de la CSF el área considerada como despejada debe estar totalmente libre de neblina (< grado 0.1), por esto nuestro criterio para el área despejada es a partir de bruma igual o más tenue que grado 0.3. Para incorporar la neblina a la cobertura por nubes se uso la Eq1 y Eq2 de la sesión 2.8, con valores de espesor de 2.5, y 0.7, y para la totalización de la CSF a 0.3.

### 2.4 Nivel Umbral de Neblina

Para establecer que el nivel mínimo de neblina de 0.3 en nuestra escala, cuya transparencia en el cielo correspondiera a una noche fotométrica, se hizo uso de mediciones radiométricas realizadas desde satélite de la emisividad del suelo<sup>42,36</sup>.

Como vimos en la sesión 1.1, el suelo reemiten el calor solar acumulado durante el día con una intensidad proporcional a la temperatura alcanzada. Aunque si bien esta emisión IR abarca desde las 4 a las 50 micras “ $\mu\text{m}$ ” (ver imagen 13), su máximo se encuentra a  $9.4 \mu\text{m}$ <sup>22</sup>, lo que corresponde al Infrarrojo Térmico (4 a  $22 \mu\text{m}$ ), y lo sabemos gracias a la **Ley de Desplazamiento de Wilhelm Wiem**, que nos dice que un fotón emitido por un objeto con una temperatura de 1 grado kelvin (**1K**), tiene una longitud de onda de **0.29 cm**, y la longitud de onda es directamente proporcional para temperaturas menores e inversamente proporcional para temperaturas mayores. Es decir: **0.29 / Temperatura en K**. Esta relación la podemos aplicar en cualquier escala de longitud de onda: cm, mm,  $\mu\text{m}$  o nanómetros<sup>43</sup>. Como 0.29 cm son  $2900 \mu\text{m}$ , entonces Eq 1:

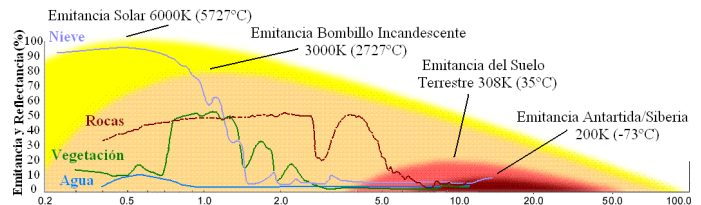
$$\text{Eq 1: Pico de Emisión } \mu\text{m} = 2900 / \text{Temperatura en K}$$

La temperatura media del suelo terrestre entre el día y la noche, es de alrededor de  $35^\circ\text{C}$ , para convertirla a grados kelvin le sumamos la constante 273, y así  $(35 + 273) = 308\text{K}$ , entonces:

$$2900 / 308 = 9.415 \mu\text{m}$$

En la imagen 13 se muestra estas emisiones en porcentajes con respecto a la emisividad del Sol visto desde la tierra, comparadas con la emisión de un bombillo incandescente, y con la emisión térmica del suelo en los lugares mas fríos como la Antártida a  $-90^\circ\text{C}$  y Verkhoyansky en Siberia (Rusia) a  $-68.8^\circ\text{C}$ <sup>10</sup>.

Imagen 13



Vemos como el desplazamiento del máximo de emisión hacia longitudes de onda mas cortas con el incremento de temperatura, va acompañado también de un aumento en la intensidad de dicha emisión. Nótese como el bombillo incandescente a pesar de tener el máximo de emisión a  $\sim 1 \mu\text{m}$ , exhibe a  $9.4 \mu\text{m}$  una emisión de mayor intensidad que la del suelo, también se ve con la temperatura del Sol. Esta es precisamente la clave para cuantificar la medida de temperatura desde los satélites GOES cuando se observa en alguno de sus canales.

La reemisión del suelo y de la atmósfera terrestre va dejando de ser dominante en el infrarrojo medio (3 a  $5 \mu\text{m}$ ), para comenzar a hacerse importante la radiación solar reflejada por las plantas y por el mismo suelo, dominando hacia el infrarrojo próximo (1 a  $2.5 \mu\text{m}$ ) como se vio en la sesión 1.1.

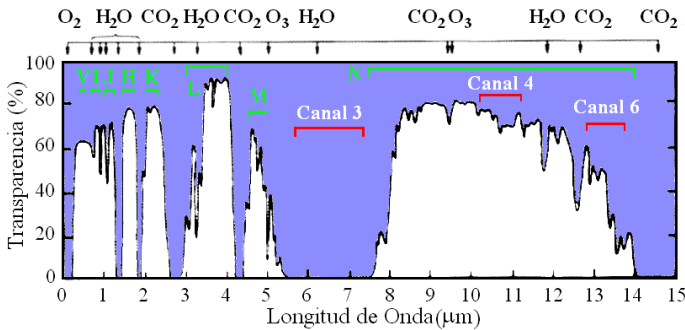
Sin embargo, como muestra la imagen 14, la atmósfera bloquea mucha de esta radiación, el ozono troposférico ( $\text{O}_3$ ) absorbe totalmente la radiación de  $4.7 \mu\text{m}$ , y parcialmente de  $9.5$  a  $10 \mu\text{m}$ ; el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) absorbe a  $4.15$  y  $4.5$  y de  $12$  a  $16.3 \mu\text{m}$ , la absorción del vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) es bastante compleja, pero sus efectos son mayores entre  $5.5$  y  $7 \mu\text{m}$ , a partir de  $20 \mu\text{m}$ , y también absorbe numerosas líneas entre  $4$  y  $5.5 \mu\text{m}$ , entre  $7$  y  $8$ , y entre  $13$  y  $20 \mu\text{m}$ <sup>9,22</sup>; también el oxígeno ( $\text{O}_2$ ) absorbe en el UV, estas regiones transparentes al espectro o ventanas espectrales<sup>22</sup>, se encuentran centradas a  $1.25$ ,  $1.65$ ,  $2.2$ ,  $3.6$ ,  $5$ , y de  $8$  a  $14 \mu\text{m}$ <sup>44</sup>.

La atmósfera también emite fuertemente en el IR teniendo un máximo a  $\sim 10 \mu\text{m}$  (~Banda N y ~Canal 4), lo que ocasiona que algunas veces esta emisión sea más fuerte que la de los objetos que se quieren observar, bien sea objetos celestes vistos desde el suelo, o de objetos terrestres vistos desde satélite.

Entonces la opacidad del agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en forma de vapor (VDA), y su emisión, es precisamente lo que permite detectar la presencia de nubes en los canales de los satélites GOES, el VDA absorbe y reemite la radiación electromagnética en el infrarrojo a  $6-7 \mu\text{m}$  mostrándose como “superficies” elevadas que brillan, cuando estas se interponen entre el satélite y la emisión proveniente del suelo, la radiación que alcanza al satélite,

proviene de la cima de la nube, y su temperatura registrada corresponderá a la misma temperatura del aire a esa altura, la cual es una temperatura inferior a la del suelo, porque a la altura que se encuentran las nubes con respecto al suelo, no se da la inversión térmica vista en a sesión 1.1 sufrida por el aire cercano al suelo. Si las nubes no están presentes, las emisiones a 10.7  $\mu\text{m}$  llegan al satélite porque la atmósfera no las absorben en gran medida, por lo que los valores de radiancia medidos son el resultado de la emisión de la superficie terrestre y/o del agua. Entonces cada uno de los canales: 3 (H<sub>2</sub>O), 4 (IR), y 6 (CO<sub>2</sub>) de los satélites GOES (ver cuadro 4), detectan de modo distinto: cirros a gran altitud, nubes de nivel medio, y partículas pequeñas como niebla, ceniza y nubes altas semitransparentes respectivamente<sup>42</sup> (ver imagen 14). Por esto se trabaja con ellos de manera combinada.

Imagen 14



La imagen 14 muestra la cobertura de los canales de los satélites GOES en rojo, y por comparación en verde la cobertura de las bandas de fotometría de banda ancha usadas en astronomía. Todas están ubicadas en ventanas de transparencia atmosférica con la excepción del Canal 3 GOES, usado para medir la emisión del vapor de agua atmosférico (VDA).

A 10.7  $\mu\text{m}$ , si los valores medidos en las imágenes satelitales se alejan de la temperatura correspondiente a la re-emisión del suelo, es porque hay una nube interpuesta, es decir:

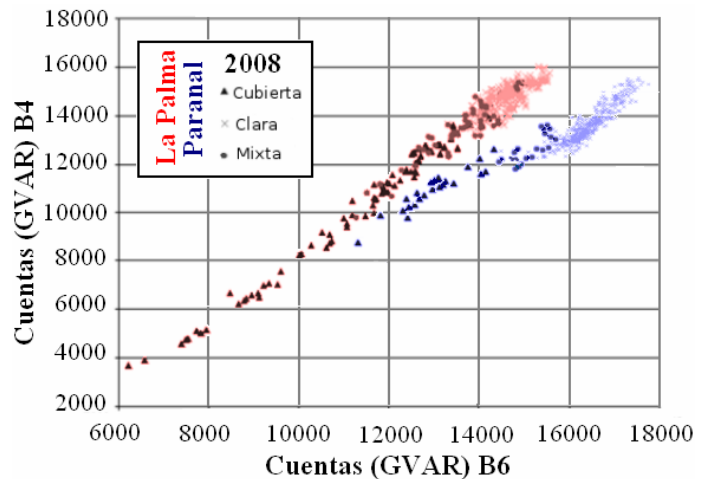
$$\begin{aligned} TB > Tu &= \text{Noche clara} \\ TB < Tu &= \text{Noche cubierta} \end{aligned}$$

Donde TB es la temperatura de brillo medida por el satélite, y Tu es cierta temperatura umbral de desviación. La definición de este último parámetro es ligeramente distinta según el autor:

Para Erasmus 2002<sup>45</sup>, corresponde a la temperatura superficial medida por una radiosonda y su respectiva desviación estándar  $[\sigma]$ . Para S. Cavazanni 2010, es la máxima temperatura mensual en una región de 1° x 1° centrada en el sitio de interés, y su respectiva  $[\sigma]$ . Para Danilo Gonzáles 2015 es la diferencia entre la temperatura superficial media del suelo mensual de 30 años y su  $[\sigma]$  triplicada  $[3*\sigma]$ , (nuestra adopción de este último) se debe a que el 99% de los datos de temperatura superficial caen dentro de los 3 $\sigma$ . Vemos que la temperatura nocturna superficial del lugar se determinan usando datos de estaciones meteorológicas y/o radiosondas, y con estos valores se revisan los valores de radiancia en las imágenes satelitales para los mismos instantes.

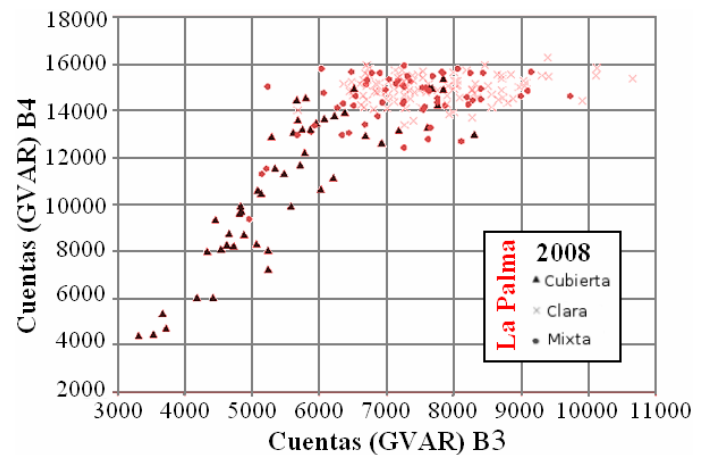
Luego para calibrar la transparencia en las imágenes satelitales<sup>42,36</sup> se comparan los valores de emisividad registrados por los píxeles con respecto a estimaciones visuales de las noches claras de las bitácoras de los observatorios a la misma fecha y hora (ver gráfica 4). El rango de noches claras entre 13900 y 16000 cuentas para el Observatorio del Roque de los Muchachos, no representa el intervalo entre la temperatura superficial y la temperatura umbral, sino el rango en cuentas de temperaturas del suelo realizadas a diferentes horas de la noche a lo largo de un año, y el umbral asumido como la obstrucción de una nube. Vemos como todas las noches rotuladas como claras en el observatorio VLT en Paranal, corresponden a valores de emisividad en el canal B4  $\geq 13000$  cuentas, o  $\geq 13900$  cuentas en el Observatorio del Roque de los Muchachos en La Palma, esto equivale a un rango de  $15661 - 13000 = 2661$  cuentas, y  $16000 - 13900 = 2100$  cuentas respectivamente. Las medidas se realizaron con datos del GOES 12.

Gráfica 4



La discrepancia entre la cantidad de noches calculada de imágenes satelitales y la registrada en las bitácoras es de alrededor del 2%, una diferencia que se pueden explicar mejor considerando que algunos efectos locales podrían ser ignorados

Gráfica 5



por la banda B4, la cual permite detectar nubes gruesas a casi cualquier altitud, pero no permite detectar nubes altas y delgadas o fenómenos bajos como la neblina, así que cuando la contrastamos con B6, esta última nos informa sobre la niebla, el polvo y nubes delgadas<sup>42</sup>, mientras que cuando la comparamos contra B3, B3 por registrar el VDA, es capaz de detectar desplazamientos de aire frío o caliente, y cambios de humedad que producen dispersión en un rango no mostrado por la banda B4<sup>42</sup>. Sin embargo estos eventos no afectan la calidad de la transparencia debido a que en las bitácoras están catalogados estos instantes como cielos claros (símbolos x en la grafica 5).

Entonces si se asume que la temperatura de brillo mensual máxima en B4 (Tmax b4) ocurre en condiciones claras, las otras temperaturas quedan dentro de 3 categorías: 1) Noche Estable, la que posee un cielo claro sin fenómenos atmosféricos (viento, bruma, humedad) que puedan afectar la calidad fotométrica. 2) Noche Clara, aquella libre de nubes, y 3) Noche Cubierta, una noche inutilizable debido a nubes o a la bruma.

### 2.4.1 Transformando Cuentas (GVAR) a Radianza

Los valores de brillo en cuentas de los GOES, denominadas GVAR, se empaquetan en radianzas escaladas en cadenas de 10-bits (0 a 1023), y son transmitidos al usuario quien debe transformar a valores de Radianza y posteriormente a Temperatura. Para obtener radianza de las cuentas GVAR se usa la ecuación 2:

$$Eq\ 2 \quad R = \frac{X_G - b}{m}$$

Donde R es el valor de la radianza en unidades de mW/(m<sup>2</sup> \* sr \* cm-1) y X<sub>G</sub> el valor de las cuentas GVAR. Los coeficientes m y b corresponden respectivamente, a las correcciones por Bias en [cuentas / (mW/(m<sup>2</sup> \* sr \* cm-1))], y Flat de la imagen cruda obtenida del satélite, y dependen del canal en el que se trabaja (ver Cuadro 1).

Cuadro 1

Canal	Ventana	Rango Espe	Teff K	m	b
2	Microondas	3.80-4.00	4 - 335	227.3889	68.2167
3	H <sub>2</sub> O	5.77-7.33	4 - 320	38.8383	29.1287
4	IR	10.20-11.20	4 - 320	5.2285	15.6854
6	CO <sub>2</sub>	12.96-13.72	4 - 320	5.5297	16.5892

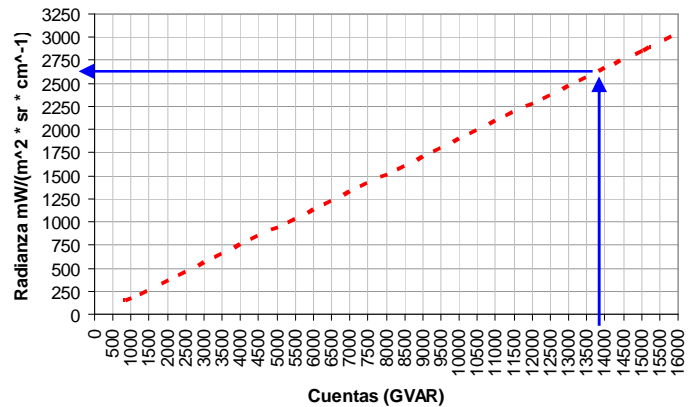
Así por ejemplo, sustituyendo los valores de la Eq 2, el valor mínimo de 13900 cuentas asumido como mínimo para las noches claras en Paranal equivale en el canal B4 a:

$$R = \frac{13900 - 15.6854}{5.2285} = 2655.51$$

Bajo ciertas circunstancias el valor de R debe ser ajustado para tener en cuenta la absorción del vapor de agua entre la superficie del suelo terrestre y el satélite.

Los valores de cuentas GVAR producen un incremento lineal con respecto a la Radiancia, que no es más que un flujo luminoso IR (ver grafica 6), es decir, al duplicarse la emisividad captada por el satélite, se duplican los valores de GVAR. Esto permite saber cuanto se atenuó la emisión del suelo por una nube interpuesta según su espesor.

Grafica 6



Sin embargo, insistimos en que el rango establecido de 2661 cuentas en Paranal y 2100 para la palma explicado en la grafica 4, no quieren decir que a 15661 cuentas el cielo esta completamente despejado y a 13000 la neblina ya tenga un espesor suficiente para haber atenuado por bloqueo la emisión del suelo, porque estas medidas fueron tomadas a diferentes horas de la noche donde la temperatura era distinta, y por tanto, la de los valores en cuentas de la emisión del suelo y por ende también los de la temperatura umbral. Por esto debemos conocer cuanto es el valor de la desviación estándar triplicada de la temperatura [3σ], para cuantificar la equivalencia de ese rango en Radianzas y Cuentas GVAR obtenidas de los valores del satélite. Para esto convertimos los valores de radianza en temperatura de brillo (o efectiva), esta se obtiene al invertir la función de Planck<sup>36</sup>, como se muestra en la ecuación 3:

$$Eq\ 3 \quad T_{eff} = \frac{C_2 n}{\ln(1 + \frac{C_1}{R})}$$

Donde T<sub>eff</sub> es la temperatura efectiva en (K), ln() es la función logaritmo natural (logaritmo Neperiano cuya base es 2.718281)<sup>46</sup>, y R la radianza hallada en la ecuación 2. Los coeficientes de conversión C1 y C2 son dos constantes de radiación:

Coeficientes de conversión

C1 = 1.191066 * 10 <sup>5</sup> mW/(m <sup>2</sup> * sr * cm-1)
C2 = 1.438833K=cm <sup>-1</sup>

n(cm-1) es el número de onda central del canal, cuyo valor depende de las características del canal (ver el cuadro 2).

Cuadro 2

Satélite	Canal	Detector	n	a	b'
Goes 12	3	a	1536.43	-4.764728	1.012420
		b	1536.94	-4.775517	1.012403
	4	a	933.21	-0.360331	1.001306
		b	933.21	-0.360331	1.012406
Goes 13	3	a	1522.52	-3.625663	1.010018
		b	1521.66	-3.607841	1.010010
	4	a	937.23	-0.386043	1.001298
		b	937.27	-0.380113	1.001285

Con nuestro resultado obtenido en Radianzas 2655.51 sustituimos los valores correspondientes para el GOES 12,  $C2 \cdot n = 1.438833 \cdot 933.21 = 1342.7333$ ,  $C1$  equivale a  $1.191066 \cdot 10^5 (100000) = 119106.6$ , y  $C1 / R = 119106.6 / 2655.51 = 44.85$ , este valor + 1 = 45.85, el logaritmo neperiano de este valor es 3.825, y  $(C2 \cdot n) / [\ln(1 + (C1/R))]$ , es  $1342.7333 / 3.825 = 351.041$ . Esta sería la  $T_{eff}$ .

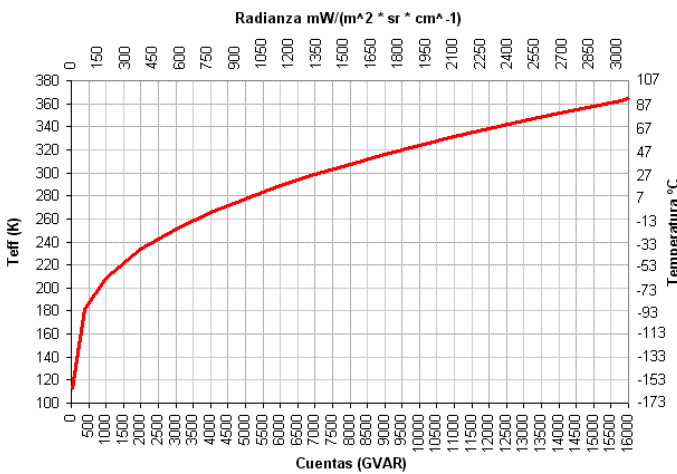
Finalmente se pasa de temperatura efectiva  $T_{eff}$  a la temperatura  $T$  en (K) según la ecuación 4:

$$Eq\ 4 \quad T = a + b' \cdot T_{eff}$$

Donde  $a$  y  $b'$  son coeficientes de conversión y dependen del canal (ver el cuadro 5). Estos son ajustes que tienen en cuenta las variaciones en la función inversa de Planck a través del ancho de banda espectral de los canales. Las diferencias entre los valores de  $T$  y  $T_{eff}$  son del orden de 0,1K y en los peores casos de 0,3K, despreciables para la mayoría de los cálculos. Entonces  $-0.360331 + (1.001306 \cdot 351.041) = 351.139$ , para convertir a grados centígrados simplemente se le resta  $273 = 78.139^{\circ}C$ .

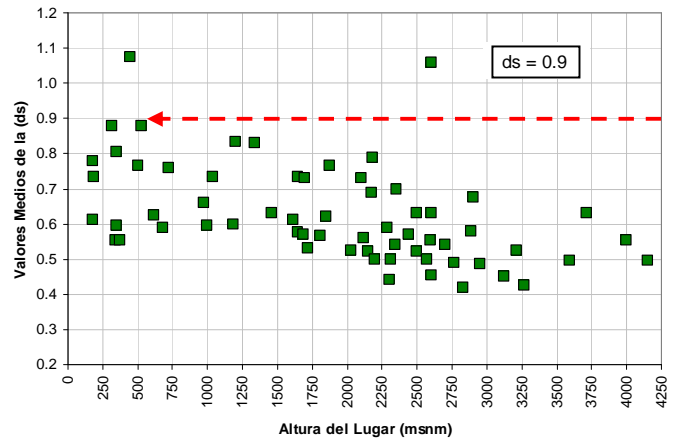
La grafica 7 muestra como las cuentas GVAR relacionadas linealmente con las radianzas, no se relaciona linealmente con la Temperatura, esta se muestra con fines comparativos en K y  $^{\circ}C$ .

Grafica 7



La desviación estándar máxima registrada en el trabajo de Danilo fue de 2.06 correspondiente al mes de Julio a una altura de 2600 msnm a Lat: 4.98° Long: 74°, Pero como hemos visto en la grafica 3 de la sección 1.1 la de temperatura es una función de la elevación del lugar con respecto a nivel del mar, y por tanto también la temperatura umbral, por esto, este valor no se muestra en la grafica 8 donde se muestran las desviaciones estándar de las propias medidas de temperatura superficial mensual en función de la altura. Vemos que un valor de 0.9 es aceptable, pero nos damos cuenta que esto debe ser un valor equivalente en cuentas muy pequeño en las mediciones del satélite, la  $ds$  se da en

Grafica 8



valores de temperatura, es decir 0.9 K, usando la relación 2 y 3, se encuentra que corresponde a una diferencia de 144.17 cuentas ó  $27.57 \text{ mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$  en valores de radianza. Como saber cuanto equivale en transparencia del cielo vista visualmente debemos hablar de magnitudes, y esta es una escala exponencial que aumenta en una unidad, cada vez que el brillo se duplica 2.5 veces, mientras que radianza y cuentas son escalas lineales, entonces para convertir la escala de intensidades a magnitudes usamos la ecuación 5:

$$Eq\ 5 \quad Mag = -2.5 \cdot \text{Log}(\text{Intensidad})$$

Donde vamos a usar el logaritmo de la Intensidad de brillo de una escala lineal, puede ser la cuentas GVAR o la Radianza en  $\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$ . La base del logaritmo es 10. Entonces calculamos la magnitud para dos valores de cuentas cuyo diferencial sea 144.17. En el ejemplo dado se tomo 13900, el logaritmo de 13900 es 4.1430 entonces:

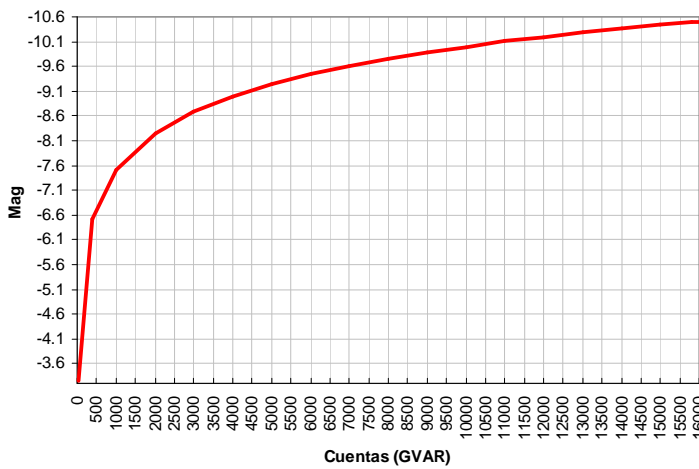
$$Mag = -2.5 \cdot 4.1430 = -10.3575$$

Luego  $13900 + 144.17 = 14044.17$ , y la magnitud calculada para este valor es -10.3687, el diferencial de estos dos valores en magnitud es de -0.0112, idéntico valor se encontró realizando el cálculo para los correspondientes valores en radianza, 2683.0802 y 2655.5063, lo que quiere decir que la equivalencia en la atenuación de la temperatura superficial captada por el satélite al

interponerse una nube, equivale a un descenso del MALE de 0.0112 magnitudes, es decir, un poco mas de una centésima de magnitud. En otras palabras, el nivel de bruma o neblina para las áreas despejadas en las noches a ser cuantificada como clara debe ser 0. De allí la razón de incorporar las categorías adicionales, para cuantificar noches útiles en el complejo para fotometría diferencial y otros trabajos con bruma muy leve.

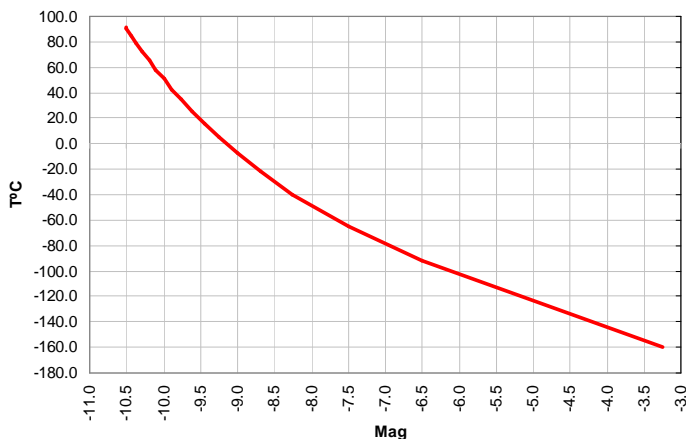
La grafica 9 muestra como se relacionan las cuentas con los valores de magnitud, valores lineales contra valores exponenciales, muy parecido a como lo hace contra la temperatura.

Grafica 9



La grafica 10 muestra como se relaciona la temperatura en grados centígrados con la escala de magnitudes astronómica, no es una línea porque a pesar de ser escalas exponenciales, los exponentes son diferentes en cada una de las dos escalas.

Grafica 10



El mismo calculo se realizo para los rangos correspondientes al canal 3 y 6, los valores resultantes fueron de igual modo del orden de -0.0162 magnitudes.

Como habíamos visto el canal B3 GOES es mas sensible a otros efectos que no detecta B4, pero estos no afectan la calidad de la noche como se mostró en la grafica 10b, por esto solo se uso la opacidad equivalente de 0.0112 mag encontrada del canal B4 y B6. Por eso vamos a pasar ahora a cuantificar cuanto es el espesor de bruma o neblina que comienza a afectar la transparencia para aminorar en 0.01 mag el brillo de las estrellas.

### 2.4.2 Espesor de la Neblina y su Correlación con el Umbral de Transparencia

La opacidad de la Bruma o Neblina “vapor de agua (VDA)”, se cuantifico a través de la extinción que causa en el brillo de las estrellas a través de medidas de Magnitud Limite Estelar o (MALE), en las zonas cubiertas por la misma. Para esto se separo la extinción por masa de aire de la extinción por Bruma.

Como se vio en la sesión 1.1, con la altura sobre el horizonte varía el espesor atmosférico o masa de aire, y con este la perdida de brillo por la extinción que esta causa. Como las medidas de MALE se tomaron usando estrellas a diferentes alturas del cielo, según la zona cubierta por la bruma y de la constelación en ella ubicada, se calculo la extinción causada por la atmósfera para restársela a la extinción total de la (Bruma + Masa de Aire).

Para conocer la altura de las estrellas usadas para determinar MALE, se uso el programa Cartes duCiel<sup>47</sup>, que muestra los valores de Azimut y Altura en grados sexagesimales de las estrellas, luego de configurar nuestra posición geográfica y la fecha y hora de la observación. Para convertir los valores en grados sexagesimales a decimales se aplico la relación Eq 6:

$$\text{Eq 6: Grados Dec} = \text{Alt}^\circ + (\text{Fracción Alt en } ' * 0.0166)$$

Como la pérdida por magnitud no se relaciona con la altura del objeto linealmente sino con la masa de aire (X), se uso este ultimo parámetro para establecer la relación. Para calcular (X), se uso la relación Eq 7 dada por Fritz Kasten y A. T. Young (1989), donde se asume 37.919 Masas de Aire en el Horizonte. Esta no determina (X) a través de la altura sobre el horizonte de la estrella (0° para el horizonte y 90° para el cenit) como venimos trabajando, sino la distancia cenital (Z), que es el inverso (0° cenit y 90° en el horizonte), para convertir altura en Z simplemente:  $Z = (90 - \text{Alt}^\circ)$ , entonces aplicamos Eq 7:

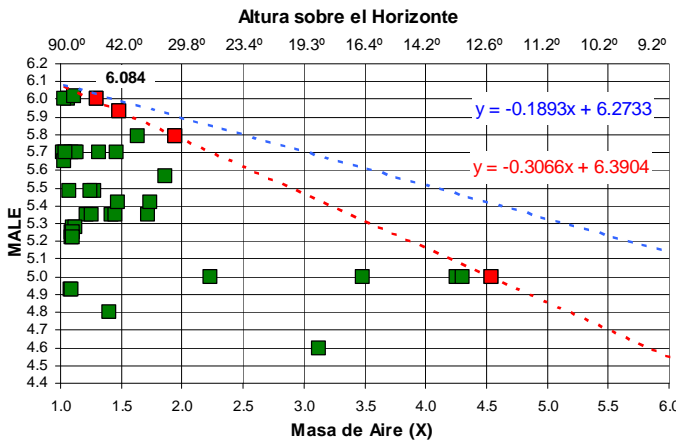
$$\text{Eq 7: } X = 1 / (\text{COS}(Z) + 0.50572 * ((96.07995 - (Z))^{-1.6364}))$$

Donde Z es la distancia cenital de la estrella. Como la corrección se aplico a la data completa usando el programa Excel, este determina el Coseno (Cos) al igual que las demás funciones trigonométricas en radianes<sup>48</sup> y no en grados, así que hubo que multiplicar la distancia cenital (Z) por  $(\pi/180)$  antes de derivar el Coseno, es decir:  $\text{COS}(Z * (\pi/180))$ , quedando Eq 7 como Eq 8:

$$\text{Eq 8: } X = 1 / (\text{COS}((Z) * (3.1416/180)) + 0.50572 * ((96.07995 - (Z))^{-1.6364}))$$

Pero es necesario conocer la relación entre MALE y X sin bruma o neblina presente, para obtener la relación entre ambas, esto ya se había determinado en otro estudio<sup>49</sup> donde se usaron estrellas observadas con excelente transparencia atmosférica y sin luna, ver grafica 11. Aquí MALE esta condicionada solo por la masa de aire (X).

Grafica 11



Nótese que la intercepción de la línea de regresión roja a masa de aire 1 en el eje X, toca el valor de mag 6.084 en el eje Y, esto sería la magnitud límite en el cenit en el sitio del CAAB.

Los puntos verdes son todas las medidas de MALE, pero como en ese estudio hubo noches con distinta transparencia, y noches donde se realizo la estimación con distinto grado de adaptación a la oscuridad, no todas las medidas indican el limite real de MALE, por esto se escogieron las medidas que dibujan un limite superior (marcadas en rojo) donde se cuantifico realmente el limite. Así que esta es la ecuación escogida para la relación entre los dos parámetros MALE vs X, y es dada en Eq 9.

**Eq 9**  $MALE = -0.3066 * X + 6.3904$

Donde X es la Masa de Aire de la estrella observada. La altura en el horizonte en la grafica 11 se muestra solo con fines comparativos.

Esta línea ha sido adoptada para ajustarse mejor a la realidad, de allí que nuestra línea de regresión roja se aleje de la recta azul, basada en modelos atmosféricos que predicen una perdida de 1.0 mag a 10° sobre el horizonte ó (Z 80°), donde la masa de aire es 5.5 veces mayor que en el cenit. Este alejamiento se deba probablemente a aerosoles presentes a menores alturas en el horizonte generados por la cercanía de la población de Bobare.

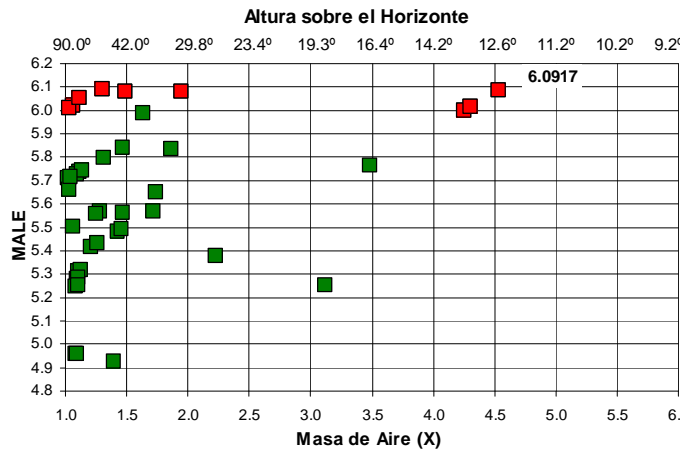
Un segundo método ha sido ideado con esta misma data para corroborar el MALE; Si al valor de la magnitud del catalogo (Mag Cat V), de las estrellas usadas para determinar MALE, le sumamos la atenuación que han sufrido a la masa de aire a la que han sido medidas, asumiendo el MALE determinado para el cenit (6.084), tendríamos la atenuación sufrida por cada estrella

según solo la masa de aire. Según esto: (6.084 - MALE), donde MALE es el que determinamos usando la ecuación anterior Eq 9, al incorporar estos valores de atenuación a los valores del catalogo de las estrellas (Mag Cat V), tendríamos la magnitud teórica “Mag T” que deberían tener estas estrellas para haber sido atenuadas por el cielo hasta el grado de verse como estrellas de magnitud 6.084, la cual habíamos acordado que era la magnitud límite en el cenit, Eq 10:

**Eq 10**  $Mag T = Mag Cat V + (6.084 - MALE)$

Al graficar los valores obtenidos (Mag T) en función de la masa de aire, el panorama cambia notablemente para las estrellas que dibujan el borde superior, ya que deben tener valores muy cercanos al valor de MALE determinado con el método anterior, (ver grafica 12), la corrección realizada permite que las estrellas nos muestren el MALE independientemente de la masa de aire. El valor teórico para la estrella más débil observada fue de 6.0917, una diferencia de solo (6.0917 - 6.084) = 0.0077 mag del resultado obtenido con el método anterior.

Grafica 12



Para algunas estimaciones se usaron estrellas que debido a la cercanía entre ellas, el ojo las percibe como una sola estrella, tal fue el caso de Sterope I y II en el cúmulo de las Pléyades (M45), las magnitudes de estas son 5.76 y 6.43, pero al verse fusionadas en un solo punto su magnitud combinada (Mag Comb) es de 5.29. Esto se consiguió aplicando Eq 11<sup>50</sup>.

**Eq 11.**  $Mag Comb = a - 2.5 * Log [1 + 10^{(0.4 * a - b / Log(10))}]$

Donde a y b son las magnitudes de las estrellas más brillante y más débil respectivamente.

Una vez establecida y corroborada MALE y la caída en magnitud vs X, se calculo la pérdida por extinción atmosférica en magnitudes (PEM) de la estrella según su masa de aire Eq 12:

**Eq 12:**  $PEM = 6.084 - (-0.3066 * X + 6.3904)$

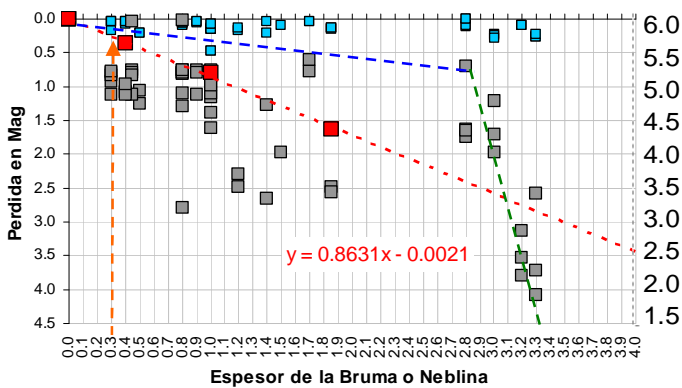
Donde el valor 6.084 es MALE en el cenit en las mejores condiciones ya calculado.

Para separar la extinción atmosférica de la estrella observada, de la extinción causada por la bruma, se sumo primero a su magnitud del catalogo en banda V (Mag Cat V), la extinción calculada con Eq 12, y luego se resto al valor de referencia 6.084 el valor obtenido, según Eq 13:

**Eq 13      6.084 – (Mag Cat + PEM)**

El valor que se obtuvo fue solo de la pérdida por la bruma en mag, que al graficarse en eje Y con respecto al grado de espesor de la bruma en eje X genera la grafica 13, donde los puntos grises muestran la pérdida en magnitudes en función del espesor de la neblina para las estrellas usadas en las medidas de espesor de Bruma, mientras que los puntos azules muestran solo su pérdida por extinción atmosférica a modo comparativo, estos últimos no muestran relación dado que los puntos están distribuidos en función de la bruma que fue medida a diversas masas de aire, pero se observa que la extinción atmosférica es muchísimo menor en relación a la extinción por bruma.

Grafica 13



Hay tres posibilidades de ajuste: 1) Que en la línea azul se haya sobre estimado los dos puntos superiores a bruma 0.4 y 0.8, y la relación es lineal hasta bruma 2.8, donde ocurre un cambio de pendiente con línea verde, 2) que solo haya la línea azul y las medidas de la línea verde sean medidas dispersas, 3) una relación lineal con línea roja, donde se han sobre estimado mas medidas. En cualquiera de los casos el cambio de pendiente se debe al hecho de tratar diferentes niveles de opacidad con una escala lineal, pero en todo caso la relación solo nos importa para determinar un valor umbral de espesor mínimo de bruma, por lo que solo nos interés el tramo entre bruma 0 y 2.8.

El punto de 0 de Pérdida en Magnitud o MALE en la escala derecha, se calibro con la estrella más débil observada en todo este estudio vista a través de la bruma a 1.113 masas de aire, HD175635 de mag 6.02 en la constelación de Lira.

Finalmente con el MALE en función del grado de espesor de neblina hemos establecido que el valor umbral de Bruma para considerar una noche como no fotométrica es de 0.3, que equivale con la relacion Eq 14 obtenida en la grafica 13., a 0.257 mag.

**Eq 14.    Pérdida mag = 0.8631\*Espesor N - 0.0021**

Esto es un valor 22.9 veces mayor que el valor de 0.0112 encontrado como umbral para las imágenes satelitales, y es el que adoptamos para el umbral de atenuamiento en la totalización de CFS apto para nuestra fotometría diferencial. La línea de ajuste azul arroja un valor aproximadamente de la mitad de este valor (unas 0.1 mag).

Sin embargo si de la relación Eq 14 vemos que con un espesor de neblina de 0.5, la atenuación de las estrellas es de casi 1 magnitud, el hecho de haber MALEs de 5.5 a 1 masa de aire en la grafica 11, indica que la calidad de la noche fue muy buena y la bruma era difícilmente apreciable, lo que confirma que un espesor de neblina de 0.3 puede ser usado como limite para ser considerado como una noche apta para fotometría diferencial.

La razón de realizar muchas medidas, fue para compensar estadísticamente la dispersión causada por el hecho de que cuando medimos MALE a través de una capa de neblina, o si se quiere, más bien estratos tenues, este valor fluctúa en medio de la observación por causa del movimiento de estos estratos y su variación en espesor. En los casos de neblina mas espesa, donde no era posible identificar constelaciones, se identificaron las estrellas atenuadas mas brillantes usando un planisferio producido por el CIDA, que con la hora y fecha se podía encontrar a que constelación pertenecían, luego se marcaban en el **Bright Atlas 2000.0** con la hora y espesor, y luego se buscaban sus datos en las horas del día. La imagen 15 muestra las estrellas identificadas como  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\Delta$  de la constelación de la Gruya de la noche del 30 de agosto de 2018 a las 0:20 HLV.

Imagen 15

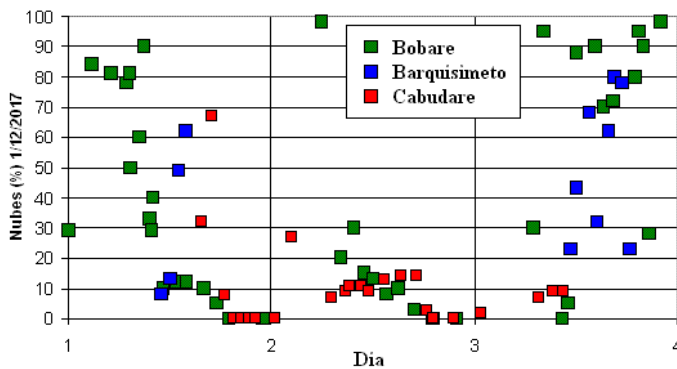


### 2.5 Medidas desde Barquisimeto y Cabudare

A lo largo del estudio hubo dos ocasiones donde no hubo forma de cuantificar la nubosidad desde el sitio del complejo, por tal motivo se realizaron desde Barquisimeto entre el 26 y 28 de Diciembre de 2017, y desde Cabudare el 28 de Febrero de 2018.

Sin embargo, se midió simultáneamente la nubosidad entre el 1 y 3 de diciembre de 2017 desde los tres sitios para correlacionar los valores, las medidas desde el CAAB las realizo la segunda autora y las medidas desde Barquisimeto y Cabudare el primer autor, la grafica 14 muestra los resultados. Se puede ver que los valores se ajustan muy bien, y el intervalo de confianza no representa un peso significativo a la nubosidad mensual agregada a la totalización de este trabajo en las dos oportunidades mencionadas.

Grafica 14



### 2.6 Datos de la Precipitación

Los datos de precipitación se tomaron de la página del Ministerio del Ambiente registrados en la estación meteorológica tipo PR Serial 1265 en Bobare instalada en 1947 a Lat: 10.1925° N y Lon: 69.2748°O para los años 1947 y 2004<sup>5</sup>, y del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH) entre los años 2013 y 2016<sup>6</sup>

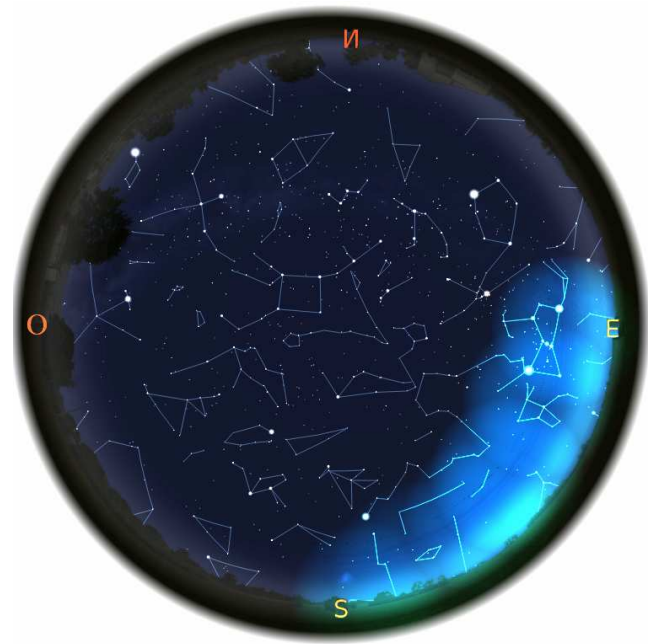
### 2.7 Determinación de la Hora sin Reloj

Como se ha detallado en la sección 2.0, a partir del 2 de marzo se comenzaron a realizar las medidas desde el sitio del complejo y del sitio anterior a 500 m simultáneamente, pero en el lugar del complejo no había suministro eléctrico para ese momento, no se disponía de reloj, y la Laptop disponible tenía la batería interna agotada, por lo que no podía mostrar la hora correcta, por este motivo se determino la hora usando la posición de las estrellas del ecuador celeste y algunas constelaciones.

El planisferio usado mostrado en la imagen 15, fue el elaborado por Enrique Torres y Gonzalo Santos (Centro de Investigaciones de Astronomía “CIDA”) cuya latitud es de 4° correspondiente al Observatorio Astronómico Nacional de Llano del Hato en el estado Mérida, se posicionaron las estrellas con la ubicación

aparente que tenían en el cielo en el planisferio, y al buscar la fecha en el borde de los discos, esta se adelanto 30 minutos ya que el planisferio fue diseñado cuando la diferencia horaria era de 4.5 horas y no la actual de 4.0 horas, se pudo precisar la hora nocturna con bastante exactitud (+/- 15 min).

Imagen 16



En las noches donde estuvo totalmente cubierto, se uso los planetas más brillantes y la luna, para la determinación de la hora se uso en las horas del día el software Stellarium imagen 16.

### 2.8 Tratamiento de los Datos

Para todos los parámetros, la hora fue convertida a hora decimal para su representación en las graficas, para esto los minutos se sumaron a la hora entera luego de multiplicarse por la constante 0.016, que es el resultado de dividir una unidad entre 60 minutos: 1/60. Así por ejemplo: 30 minutos  $30 * 0.016 = 0.5$  horas.

Para los valores medios mensuales de temperatura y humedad fueron promediadas las medidas mensuales y fue determinada su desviación estándar.

En la nubosidad medida por los estudiantes, la escala de 0 a 10 fue llevada a porcentaje y sumada a la de los autores, se estableció también el área despejada en porcentaje de la sencilla relación dada en Eq 15:

$$\text{Eq 15. Área Despejada} = 100 - (\% \text{ de Área Nublada}).$$

Muchas medidas de Nubosidad y Bruma se modificaron en una unidad en el momento de la notación, por ejemplo: 45 = 46 ò 44, para evitar la superposición de puntos repetitivos en las graficas.



Otra forma de cuantificar la nubosidad fue promediando los porcentajes para cada mes obtenidos a medio día “Índice de Nubosidad Mensual (INM)”. Esto se fundamenta en el postulado de que si la nubosidad es baja en el día, también lo será en la noche. Por lo tanto, estas gráficas nos permitirán saber cual es el mejor mes del año para realizar observaciones, además de indicarnos el grado de insolación del suelo<sup>51,52,53</sup>.

Siguiendo este mismo principio, se realizó un procedimiento similar para cuantificar la nubosidad en las noches. Sin embargo, hubo que definir un criterio para el área de cobertura del cielo tomando en cuenta que se iban a usar los parámetros nubes y neblina simultáneamente, para esto se definió que la neblina con espesor igual o mayor a 2.5 ejercía una opacidad equivalente a las nubes, de lo contrario no se tomo en cuenta como cobertura del cielo debido a lo expuesto al final de la sección 2.2. Esto se aplico en Excel a toda la data según Eq 16.

$$\text{Eq 16.} \quad \text{CB} = \text{SI}(E \geq 2.5, B, 0)$$

Donde CB es la Neblina corregida, E es el espesor de la Neblina, y B es el porcentaje de Neblina.

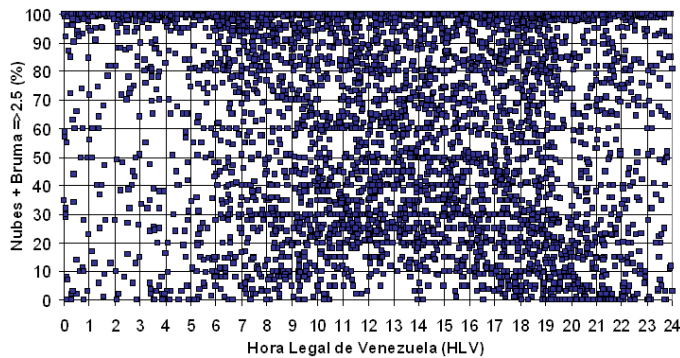
Entonces según lo antes expuesto, estos valores se combinaron a la cobertura de nubes, asumiendo que el porcentaje de cobertura por neblina, hace referencia a la zona no cubierta por las nubes, como lo expresa Eq 17:

$$\text{Eq 17.} \quad =\text{SI}(N \geq 100, N, N + (((100 - N) / 100) * \text{CB}))$$

Donde N es la cobertura de nubes en %, y CB la cobertura por neblina ya calculada con Eq 16.

De este modo valores N 60, B 70, no serian  $60 + 70 = 130$ , sino que el 40 % libre de nubes, es el 100 % de área tomada en cuenta para el 70 % de Bruma, y así sus valores adicionados

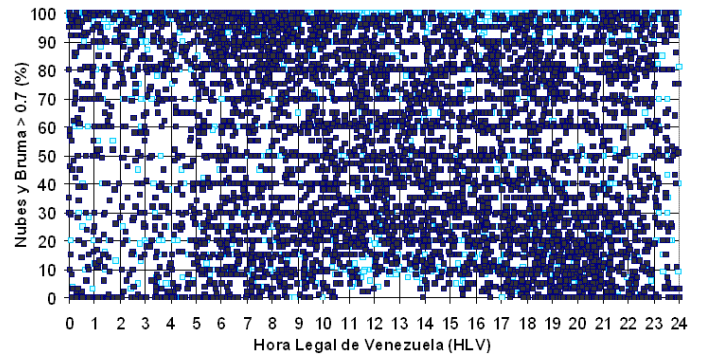
Gráfica 15



nunca serian mayores a 100, así tendríamos:  $100 - 60 = 40$ , y  $40 / 100 = 0.4 * 70 = 28$ . Entonces cobertura total:  $N + B = 28 = 88\%$ . La grafica 15 muestra los valores desplegados de este modo.

Este criterio de cobertura ha sido asumido solo para comparar la cobertura diurna y nocturna en igualdad de condiciones con respecto a los datos de 1983-86<sup>52</sup>, para otros aspectos del estudio se ha encontrado que el despliegue de los datos resulta mejor, mostrarlo con la cobertura por nubes y de manera separada con Eq 16 corregida por neblina, para esto el valor mínimo para mostrarse como bruma se asumió en Eq 16 en 0.7, ver grafica 16.

Gráfica 16



Luego se promediaron estos valores de cobertura combinada para tres etapas de la noche según el criterio de la sección 2.2 y 2.3, pero como este trabajo no se limita a imágenes satelitales tomadas a horas determinadas, sino que se cuenta con mas de 5 medidas por noche, los instantes son asumidos como bloques: Inicio 18:20 a 22:00, centro 22:00 a 2:00, final 2:00 a 6:20. Esto se hizo para cada mes obteniéndose 3 valores por mes.

### 2.9 Cuantificación de la Fracción de Noches Claras

Como el periodo nocturno asumido fue de 12 horas (18:20 – 6:20), este periodo representaría el 100% de la noche, así que los diferentes lapsos de tiempo cuantificados deben sumar para una sola noche 100, para esto se estableció el siguiente coeficiente:

$$100 / 12 = 8.3333$$

Así los diferentes intervalos de tiempo cuantificados para cada porcentaje de cobertura a lo largo de la noche (expresados en hora decimal), se multiplican por 8.3333 para obtener esa fracción de tiempo en porcentaje total de la noche, con esto se produjeron pares de valores (ambos en porcentaje), el primero la cobertura total del cielo, según el criterio expuesto en las secciones 2.4 a 2.4.2 donde se combinan la cobertura por nubes y por neblina (cuando esta es mas espesa que 0.3), y el segundo, el intervalo de tiempo que duro esta cobertura por nubes en porcentaje de la duración total de la noche.

Para la tarea de contabilizar la duración de los diferentes tramos de la noche, se escribió un algoritmo en Excel, que solo toma en cuenta, no el periodo comprendido entre las 18.333 y 6.333, sino entre las 16 horas y 8 horas, ya que muchas lecturas se tomaron después de las 18.333, por ejemplo a las 19.5 de la noche, y la

medida anterior había sido tomada, antes de las 18.333 de la tarde, entonces se necesitaba de un estimado para las 18.333 con el fin de calcular la fracción despejada entre las 18.333 y las 19.5. Para las horas de la mañana ocurre un efecto similar, por esto se extiende la selección hasta las 8 horas. Por otro lado, como cada fracción de la noche se establece de la resta entre dos horas HLV2 - HLV1, HLV2 debía ser siempre una cifra mayor que HLV1, por tal motivo en las horas posteriores al cambio de fecha (entre las 0 y 8 de la mañana) se agrego 24 a los valores, para poderlas tratar junto con las horas transcurridas antes del cambio de fecha. Según esto el algoritmo queda según Eq 18:

$$\text{Eq 18. } =\text{SI}(\text{HLV} \geq 16, \text{HLV}, \text{SI}(\text{HLV} < 8, (\text{HLV} + 24), ""))$$

Donde HLV es la hora local de Venezuela con fracción decimal.

Con las HLV filtradas con Eq 18, se establecieron las diferencias horarias para los intervalos de tiempo con similar cobertura por nubes y bruma, el algoritmo incluye la corrección mencionada entre la lectura posterior más cercana a las 18.333 y las 18.333 según Eq 19:

$$\text{Eq 19. } =\text{SI}(\text{HLV} 1 < 18.333, (\text{HLV} 2 - 18.333) * 8.333, ((\text{HLV} 2 - \text{HLV} 1) * 8.333))$$

Donde HLV1 es la hora más anterior, y HLV2 la hora posterior.

Para las horas de la mañana se trato también el efecto inverso con el algoritmo Eq 19 modificado a Eq 20:

$$\text{Eq 20 } =\text{SI}(\text{HLV} 2 > 30.333, (30.333 - \text{HLV} 1) * 8.333, ((\text{HLV} 2 - \text{HLV} 1) * 8.333))$$

La nubosidad para los intervalos de tiempo obtenidos con Eq 19 y Eq 20, fue el promedio de las medidas entre HLV1 y HLV2.

Como se puede apreciar, el promedio de la nubosidad esta influido por las medidas de nubosidad cuando aun era de día para las horas de la tarde, y en el caso de la mañana cuando las medidas se habían tomado en un cielo ya claro por el amanecer.

Lo anterior nos permite dividir cada noche en intervalos que recogen cada uno un porcentaje de cobertura. La tabla 2 muestra los pares de valores para la primera noche del estudio, correspondiente al 27-28 de Octubre de 2017. Luego se contabilizo la duración mensual de los intervalos de tiempo con similar porcentaje de cobertura, para finalmente totalizarse ajustado a los criterios dados de Noche Espectroscópica, Noche Clara, Noche Semiopaca, descritos en la sección 2.2.

Tabla 2

Periodo Nocturno (%)	Cobertura N + B (%)
14.93	23
8.41	55
9.86	90
66.81	100
<b>Total = 100</b>	-----

Para separar coberturas de: 90, 70, 50, 25, 12.5 % se usaron los siguientes algoritmos Eq 21, 22, 23, 24, 25 respectivamente:

$$\begin{aligned} &= \text{SI}(\text{N+B} \% \leq 10, \text{Fracción Duración Noche } \%, 0) \\ &= \text{SI}(\text{N+B} \% \leq 30, \text{SI}(\text{N+B} \% > 10, \text{Fracción Duración Noche } \%, 0), 0) \\ &= \text{SI}(\text{N+B} \% \leq 50, \text{SI}(\text{N+B} \% > 30, \text{Fracción Duración Noche } \%, 0), 0) \\ &= \text{SI}(\text{N+B} \% \leq 75, \text{SI}(\text{N+B} \% > 50, \text{Fracción Duración Noche } \%, 0), 0) \\ &= \text{SI}(\text{N+B} \% \leq 87.5, \text{SI}(\text{N+B} \% > 75, \text{Fracción Duración Noc } \%, 0), 0) \end{aligned}$$

Luego la cantidad de noches de cada mes se dividió entre 100, para calcular la fracción de porcentaje despejado por mes. Por ejemplo el mes de Noviembre posee 30 días, para sus 30 noches el 100 % de la noche equivale a 30 \* 100 = 3000, y 100 / 3000 = 0.0333... la sumatoria de los porcentajes de noche despejada para cada mes de 30 días se multiplica por este valor, y nos devuelve el % el área despejada al mes. Para los meses con 31 días el coeficiente es de 0.0322581... y para el mes de febrero con 28 días de 0.0357143... El valor anual fue el promedio mensual de la CSF, un valor para cada % de cobertura.

### 3 RESULTADOS

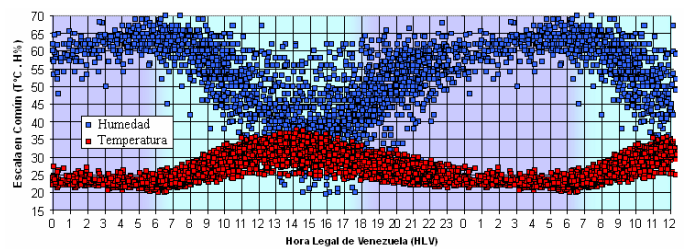
Se obtuvieron 2950 medidas de temperatura, y 2713 de humedad (237 medidas menos) distribuidas como muestra la tabla 3, ya

Tabla 3

Participante	Medidas	Participante	Medidas
Janeth Rivas	1691	María Mangarré	129
Oliver López	1116	Oswal Mangarré	14

que el higrómetro se incorporo el día 22 de Marzo, estas se presentan superpuestas en la grafica 17 en un diagrama de fase a lo largo de las 24 horas. El cambio de color del fondo violeta-Azul nos da una idea del momento de salida y puesta de Sol.

Gráfica 17

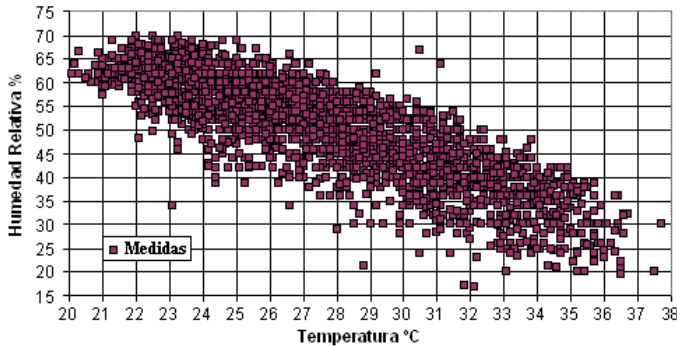


Se puede apreciar como la temperatura aumenta luego de la salida del Sol, alcanzándose un valor máximo promedio de 32°C a las 14 horas (2 de la tarde HLV), la caída de temperatura tiene una pendiente mas suave que la subida hasta las 19 horas (7 de la noche HLV), donde ha caído (6.5°C) hasta los 25.5°C, a partir de este momento cae mas lentamente hasta momentos previos a la salida del Sol, intervalo en el cual decae solo (2.5°C), llegado la temperatura promedio mínima de 22°C. Para el periodo completo entre la puesta y salida de Sol, el rango de total de caída de temperaturas es de (8.5°C). Para el periodo de oscuridad

concretamente; de las 19 a las 6 horas HLV, el rango de caída es menor a los 4°C. El rango total medio día/noche es de 10°C.

La Humedad Relativa llega a un mínimo promedio de 30% a las 15 horas 40 minutos (1 hora y media después del máximo de temperatura), después de la puesta del Sol aumenta rápidamente alcanzando un máximo de 64% un poco antes de su salida.

Grafica 18



La grafica 18 permite ver la relación entre las medidas de Humedad Relativa y Temperatura, esta aumenta al disminuir la temperatura y viceversa, como se expuso en la sección 1.1.

Las medidas de temperatura y humedad no se han mostrado por mes debido a que no se encontró diferencias significativas en el comportamiento de un mes a otro.

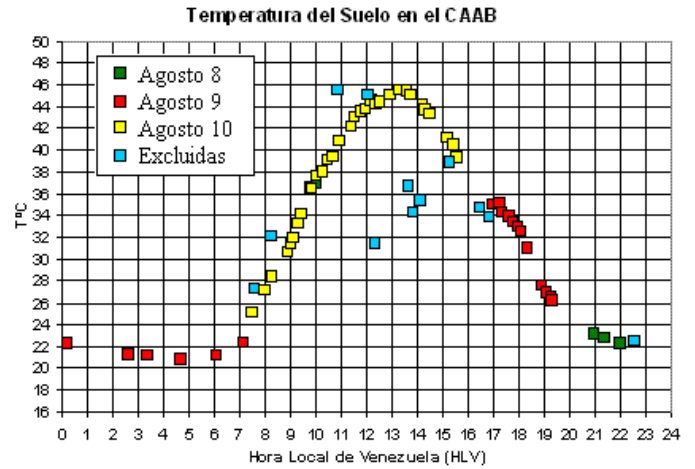
La mayor y menor temperatura registrada en el periodo en que se prolongo el estudio, fue de 37.7°C el 12/09/2015 a las 14:15 y de 18.7°C el 19/02/2018 a las 7:17 respectivamente (Una diferencia de 19°C), en cuanto a la humedad relativa los valores máximos y mínimos fueron de: 70% y 17% de humedad relativa.

La temperatura del suelo fue obtenida durante tres días consecutivos: 8, 9, y 10 de agosto de 2018, obteniéndose 66 medidas (grafica 19), esto se hizo para poder contar con medidas donde el Sol no estuviera oculto por las nubes para poder medir la irradiación completa, lo que fue posible solo tras varias sesiones. Los puntos excluidos fueron tomados con el Sol cubierto parcialmente por las nubes y 4 medidas de la primera sesión con parte de la sonda de medición al descubierto, lo que habría calentado el metal directamente obteniéndose valores más altos. Como se ve la temperatura máxima de 45.5° C fue alcanzada a las 13:17 hora local. De la unión de los puntos escogidos se genero la línea de ajuste mostrada en la grafica 20, la cual muestra en rojo y rosa la temperatura del suelo y del aire a 190 cm en el CAAB, se nota el fenómeno de inversión de las temperaturas, luego de las 19 horas el suelo se hace mas frío que el aire, y luego de las 7:20 de la mañana se vuelve a invertir.

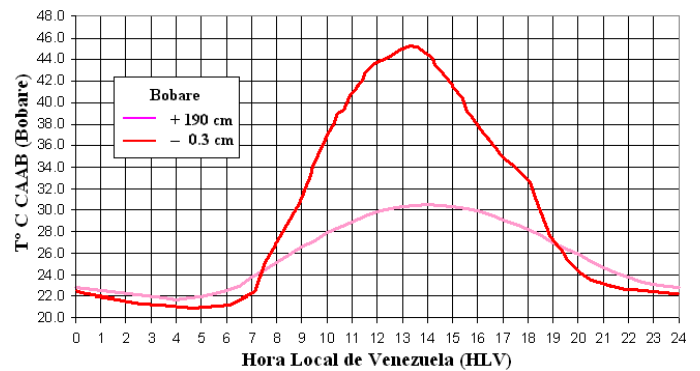
### 3.1 Nubosidad

Se obtuvieron 6533 medidas de nubosidad, 5341 por los dos primeros autores, y 1192 de los 23 estudiantes seleccionados (ver tabla 4), las graficas 21a - 21L muestran el porcentaje de

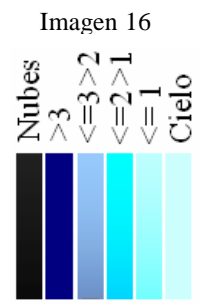
Grafica 19



Grafica 20



nubosidad y bruma a lo largo de cada mes entre Noviembre de 2017 y Octubre de 2018. Las nubes se muestran en negro y la neblina en cuatro tonos de azul según su espesor como se observa en la leyenda de la imagen 16. La escala en eje X es arbitraria, y solo muestra el número de la lectura de nubosidad tomada durante cada mes, por ser 13 medidas por día la media de cada mes, esta se muestra como el periodo de un día.

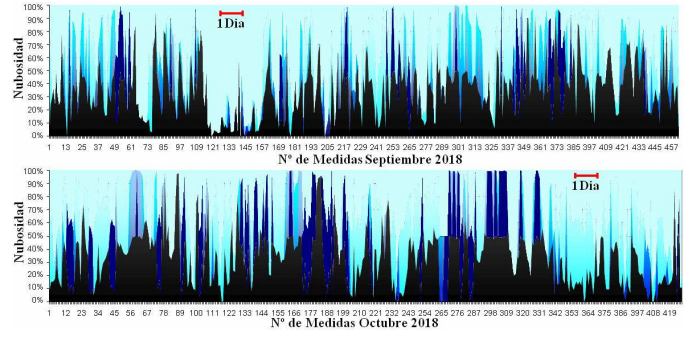
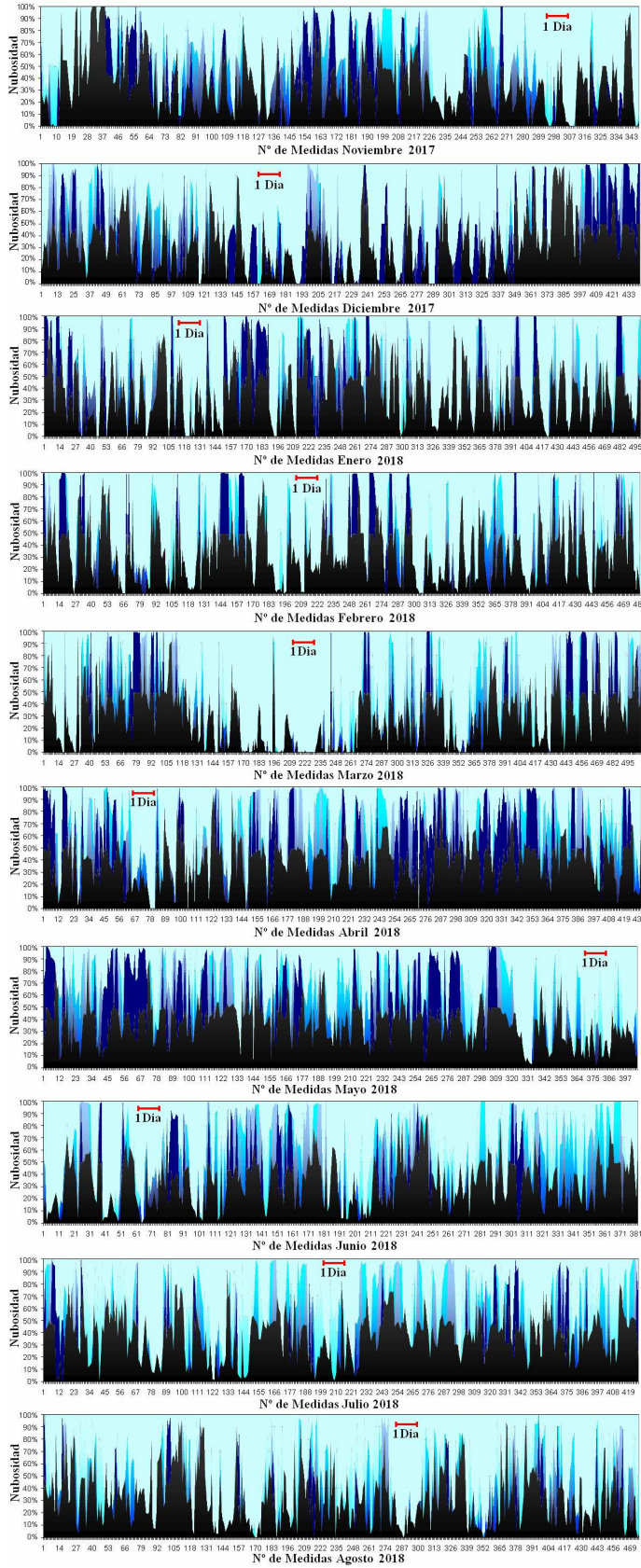


Vemos que los meses mas despejados son Marzo, Febrero, Diciembre y Noviembre, y los meses con más neblina son Octubre, Abril, Mayo, y Junio.

El mes de Marzo muestra una gran depresión entre las medidas 170 y 261, sin embargo debe considerarse como un rasgo aislado ya que las graficas solo nos dan información general que varia a lo largo de los años.

Las graficas 22a – 22L son las medidas de nubosidad para cada mes, pero esta vez mostradas en diagramas de fase, donde el

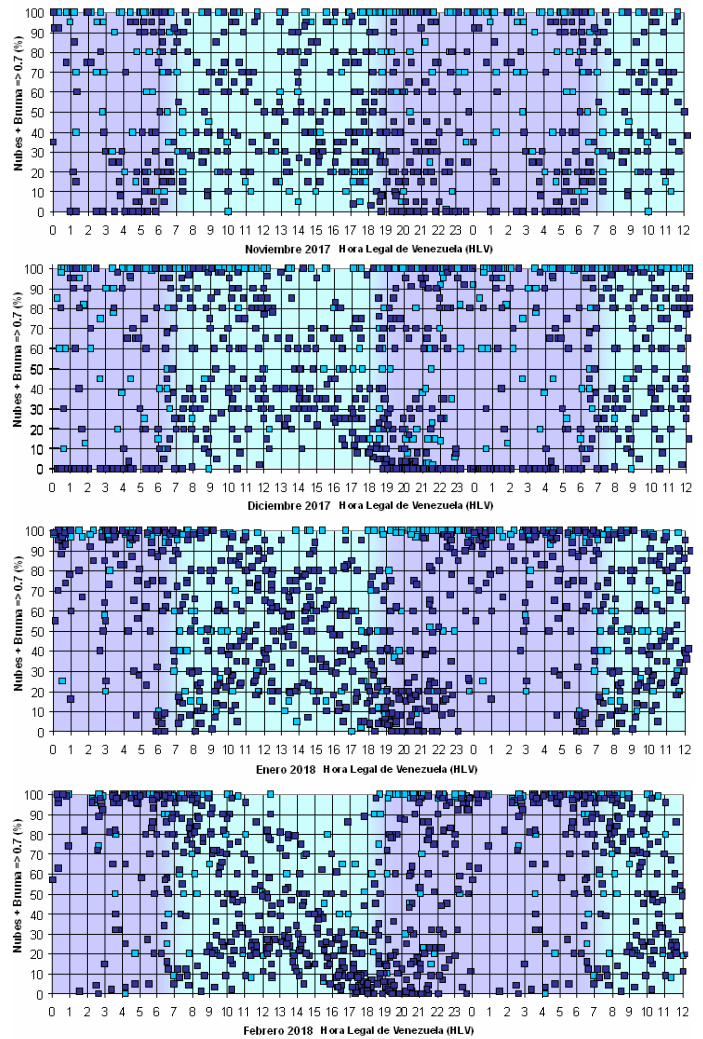
### Graficas de Cobertura 21a – 21L

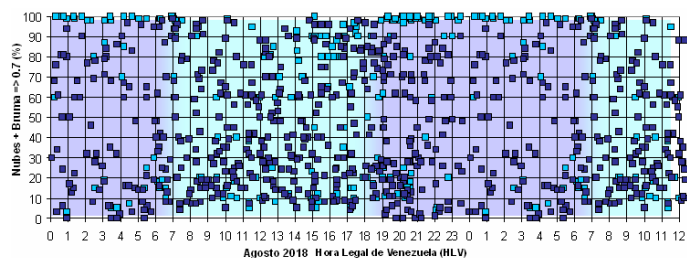
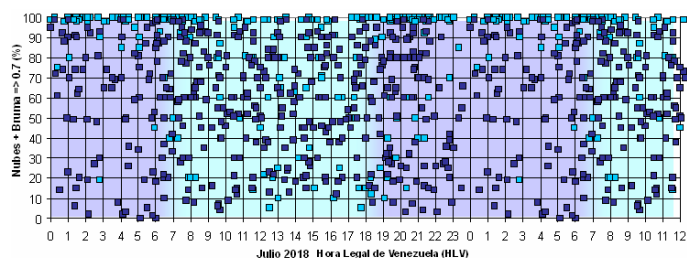
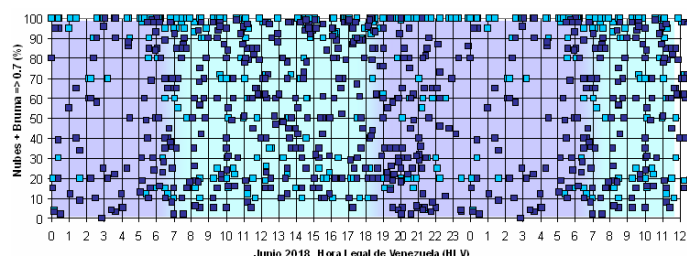
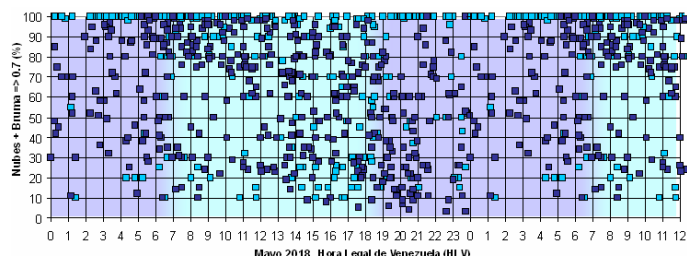
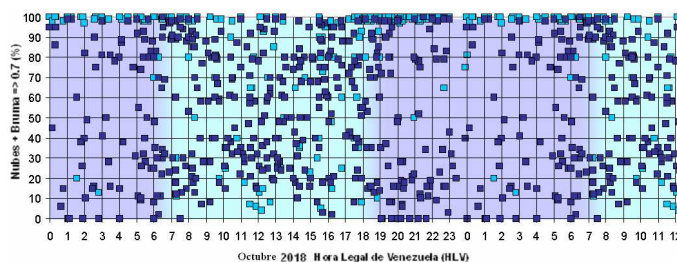
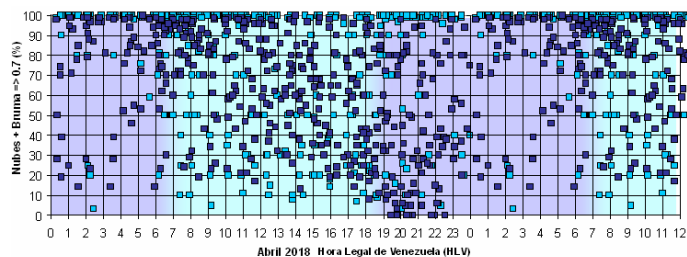
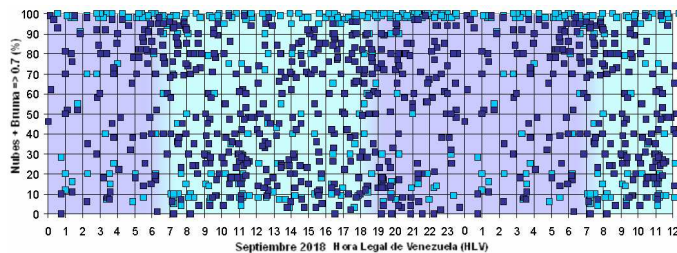
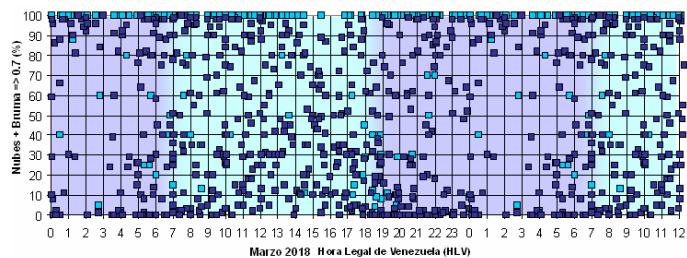


periodo es las 24 horas. Se muestra bloques de color violeta y azul de fondo para indicar los periodos nocturno y diurno.

Se puede ver una clara tendencia al aumento de nubes desde las 5 de la mañana alcanzándose un pico a medio día para luego decaer hacia un mínimo a las 6 de la tarde, realmente se aprecia la forma de X. Este comportamiento varía como se puede ver a lo largo de los meses.

### Graficas 22a – 22L





Los datos obtenidos por los estudiantes fueron revisados usando las lecturas de los autores, y se excluyeron las hojas de reporte con medidas copiadas o falseadas, quedando solo 222 medidas obtenidas por 23 estudiantes listados en la tabla 4. De estas las numeradas en la columna N° han sido las que dada su exactitud serian aptas para tomarse para un trabajo, de las demás medidas, las mostradas en la columna E° aunque bien hechas, se alejaban considerablemente de los valores por problemas de interpretación en la toma de las mismas. Dado la confiabilidad de los datos de los alumnos señalados escogidos se tuvieron en cuenta para tomar medidas en momentos donde los autores no

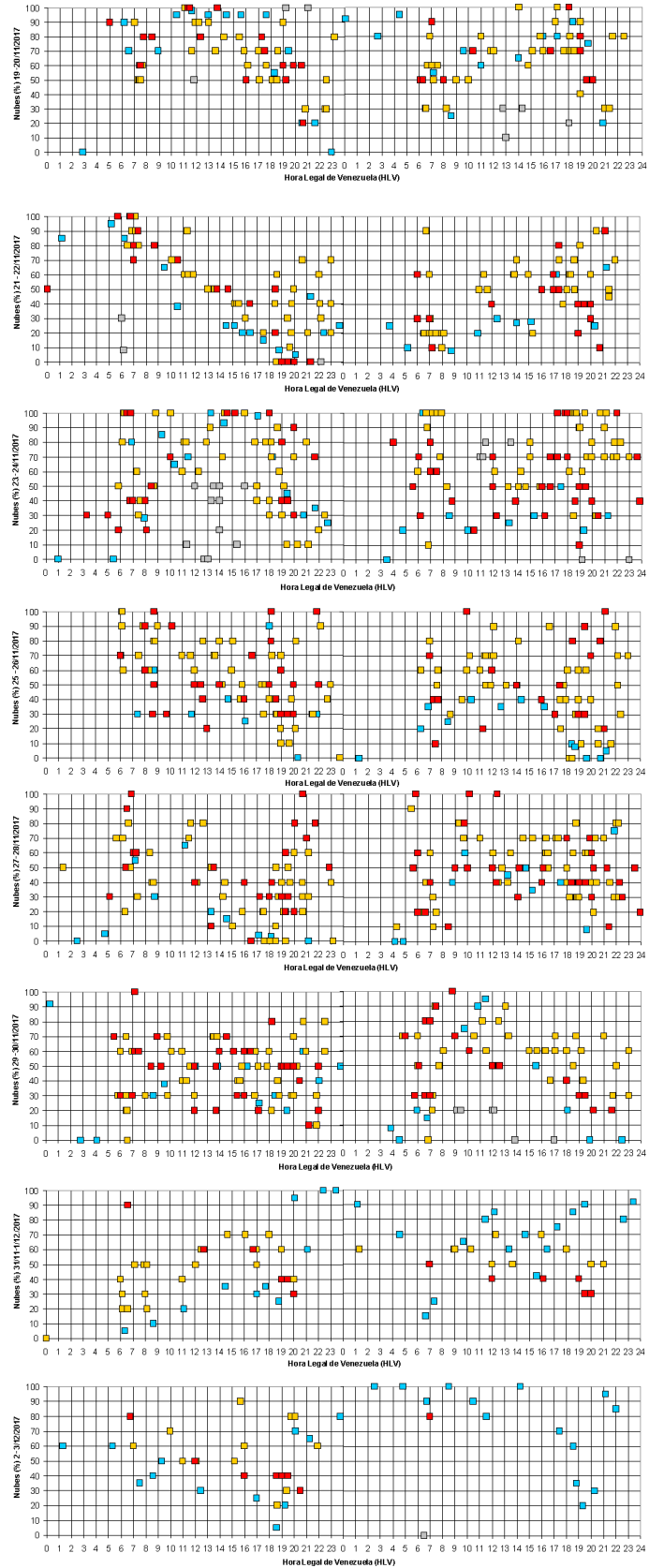
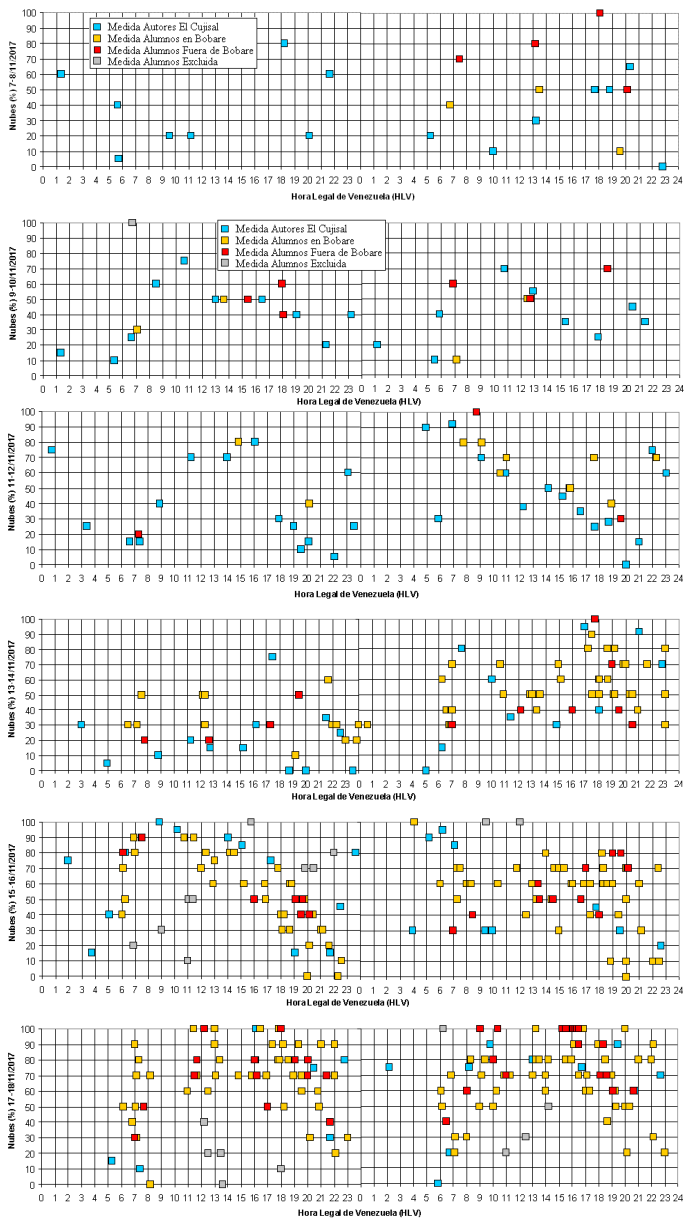
Tabla 4

Autor	Lugar	Año	Sec	N°	E°
Oliver Ch López	Bobare/El Cujisal	---	---	3751	-
Janeth C Rivas	Bobare/El Cujisal	---	---	1590	-
Estudiante	-----	---	---	-----	-
Luisyanney Franco	Bobare / Centro	3	F	130	4
José L León Calles	Potrero de Bucare	3	F	122	4
Luisbely Suarez	Bobare/Las Delicias	3	F	112	6
Jesús Perozo	Bobare / Centro	3	F	108	5
Carlos Méndez	Bobare/Las Delicias	3	D	72	2
Samy Rodriguez C	Bobare/La Cruz	3	F	69	1
Elisete Marchan	La Puerta	3	D	52	3
Richard Cortéz	Bobare/La Manga	3	F	45	0
Yulianny Rodríguez	Los Quemados	3	E	43	3
Oryelis Amaro	Los Quemados	3	E	42	1
Isahiris Almao	Tierra de Loza I	3	E	40	4
Enjerber Colmenarez	Bobare/Las Colinas	3	F	37	1
Eberson Figueroa	¿?	3	E	37	4
Keyerlyn Gonzáles	Bobare/La Manga	3	F	36	0
Gabriela Ojeda	Bobare/La Cruz	3	F	48	3
Andimar Álvarez	¿?	3	E	35	6
Fabián Arrieche	Bobare/Democracia	3	D	34	1
Orlimar Herde	Mama Vieja	3	E	31	1
Carol Cordero	Bobare/Las Colinas	3	C	30	0
David Mendoza	B/Guillermo Luna	3	C	29	0
Rosmely Bracho	La Puerta	3	F	21	5
Mariangel Carucy	El Cartero	3	D	21	0
Nexerson Rodríguez	Bobare/El Cujisal	3	D	11	0
<b>Total</b>	-----	----	---	<b>1192</b>	<b>54</b>

podiesen realizar las lecturas, sus notas tuvieron influencia en la nota final de la asignatura. La tabla 4 muestra el nombre del autor o estudiante, lugar desde donde tomo las medidas, el año, la sección, el número de medidas realizadas, y de esas medidas el número de medidas excluidas.

Las graficas 23a - 23n muestran como se evaluaron día por día durante un mes las medidas de los alumnos mostradas en amarillo y rojo, las primeras para los que las tomaron desde Bobare, y las segundas las que lo hicieron mas retirados de la población: Potrero de Bucare, La Puerta, Los Quemados, etc. Se uso como referencia las medidas de los autores (en azul).

Graficas 23a - 23n



Se puede ver como las medidas de los alumnos comienzan a verse a partir del 8 de noviembre hasta el 3 de diciembre de 2017.

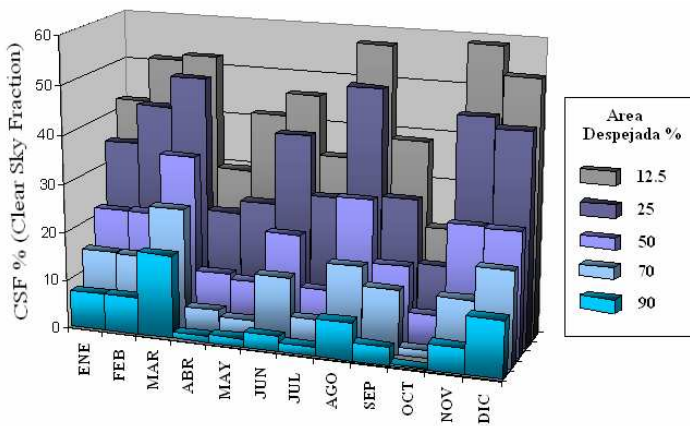
Cada grafica abarca 48 horas y solo se grafica la nubosidad y no la bruma. Se puede observar una mayor dispersión en las medidas de los alumnos por la mayor cantidad de diferencias en el criterio de porcentaje asignado a la cobertura, pero la tendencia se puede deducir claramente.

Así mismo se advierte que la mayor dispersión se da hacia las horas de oscuridad (después de las 19 HLV debido a la mayor dificultad en apreciar la proporción de nubes en relación a cielo abierto.

La grafica (i) correspondiente al 24/11/2017 muestra un pico de total nubosidad a las 7:00 HLV registrada por los autores como un solo punto azul, sin embargo las medidas de los alumnos también lo registran. Esto demuestra que es posible realizar un monitoreo de nubosidad durante unas dos semanas y luego de escoger a los alumnos que mejor grafiquen, dejar en sus manos la estimación de la nubosidad durante un año. En todo caso los días con mayor dispersión entre las medidas de los diferentes alumnos se pueden ajustar con una línea de regresión y establecer los valores medios para las medidas definitivas.

La grafica 24 muestra la cuantificación del porcentaje de noches claras totalizadas en este estudio entre Noviembre 2017 y Octubre 2018. El mejor mes es Marzo y el peor es Octubre.

Grafica 24



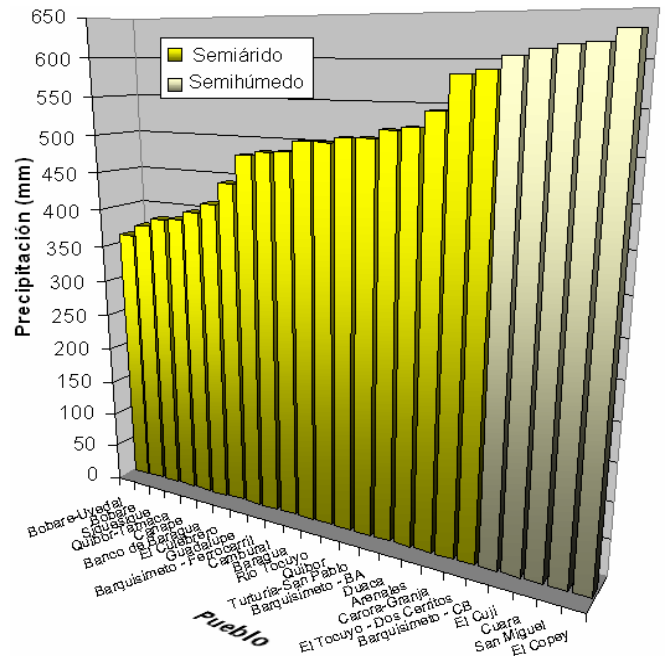
Adicionalmente, en Bobare la CSF 90, 70, 50, 25, y 12.5 % anual es el promedio mensual 5.69, 12.04, 19.19, 35.11, 43.69, entonces  $365 / 100 = 3.65$ ,  $5.69 * 3.65 = 20.7685$  noches despejadas al año al 90 % de cielo abierto, 43.946 noches al 70%, 70.0435 al 50 %, 128.152 al 25 %, y 159.47 al 12.5 %.

### 3.2 Precipitación

Se comparo la precipitación de Bobare con la de las demás ciudades y pueblos del estado, encontrándose que es el lugar mas seco de la región, con un promedio anual de solo 361.0 mm,

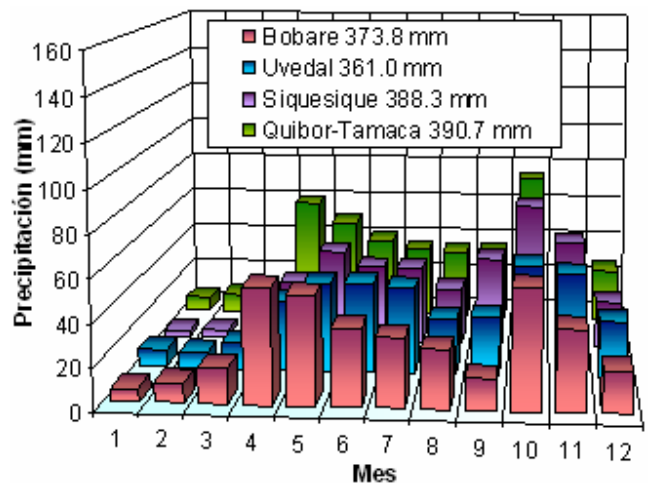
seguido de Siquisique con 388.3 mm y Quibor con 390.3 (ver grafica 25). Los valores para los demás lugares se muestran en la tabla 5.

Grafica 25



La grafica 26 muestra la precipitación mensual promedio para Bobare junto a los tres siguientes lugares más secos del estado Lara. Todos con el mismo patrón bimodal en Abril y Octubre.

Grafica 26

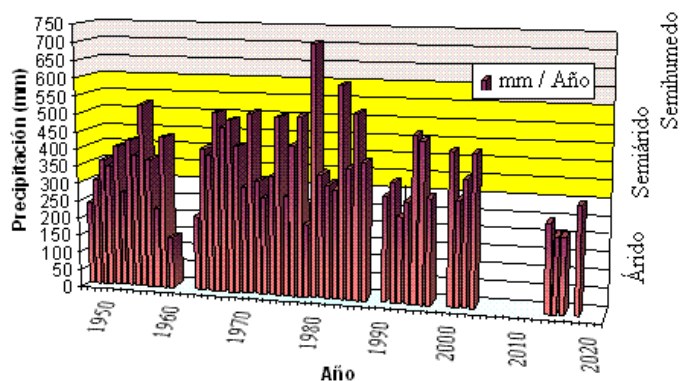


Si nos fijamos en la precipitación histórica de Bobare (ver grafica 27), nos damos cuenta que se ha mantenido entre Árida y Semiárida, con un mínimo de 144.7 mm en 1960 y un pico en 707.2 mm en 1981. Después de 1970 ha bajado la precipitación a Árido (menos de 300 mm anuales)<sup>5,6</sup>.

Tabla 5<sup>5</sup>

Lugar	mm	Lugar	mm
Bobare-Uvedal	361.0	El Carrizal	916.9
Bobare-Centro	376.8	Piricaure	965.8
Siquisique	388.3	Quebrada Arriba	983.2
Quibor-Tamaca	390.7	Trentino-La Pastora	995.2
Canape	402.3	Cubiro	1009.9
Banco de Baragua	415.3	Palmarito	1017.3
El Culebrero	444.4	San Pedro	1040.4
Guadalupe	482.0	Las Tablas	1041.3
Barquisimeto - Ferrocarril	487.4	La Mesa	1063.3
Cambural	489.2	Agua Negra	1070.1
Baragua	503.1	El Empedrado	1075.8
Rio Tocuyo	503.3	Guaríco	1111.3
Quibor	509.8	Prieto-Los López	1120.2
Turturia-San Pablo	510.4	Moroturo	1123.7
Barquisimeto - BA	521.2	Río Claro	1186.1
Duaca	525.0	Las Cuatro	1211.4
Arenales	544.0	La Rivera	1251.2
Carora-Granja	584.1	El Zancudo	1350.7
El Tocuyo - Dos Cerritos	589.1	El Jabón	1355.9
Barquisimeto - CB	602.9	Las Guabinas	1382.3
El Cuji	610.2	Maporal	1402.4
Cuara	614.3	Sarare	1617.9
San Miguel	616.8	Sabana Grande - Guago	1637.3
El Copey	629.6	Portuguesita	1698.3
Curarigua	630.7	Caspito	1727.1
Altagracia	650.7	Riecito	1743.0
Planta El Manzano	665.5	La Capilla	1867.1
Los Arangues	681.5	Guara	1872.5
Humocaro Bajo	703.3	Escalera	1942.8
Burere	708.7	Paso Angostura	1979.9
Sabana Grande - TS	727.5	Capilla Bucaral	2010.4
San Francisco	741.5	Cruz Machadera	2043.2
Los Pedernales	747.7	Las Cumbres	2210.3
Sanare - 1	819.8	Miracuy	2233.2
Humocaro Alto Vivero	860.3	Parque Yacambú	2319.3
Sanare - 2	864.9	La Cruz	2555.1
Sicarigua	877.9	Las Delicias	2598.7
La Unión	890.5	-----	-----

Grafica 27



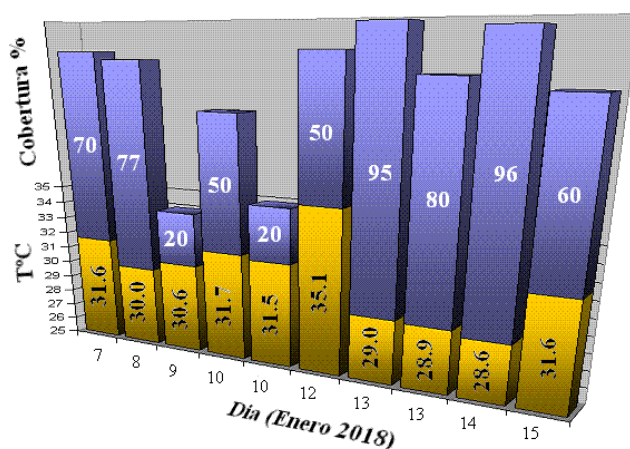
#### 4. DISCUSIÓN

Las grandes diferencias en la temperatura del aire registradas en Bobare entre el día y la noche (un intervalo de 19°), es consecuencia del aire seco y claro que permite una fortísima insolación durante el día, y una pérdida de calor por irradiación

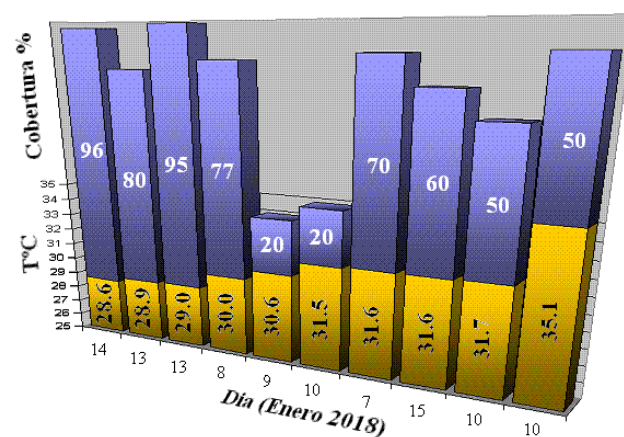
igualmente fuerte durante la noche<sup>54, 55</sup>, y es uno de los rasgos mas comunes de todos los desiertos áridos, como se expuso en la sección 1.1. Esto se evidencia en las rocas de la región, donde el cambio extremo de temperatura causa su fragmentación (Termoclastismo).

La cobertura por las nubes influye levemente en la temperatura, como lo muestra la grafica 28 de la temperatura vs la nubosidad a las 14 horas HLV durante varios días consecutivos en enero del 2018. A mayor nubosidad menor insolación en la superficie, y por ende menor temperatura, en la grafica 29 es mas obvio el efecto al organizarse los valores de menor a mayor.

Grafica 28



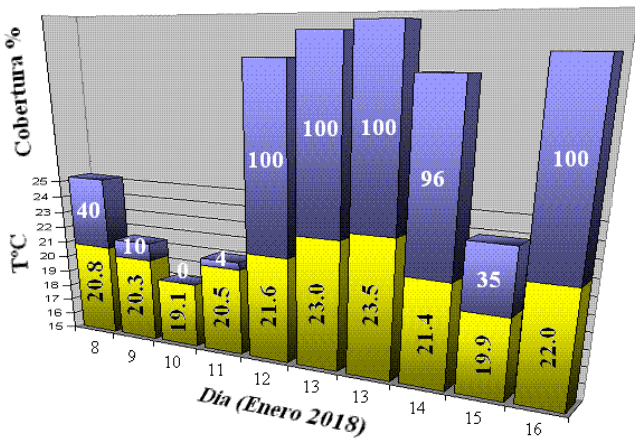
Grafica 29



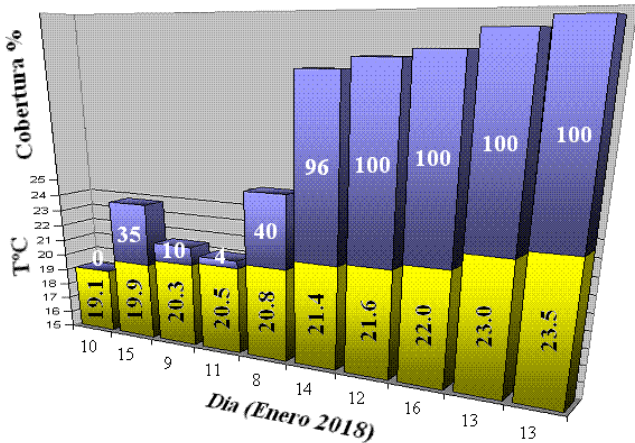
En las horas de oscuridad el efecto es inverso y aun más notorio, ver sección 1.1. A mayor cobertura, menor evacuación del calor hacia el espacio. Las graficas 30 y 31 han sido ordenadas por día y por temperatura respectivamente. La cobertura usada es el criterio de Nubes + Bruma (a 2.5) explicado en la sección 2.4.



Grafica 30

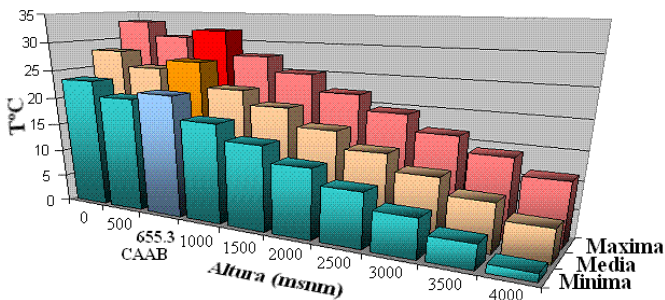


Grafica 31



En la sección 1.1 la grafica 3 mostraba como la temperatura descende con la elevación, la grafica 32 muestra los valores encontrados en nuestros resultados comparados con la altura media en el CAAB. El acuerdo es bastante aceptable. La discrepancia hacia un valor ligeramente más alto en la temperatura, se debe a que a la altura donde fueron tomados los datos, esta todavía influenciada por el calor del suelo, como se vio en la sesión 1.1.

Grafica 32



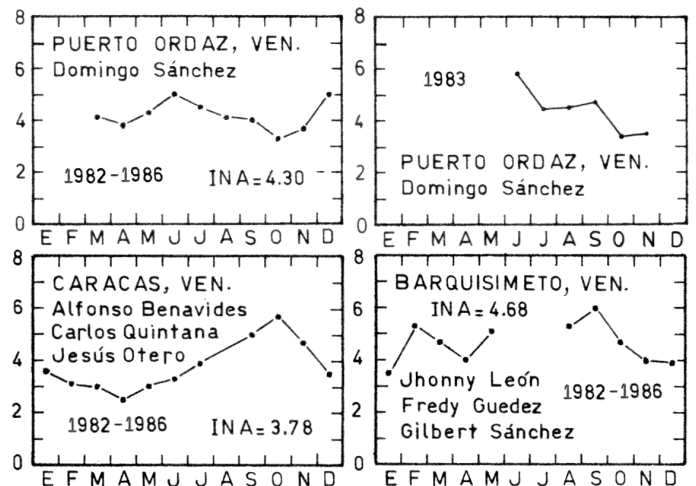
El lugar del complejo completamente despejado y plano, evita el condicionamiento de la insolación por obstáculos naturales o artificiales, y por pendientes en el terreno que modifiquen el ángulo de incidencia de los rayos del suelo<sup>8</sup>. Obsérvese como los lugares más secos de la tabla 5: Uvedal, Bobare, Siquisique, están antecedidos por una sierra cuyo eje queda perpendicular a la dirección del viento, mientras que los más húmedos quedan en la vertiente anterior de la sierra lo que seca el aire, como se vio en la sesión 1.2.

Imagen 17<sup>2</sup>



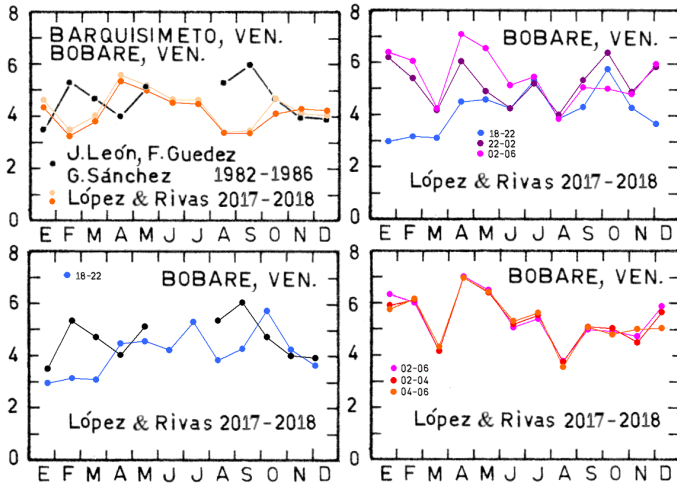
Las graficas 33a, b, c, y d<sup>51, 52</sup> muestran la nubosidad promedio mensual para varias ciudades de Venezuela entre 1982 y 1986, están graficados en octavos de cielo, 0 para un cielo completamente despejado, 8 para un cielo completamente nublado, etc. Las medidas indican la nubosidad a medio día en las observaciones solares. Se puede ver por ejemplo, que para Puerto Ordaz, hay una tendencia a despejarse hacia el mes de Octubre (O), para Caracas en Abril (A), y en Barquisimeto en Enero (E) y Abril (A). Las medidas para Puerto Ordaz en 1983 mantienen la tendencia del conjunto de años 1982-86, lo que demuestra que la nubosidad a nivel local es bastante estable.

Graficas 33a, b, c, d



La grafica 34a muestra los valores anteriores para Barquisimeto, comparados con la nubosidad promedio mensual a medio día obtenida en este estudio en naranja claro. A fin de contar con varios valores a medio día por día, que permitan estabilizar mas el promedio para ser mejor comparados con el promedio mensual de 6 años en Barquisimeto, se muestra también en naranja oscuro el promedio de nubosidad entre las 11 y 14 horas, aunque igualmente se advierte la misma tendencia.

Grafica 34a, b, c, d



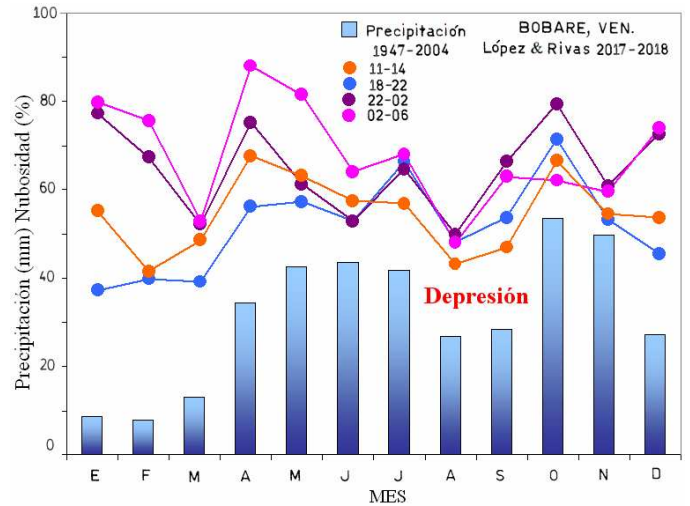
De esta grafica podemos decir que la nubosidad es alta incluso en los meses de mínima nubosidad si la comparamos con lugares como Caracas, pero es necesario tener en cuenta que las medidas se hicieron de día, donde suelen darse las hora de mayor nubosidad, por esto como se explico en la sección 2.4, se ha realizado una grafica similar (grafica 34b) para las horas de la noche entre las 6:20 de la tarde y las 6:20 de la mañana, un intervalo con menor nubosidad. Los periodos del inicio de la noche se muestran en azul, mitad de la noche en púrpura, y fin de la noche en violeta, criterio expuesto en la sección 2.2. Se puede ver claramente que la nubosidad al inicio de la noche siempre es menor que hacia el centro y al final de la noche, con excepción de los meses de Julio y Agosto donde la nubosidad es prácticamente la misma para los tres periodos de la noche. Se ha tomado en cuenta la cobertura de la bruma a partir de grado 2.5 en el porcentaje de cobertura, como se expuso en la sección 2.1.

De los diagramas de fase se ha notado que al final de la noche, hay una ligera tendencia a volverse a despejar el cielo, por lo que se graficaron adicionalmente los lapsos de nubosidad entre los rangos de 4 a 6:20, y 5:00 y 6:20 de la mañana (grafica 34d). Sin embargo, tal selección no modifica significativamente los valores de nubosidad para el periodo de final de la noche.

En la grafica 35 se han convertido los valores de cobertura del cielo a porcentaje, y se muestra como el promedio de nubosidad para las horas de mediodía y los tres momentos de la noche expuestos, el comportamiento para el inicio de la noche se corresponde con la precipitación promedio (1947 – 2004) en mm

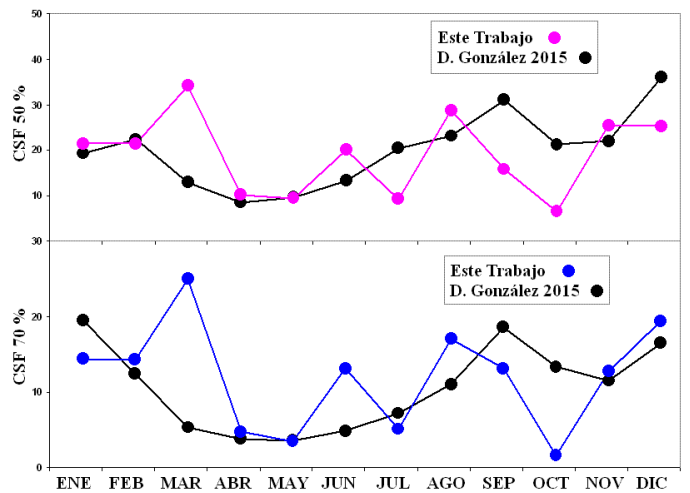
mensual. Esta correspondencia no ocurre para el periodo central de la noche, y ocurre mas vagamente para el periodo final. Los colores conservan la misma leyenda que las graficas anteriores.

Grafica 35



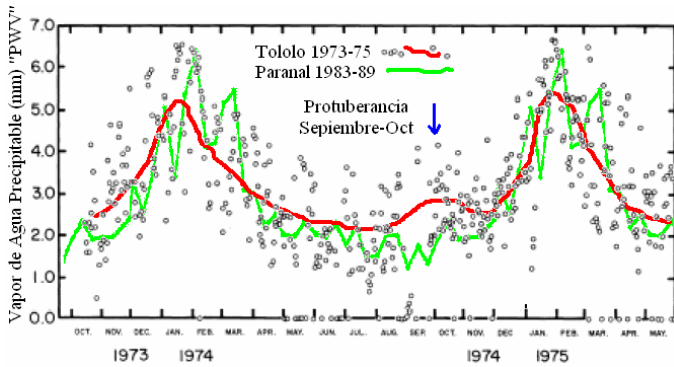
Las graficas 36 a y b nos muestran como coincide el patrón de comportamiento mensual de la CSF encontrado en este trabajo (cuya duración fue de 1 año), con el del trabajo de 5 años de Danilo González<sup>36</sup>, en este caso el patrón de nubosidad es inverso al de las graficas anteriores, menor nubosidad valores altos y viceversa. Las pequeñas variaciones se deben sin duda a las influencias aleatorias a corto plazo que en el estudio a largo plazo se suaviza por el promediado de los 5 años, y muestra solo la tendencia global, a saber, mayor numero de noches despejadas en el periodo Noviembre-Marzo, y menor número en el periodo Abril-Julio, coincidiendo la protuberancia de buena área despejada hacia Agosto-Septiembre con una caída en octubre-noviembre para volver a elevarse en diciembre. Esta protuberancia se observa como una depresión en la grafica 35.

Graficas 36 a y b



La grafica 37<sup>56</sup> adaptada, muestran también el mismo patrón cuando vemos la cantidad atmosférica diurna de Vapor de agua Precipitable (PWV) medido en Cerro Tololo entre 1973 y 1975 y superpuestas en verde los valores medios en Cerro Paranal entre 1983 y 1989. La línea roja para las medidas de Tololo fue agregada por el autor con fines comparativos. Se aprecia como la mayor cantidad de PWV coincide con la época de menor nubosidad.

Grafica 37



Esto reafirma que en la época de lluvia o invierno, el VDA atmosférico alcanza valores mínimos (1 mm en el invierno chileno), pues esta condensado o precipitado en forma de lluvia, esta es la época de mayor nubosidad, mientras que en la época de mayor PWV hay mayor transparencia. Aquí también se evidencia la protuberancia encontrada entre septiembre y octubre de las grafica 36 a y b, vista como depresión en la grafica 35.

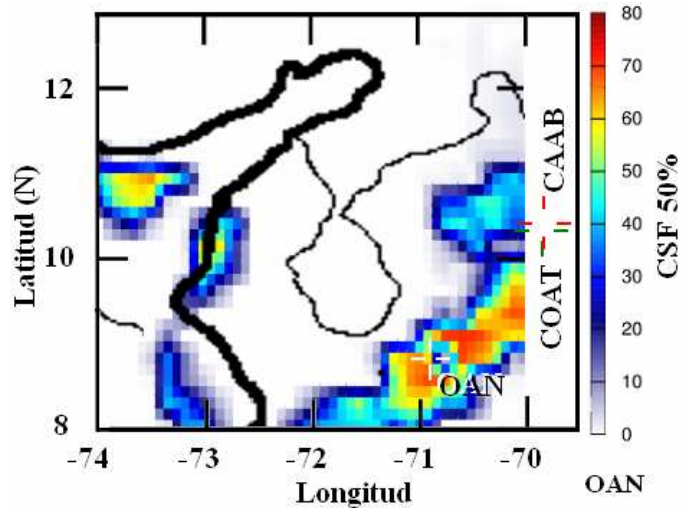
La desventaja en el IR cercano y medio, es que las épocas o lugares con altos niveles de PWV, no solo reducen la transparencia, sino que también aumentan la emisión térmica e introducen características espectrales fuertes y nítidas. Por lo tanto las noches transparentes en meses lluviosos son las mas favorables para la astronomía en el IR cercano y medio > 1µm.

Para los grandes telescopio profesionales modernos se buscan sitios con CSF fotométricas mayor al 60% (219 noches al año), y con las noches espectroscópicas (noches utilizables con alguna nube) juntas con noches fotométricas de más del 80% (292 noches al año). Un valor lejos de nuestro resultado, pero innecesario para nuestros propósitos como se expuso en la sección 2.2.

La imagen 18<sup>36</sup> es la porción correspondiente al occidente de Venezuela, del mapa de CSF del promedio mensual a 5 años (2008 al 2012), del trabajo de Danilo Gonzáles y representan el número de noches claras libre de nubes bajas y gruesas detectadas sólo en la banda B4 de los satélites Goes-12 y Goes-13 (factor de calidad el 50% de área libre) para los meses de diciembre con una resolución de 22 km por píxel, la leyenda de color varia en cada mes porque la escala de los colores varia en cada mapa. El color blanco significa pocos días al año libres de nubes, mientras las regiones amarillas y rojizas significan un número mayor de noches despejadas.

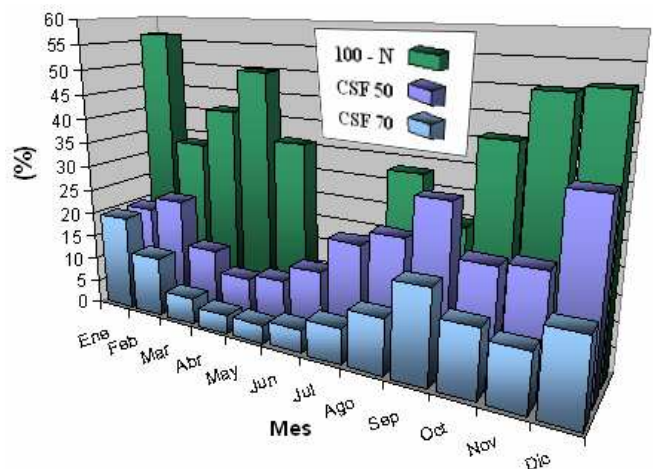
Las mejores zonas para Venezuela se encuentran sobre el Occidente en la cordillera de los Andes, con regiones que superan un CSF de 80% para los meses de la temporada despejada con Q50. En esta región se encuentra el Observatorio Astronómico Nacional Llano del Hato (cruz blanca) con 60.5%.

Imagen 18



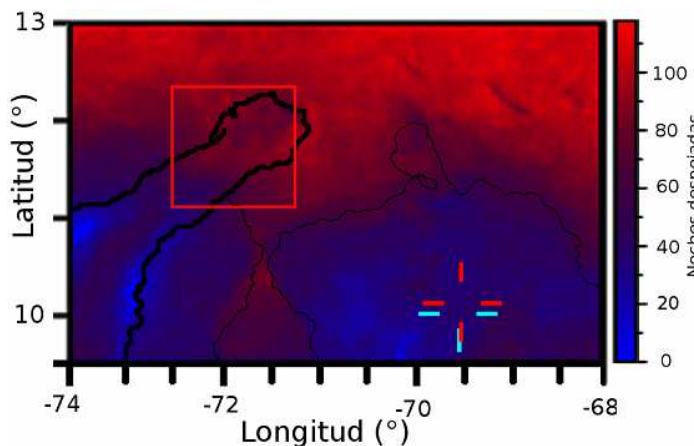
Se puede ver que el sitio del CAAB y COAT indicados con las cruces rojas y verde respectivamente, no esta cubierto en esta mapa. Sin embargo, se puede deducir la nubosidad mensual de estos al tomarse la franja de píxeles a la latitud del lugar con un grado de ancho en longitud (70 a 71°) se promediaron los valores de los píxeles para tener un referencia confiable de la CSF del sitio del CAAB y del COAT. Esto se hizo para los 12 meses en CSF 50% y 70 %, y son los valores en negro que se comparan con los resultados de este trabajo en las graficas 36 a y b, estos valores también se comparan con la nubosidad obtenida en este trabajo en la tabla 6, y con la nubosidad en Barquisimeto 1982-86 a medio día en la grafica 38 expresada en 100% de cielo

Grafica 38



despejado calculada de: 100 - % de nubosidad. Se puede ver que hay concordancia en la tendencia para todos los valores. Los meses menos despejados son Mayo y Junio, y de Septiembre a Febrero esta mas despejado. Los valores obtenidos de estos mapas indican para el CAAB  $10.7 / 3.65 = 39.055$  noches despejadas al año para el 70 % de cielo despejado y  $20.2 * 3.65 = 73.73$  noches para el 50 % de cielo despejado.

Imagen 19<sup>57</sup>



La imagen 19 es una parte de una imagen<sup>36</sup> que muestra el resultado de un primer estudio<sup>58</sup> poco preciso para las regiones elevadas, donde la leyenda de color muestra para el sitio del CAAB un valor CSF de 36 noches al año y para el COAT de 37 noches, lo que esta cerca de los valores encontrados.

Tabla 6

D. González 2015			López & Rivas 2017-2018				
MES	70	50	90	70	50	25	12.5
ENE	19.5	19.5	7.49	14.42	21.61	34.56	42.00
FEB	12.5	22.5	7.54	14.33	21.65	42.64	51.18
MAR	5.4	13.2	17.12	24.96	34.32	48.99	52.34
ABR	3.8	8.6	1.31	4.79	10.47	21.73	29.28
MAY	3.6	9.8	1.68	3.45	9.59	24.43	41.38
JUN	4.9	13.5	2.94	13.15	20.18	39.24	46.05
JUL	7.2	20.7	1.80	5.17	9.39	27.01	33.89
AGO	11.0	23.3	7.65	17.07	28.90	49.87	57.22
SEP	18.6	31.3	3.58	13.19	16.11	28.08	38.35
OCT	13.4	21.4	0.24	1.65	6.78	15.08	20.98
NOV	11.5	22.2	5.25	12.79	25.76	45.96	58.70
DIC	16.5	36.3	11.69	19.46	25.51	43.79	52.86
PRO	10.7	20.2	5.69	12.04	19.19	35.11	43.69

El sitio del complejo ha sido considerado como uno de los mejores sitios para la observación en el estado Lara por la Asociación Larense de Astronomía (ALDA)<sup>59</sup>, organización que desde antes de 1986 realizaba sus observaciones desde el caserío el suspiral, de allí fue observado el cometa Halley y se planificaba la construcción de su observatorio, que por motivos del crecimiento de Bobare, la cual era visible desde el caserío, lo materializan posteriormente en el caserío de Cerro Blanco<sup>60</sup>.

Los patrones climáticos se han mantenido estables desde entonces.

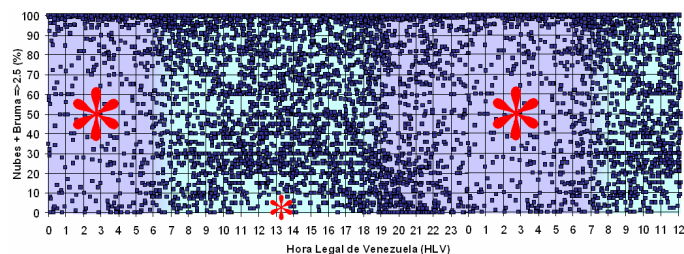
### 4.1 Estimaciones Visuales vs Imágenes Satelitales

En el siglo 20, la cuantificación de la fracción de noches claras se basó principalmente en la inspección visual específica de las condiciones del cielo, o en los cuadernos de observación de los telescopios. Estos métodos son 'internamente' robustos, pero dependen de la experiencia del observador y la calidad del sitio. En pruebas de corto tiempo, también podría haber alguna dependencia de la fase Lunar. Un adecuado seguimiento usando estos métodos consume mucho tiempo y es costosa cuando se aplica a varios sitios nuevos<sup>42</sup>, y como se ha podido comprobar de este trabajo. Por tal motivo es adecuado en análisis de sitios nuevos con algoritmos que hagan uso de imágenes satelitales, este trabajo corrobora que estos estudios son confiables y coinciden con los resultados de las bitácoras a partir de observaciones visuales.

### 4.2 Condensación Nocturna del Vapor de Agua

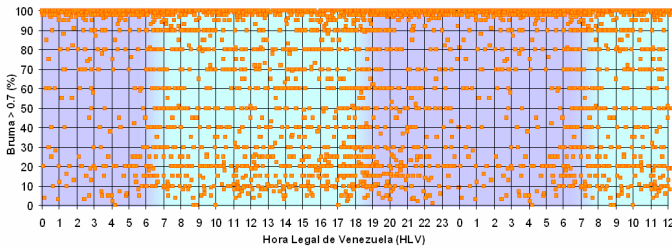
Un punto que llama la atención es la forma de "X" en los diagramas de fase de la nubosidad mostrados en las Gráficas 22a – 22L de la sesión 3.1. En la grafica 39 se superponen todas las medidas obtenidas del estudio para desvelar que de la X, si miramos con atención, vemos una "U" invertida, la cual evidencia una tendencia a nublarse entre las 5 a 6 HVL, poco antes de la salida del Sol, alcanzar una nubosidad del 50 % en las horas de la tarde (14 horas HVL) y despejarse hacia las 18 horas para luego nublarse hacia las 22 horas tiempo local. La gran acumulación de medidas entre las 23 y las 8 horas indica que mas bien se despeja al amanecer (luego de la salida del Sol, en cualquiera de los casos, se advierte un espacio libre de puntos mostrados con un asterisco rojo. Otro asterisco más pequeño es mostrado a las 13:20 horas. Este comportamiento es permanente a lo largo del año, y en las horas de la noche, con seguridad tiene que ver con la condensación del vapor de agua.

Grafica 39



La grafica 40 muestra la neblina por separado, su comportamiento es bastante similar, esta llega a un máximo espesor entre la 1 y 5 horas, lo que deja un hueco de bruma de valores bajos e intermedios que coincide con los asteriscos de la grafica 39, esto confirma que las primeras horas de la noche, es también la mejor parte de la noche en lo que respecta a la neblina o bruma.

Grafica 40



### 4.3 Velocidad del Viento Umbral de Cierre

La velocidad de viento considerada adecuada para el trabajo en observatorios profesionales, debe ser inferior a 20 km/h<sup>61</sup>, en observatorios como GMT Gran Telescopio Magallanes, se estima una fracción de horas perdidas por vientos que exceden el límite operativo inferior al 3%<sup>56</sup>. La velocidad del viento de cierre de cúpula para los telescopios en el observatorio de las campanas (LCO) es de 15.6 m/s (56.16 Km/h), lo que significa que solo ~ 1% de las noches adecuadas para la astronomía se perderían debido al viento. Los fuertes vientos batan el telescopio, y a velocidades suficientemente altas, el domo debe estar cerrado para garantizar la seguridad del telescopio y excluir el polvo arrastrado por el viento<sup>56</sup>.

En el CAAB la velocidad del viento a las 18 horas oscila entre 25 Km/h, con ráfagas de viento de hasta 47 Km/h. A las 23 horas la velocidad del viento ha decaído a unos 11 Km/h con picos de 30 Km/h, haciéndose nulo para las 0.0 horas con ráfagas del Norte y NorEste de escasos segundos muy suaves de 20 Km/h, y muy poco frecuentes<sup>4</sup>. Sin embargo, como el periodo más despejado es precisamente la primera parte de la noche, hasta las 23 horas, es el lapso con vientos más fuertes, debido a esto ha sido diseñado un dispositivo para eludir el efecto del viento.

### 4.4 Nubosidad vs Elevación y Distancia a la ZCIT

La tabla 7 compara el número de noches al año útiles 50% y claras 70% con el de algunos otros observatorios del mundo. Se puede ver una mayor cantidad de noches despejadas como una función de la altura, debido a que a una elevación superior a 3.5 Km (zona de perturbaciones) prácticamente no se forman nubes<sup>62</sup>.

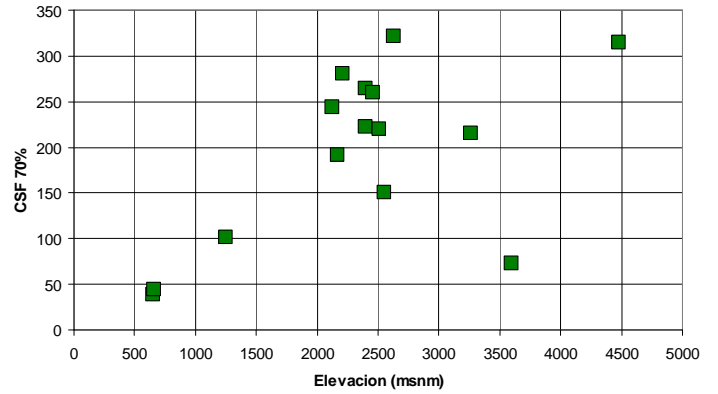
Sin embargo, hay un segundo factor de dependencia de la nubosidad, y es la cercanía a la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT). Es decir que si graficamos la cantidad de noches despejadas como una función de la distancia al ecuador (un equivalente de la distancia a la ZCIT), vemos también otra dependencia, aunque este es mucho menos dependiente.

Sin embargo, es posible pensar en un ajuste de regresión multivariable<sup>63, 64, 65, 66</sup>, en este caso con dos variables, Altura y Distancia a la ZCIT.

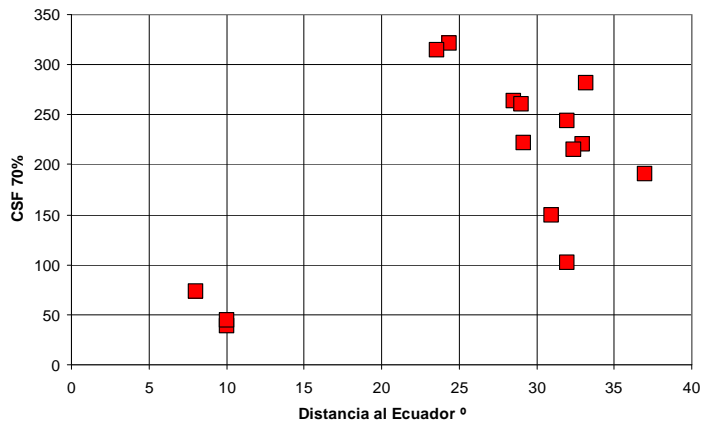
Tabla 7

Observatorio	Lugar	msnm	Lat	50%	70%
Mauna Kea	EEUU/Haway	4200	19.8		
Paranal	VLT/Chile	2630	24.4	253 <sup>42</sup>	321 <sup>42</sup>
Tolonchar	ESO/Chile	4480	23.6	281 <sup>42</sup>	315 <sup>42</sup>
Cerro Tololo	ESO/Chile	2210	33.2		281 <sup>56</sup>
La Palma	España/Is Canarias	2400	28.5	257 <sup>42</sup>	264 <sup>42</sup>
O A Cananea	México/Cananea	2460 <sup>67</sup>	29.0		260 <sup>67</sup>
Kitt Peak	EEUU/Arizona	2120 <sup>68</sup>	32.0	244 <sup>56</sup>	
La Silla	ESO/Chile	2400	29.2	237 <sup>56</sup>	222
Las Campanas	ESO/Chile	2510	33.0	292	220 <sup>56</sup>
Mt. Graham	EEUU/Arizona	3260 <sup>69</sup>	32.4	315 <sup>42</sup>	215 <sup>42</sup>
Calar Alto	España/Almería	2170 <sup>70</sup>	37.0		191 <sup>71</sup>
CASLEO	Argentina/San Juan	2550 <sup>72</sup>	31.0	300 <sup>72</sup>	150 <sup>72</sup>
Obs d Cordoba	Argentina/Cordoba	1250 <sup>73</sup>	32.0	219 <sup>73</sup>	102 <sup>73</sup>
O. F. J. Duarte	Venezuela/Mérida	3600	8.0		73 <sup>36</sup>
C Tayabeixo	Venezuela/CBlanco	650?	10.0	73 <sup>36</sup>	39 <sup>36</sup>
C. Andrés Bello	Venezuela/Bobare	655.3	10.0	70	43.9

Grafica 41



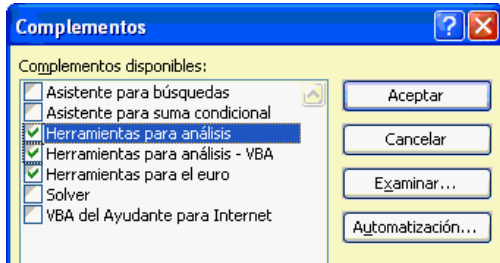
Grafica 42



Donde es común una ecuación como  $Mb = 1.53 - (0.03 * \text{Log } P) + (0.35 * \text{Fe}/H)$ . Esto lo realizamos cuando dos variables nos van a ayudar a obtener un resultado mas preciso, sin embargo antes demos comprobar la relación de cada variable con el eje Y probando dos ajustes de regresión lineal simple por separado.

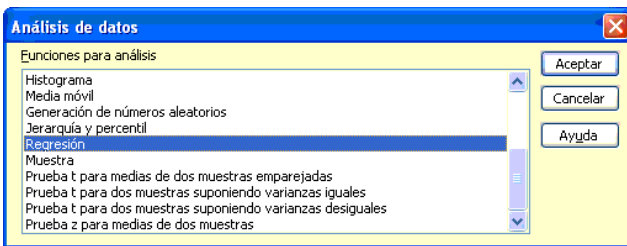
El ajuste se realizo en Excel 2003, desde en menú **Herramientas/Complementos**, y se abre el cuadro de la imagen 20, en el que activamos la casilla **Herramientas para análisis** y se pulso **Aceptar**.

Imagen 20



Ahora vamos al menú **Herramientas** y escogemos **Análisis de Datos**, y en el cuadro **Análisis de Datos** escogemos la opción **Regresión** y pulsamos **Aceptar** (imagen 21), y se abre el

Imagen 21



cuadro regresión (imagen 22), en el tocamos con el ratón dentro de la celda **Rango Y de Entrada:** y Seleccionamos la columna con los valores del eje Y. luego nos paramos dentro de la celda **Rango X de Entrada:** y escogemos las dos columnas [X1, X2], al mismo tiempo y pulsamos Aceptar. En este momento se abre una nueva hoja con los valores del ajuste. De estos nos interesa los que están en la columna **Coefficientes** (señalada con un rectángulo rojo).

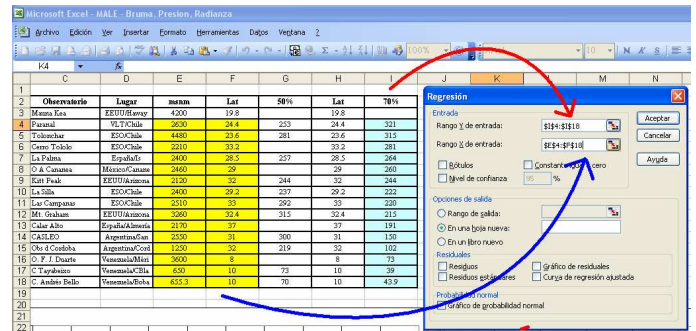
Estos son Intercepción, Variable X1, Variable X2, en nuestro ejemplo (Imagen 23): -46.686358, 0.045229822, 5.193322477 0.5, 0, 0.5 respectivamente. Estos son los coeficientes multiplicadores en la ecuación y el punto 0, y se ordenan como sigue para obtener el valor de Y:

$$Y = -46.686358 + (0.045229822 * X1) + (5.193322477 * X2)$$

Al sustituir los valores tendríamos la ecuación Eq 26:

$$\text{Eq 26: CSF } 70\% = -46.686358 + (0.045229822 * \text{msnm}) - (5.193322477 * \text{Lat}^{\circ})$$

Imagen 22



Una vez que se realiza el ajuste desaparece la opción **Análisis de Datos** del menú **Herramientas** y debemos abrir una hoja nueva para realizar otro ajuste de este tipo.

Si activamos la casilla **Curva de regresión ajustada**, en el cuadro **Regresión**, se nos mostrara las curvas de ajuste para cada variable en relación al eje Y así como el pronóstico de los valores obtenidos en relación al valor real.

Imagen 23

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de	0.77036189
Coefficiente de	0.59345744
R <sup>2</sup> ajustado	0.52570035
Error típico	64.6936321
Observaciones	15

ANÁLISIS DE VARIANZA	
Grados de libertad de cuadrado de los cua	
Regresión	2 73314.1636 36657.0818 8.75860257 0.00451477
Residuos	12 50223.1924 4185.26603
Total	14 123537.356

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-46.686358	60.5268786	-0.77133265	0.45543044	-178.563097	85.1903816	-178.563097	85.1903816
Variable X 1	0.04522982	0.01747648	2.58803984	0.0237435	0.00715185	0.0833078	0.00715185	0.0833078
Variable X 2	5.19332248	1.87631295	2.76783384	0.01703013	1.10518775	9.28145721	1.10518775	9.28145721

Los resultados obtenidos con esta ecuación son completamente inconsistentes debido a la dispersión de los datos, pero un trabajo más elaborado mejorando las variables usando una muestra mas grande observatorios podría dar resultados más precisos a fines de tener ideas aproximadas de algunos sitios de interés sin estudiar.

## 5. CONCLUSIÓN

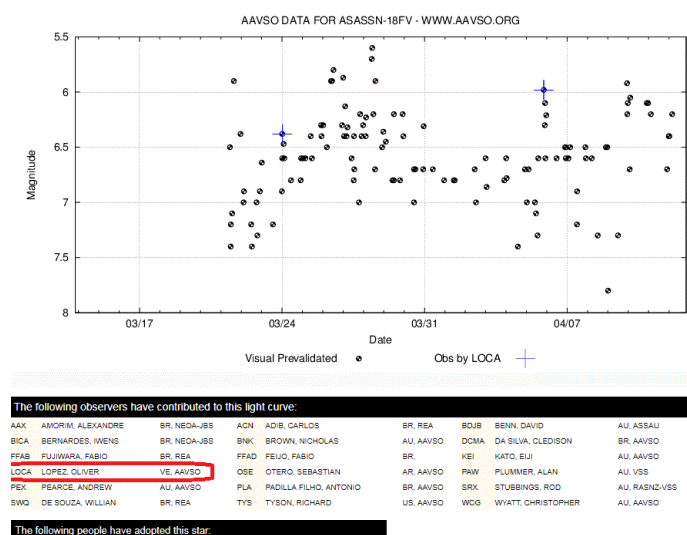
Del presente estudio se concluye, que la nubosidad en la región es bastante alta, con valores promedios anuales del 50% de cobertura por nubes durante las horas del medio día, de 45% a las primeras horas de la noche, y 68% luego de la media noche, siendo prácticamente una constante la cobertura del cielo durante o después de las 22 horas tiempo local, por lo que esta primera

parte de la noche es la más provechosa para astronomía observacional, un patrón que es muy estable a lo largo de los años, siendo los meses de Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero y Marzo los más adecuados para las observaciones astronómicas o octubre el peor mes. Este quizás es el resultado más importante, si tomamos en cuenta que algunas de las medidas usadas como comparador tienen tres décadas de diferencia.

También se concluye que es posible realizar este trabajo a partir de medidas de alumnos bien adiestrados en la toma de lecturas.

Esto ha permitido aprovechar la noche de la mejor manera en las observaciones y no programar observaciones de eventos cuyo desarrollo se presenta en horas de los meses proclives a nublarse, tal ha sido el caso de la Nova ASASSN-18 en Carina, donde se han realizado las mediciones de brillo en las primeras horas de la noche de los meses de Marzo y Abril de 2018 (Gráfica 43)<sup>74</sup>, para evitar así las nubes luego de las 22 Hora Local, por solo citar un ejemplo.

Gráfica 43



La precipitación revela que Bobare es la población más seca de la región después de Uvedal (un caserío al oeste de Bobare). Esto la hace adecuada para observaciones además de en el óptico en el Infrarrojo, y el ultravioleta próximo, aunque teniendo en cuenta que para este último, la altura mínima para fotometría UV es de 2000 msnm, y Bobare está a solo 652 msnm.

En general, aún en condiciones libres de nubes, cuando la humedad relativa (HR) alcanza valores superiores al 70 %, en la mayoría de los casos, se condensa y empaña los lentes y espejos de los telescopios. Si se alcanzan valores del 80 %, y no vuelve a bajar, se hace imposible hacer fotometría<sup>xc93</sup>. Una HR normal es la ideal para que la mayor parte de los equipos disminuyan el

riesgo de sufrir ataques de hongos o insectos por alta o baja humedad relativa (respectivamente).

Una ventaja adicional de los datos recabados en este trabajo, es que al ser la data obtenida de observaciones visuales, y la tendencia moderna es el uso cada vez más extendido de las imágenes satelitales, es que se pueden correlacionar las cuantificaciones obtenidas de imágenes satelitales con cuantificaciones visuales obtenidas con el mismo criterio que el de las bitácoras de los observatorios astronómicos.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Agradezco especialmente a Jesús Ángel Peña por prestarme el higrómetro de su estuche de violín para el estudio, a María Mangarré por la ayuda con la toma de las medidas de temperatura y humedad, a Mercedes Jiménez por obsequiarme el Atlas Geográfico Universal de donde obtuve el mapa de la imagen 4a y 4b, a Iván Acosta Araujo por obsequiarme en 2011 el atlas del nacional y la colección completa de la enciclopedia británica en español, usados a lo largo del trabajo, a Oswaldo Nuñez antiguo presidente de SOVFA por obsequiarme en 1990 el Bright Atlas 2000.0, a Enrique Torres por la venta del Escáner BENQ Scanner 5000 usado para digitalizar los mapas de las imágenes, a Alfrio Mendoza por facilitarme el programa CorelDRAW y Corel PHOTO-PAINT (TM) Versión 8.232 usado para la edición de muchas imágenes de este trabajo, a Félix Colmenares por hacer una parada en el sitio del complejo para la medida con su GPS y Sergio Radaelli y Rafael Hernández por su ayuda en la toma de las coordenadas. A Aura Marina Colmenares, Génesis, Marbella y Jordán Cabrera, por indicarme la hora para las medidas en innumerables ocasiones en la etapa de mudanza hacia las instalaciones del Complejo.

## 7. REFERENCIAS

- [1] López, Oliver Christopher, Félix Colmenares, Sergio Radaelli y Rafael Hernández 10 de Octubre del año 2012. Medición de coordenadas usando un GPS, y verificadas luego desde Google Map. <http://www.mapcoordinates.net/es>
- [2] Imágenes obtenidas a través de Google Earth Pro 7.1.2.2041, del satélite Landsat / Copernicus los días 07/31/2017 y 12/12/2017. Editadas en Iris 5.59, Christian Buil, Corel PHOTO-PAINT Versión 8.232, y Paint, Microsoft 2003.
- [3] Cultural S.A (2004) "Curso de Orientación Escolar, Aula siglo XXI, Geografía Universal". (Pág. 17). Madrid. Alfonso Dorado / Ma Luisa Méndez.
- [4] López, Oliver Christopher (2017) "Estudio de Velocidad y Dirección del Viento en el CAAB". Bobare – Venezuela. <https://olichris.jimdo.com/acceso-a-la-data-del-caab/>
- [5] Data de Precipitación en Lara, Ministerio del Ambiente <http://www.minamb.gob.ve/files/Precipitacion-mensual/Lara.pdf>

- [6] Data de Precipitación en Lara, INAMEH  
<http://www.inameh.gob.ve/web/>  
<http://estaciones.inameh.gob.ve/descargaDatos/vistas/bajarArchi-vo.php>
- [7] Imagen Editada y adaptada de: Tondem Verlag GMBH “Guías Gigantes, El Planeta Tierra”, Weldon Owen. KONEMANN 2004. Pag 1-2.
- [8] Lacoste Alain & Salanon Robert (1973). “Biogeografía”. (Pág. 109-123, 163-188, 216). Barcelona – España.
- [9] Ediciones Larousse (1987). “Gran diccionario de las ciencias en color”. Tomo 3 (Pag 582). Barcelona – España.
- [10] Ediciones Larousse (1987). “Gran diccionario de las ciencias en color”. Tomo 6 (Pag 1095). Barcelona – España.
- [11] Pávlovsk “Wikipedia”. Recuperado el (11/08/2018).
- [12] Vincent Albert (1996). “EVOLUCION DE LA TEMPERATURA CON LA PROFUNDIDAD” Disponible en <http://geotermiaavanzada.blogspot.com/2013/08/evolucion-de-la-temperatura-con-la.html> Recuperado el (11/08/2018).
- [13] Pérez Daniel (2007). “Introducción a los Sensores Remotos - Aplicaciones en Geología” Buenos Aires - Argentina Universidad de Buenos Aires - Laboratorio de Tectónica Andina. Disponible en [http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso\\_SR/Guia\\_Curso\\_sr\\_2007.pdf](http://aviris.gl.fcen.uba.ar/Curso_SR/Guia_Curso_sr_2007.pdf) Recuperado el (11/08/2018).
- [14] Kaab Andreas (2014). ESA - Eduspace ES - Cambio global. “Propiedades ópticas del hielo y la nieve” Universidad de Oslo. Disponible en [https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace\\_Global\\_ES/SEMZ4G\\_WWVUG\\_0.html](https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_ES/SEMZ4G_WWVUG_0.html) Recuperado el (04/09/2018).
- [15] Derruau Max (1965). “Geomorfología”. (Pág. 252-255). Ediciones Ariel S. A Barcelona – España.
- [16] Enciclopèdia Britànica Publisher. Inc. (1989 – 1980), tomo II (1ra ed.). Barcelona: Pág. 55.
- [17] Ediciones Larousse (1987). “Gran diccionario de las ciencias en color”. Tomo 4 (Pag 636). Barcelona – España.
- [18] Ediciones Larousse (1987). “Gran diccionario de las ciencias en color”. Tomo 2 (Pag 194). Barcelona – España.
- [19] Editorial Complutense (1999), “Diccionario Oxford Complutense de Astronomía” primera edición española, (Pag 80). Madrid: España. Ian Ridpath.
- [20] Jorge Arístides Watanabe Cabrera (sf). “Manejo del ENVI V4.5” Disponible en <https://www.monografias.com/trabajos82/manejo-envi/manejo-envi2.shtml> Recuperado el (04/09/2018).
- [21] Ediciones Larousse (1987). “Gran diccionario de las ciencias en color”. Tomo 3 (Pag 540,541). Barcelona – España.
- [22] Pérez Calzadilla Argélia, Rodríguez Iokiñe y Quintana Gabriela (2007). “TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN ESPACIAL PARA EL ANÁLISIS DEL ENTORNO SOCIOAMBIENTAL DE LOS PLANTELES DE EDUCACIÓN BÁSICA Y MEDIA DIVERSIFICADA, DEL MINISTERIO DEL PODER POPULAR PARA LA EDUCACIÓN”. CURSO DE ENTRENAMIENTO PARA PROFESORES. GUÍA TEÓRICO-PRÁCTICA DEL PROFESOR (Pág. 47-48). Caracas: Venezuela.
- [23] Grafica producida por el primer autor a partir de la data de Altura versus temperaturas históricas máxima, media y mínima a diferentes niveles altitudinales obtenidas del Atlas Climatológico Nacional de Colombia del IDEAM. Primera Parte. 2005.
- [24] Enciclopèdia Britànica Publisher. Inc. (1989 – 1980), tomo 10 (1ra ed.). Barcelona: Pág. 82.
- [25] Enciclopèdia Britànica Publisher. Inc. (1989 – 1980), tomo 10 (1ra ed.). Barcelona: Pág. 217.
- [26] Cultural S.A (2004). “Curso de orientación Escolar, Aula siglo XXI, Ciencias de la naturaleza y el Medio Ambiente”, Madrid. Alfonso Dorado / Ma Luisa Méndez. Pág. 35.
- [27] Imagen adaptada y editada<sup>a,b,d</sup> de Cultural S.A (1995) “Atlas Geográfico Universal”. (Pág. 42). Ediciones Cultura S.A Madrid España 1995
- [28] Enciclopèdia Britànica Publisher. Inc. (1989 – 1980), tomo 8 (1ra ed.). (Pág. 75-76). Barcelona: España.
- [29] Empresas Polar (1993), Atlas El Universal Aguilar. (Pág. 9). Guarenas: – Venezuela: Litho-Mundo, S.A.
- [30] Imagen adaptada de. Empresas Polar (1993), Atlas El Universal Aguilar. (Pág. 9). Guarenas: – Venezuela: Litho-Mundo, S.A.
- [31] Imagen adaptada y editada<sup>a,b,d</sup> La Urbanización. Empresas Polar (1993), Atlas El Universal Aguilar. (Pág. 75). Guarenas: – Venezuela: Litho-Mundo, S.A.
- [32] Imagen tomada con el detector MODIS del satélite Terra de la NASA, en 2002 Crédito: Jeff Schmaltz, MODIS Rapid Response Team, NASA/GSFC
- [33] Ediciones Larousse (1987). “Gran diccionario de las ciencias en color”. Tomo 4 (Pag 764-765). Barcelona – España.
- [34] Enciclopèdia Britànica Publisher. Inc. (1989 – 1980), tomo 12 (1ra ed.). (Pág. 88). Barcelona: España.
- [35] Imagen adaptada y editada<sup>a,b,d</sup> de. Empresas Polar (1993), Atlas El Universal Aguilar. (Pág. 184). Mapa de Precipitaciones en Venezuela. Guarenas: – Venezuela: Litho-Mundo, S.A.
- [36] González Danilo Díaz (2015). "ESTUDIO DE CALIDAD DEL CIELO PARA OBSERVACIONES ASTRONÓMICAS EN COLOMBIA". Observatorio Astronómico Nacional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Maestría en Ciencias: Astronomía. Dirigido por: Dr. Giovanni A. Pinzón. Universidad Nacional de Colombia. <http://www.bdigital.unal.edu.co/49386/1/ThesisDanilo.pdf>



- [37] Imágenes 360° del Large Binocular Telescope Observatory del el día 9 de noviembre de 2017 a las 13:02 T.U, las otras tres fueron editadas siendo combinadas con una simulación del software gratuito Stellarium 0.10.4, de Matthew Gates, usando el programa PhotoMorph v7.2 (2009). Large Binocular Telescope Observatory website (9 Nov 2017). <http://www.lbto.org/>
- [38] Satélites Góes de la NASA <https://weather.msfc.nasa.gov/GOES/>
- [39] [www.ssec.wisc.edu](http://www.ssec.wisc.edu)
- [40] Clima Venezolano (sf). “Clima venezolano. Disponible en <http://duintech.blogspot.com/2011/05/clima-venezolano-via-satelite-y.html> Recuperado el (30/11/2017).
- [41] Christian Buil (2010). Softare Iris v5.59. [www.astrosuf.com/buil](http://www.astrosuf.com/buil)
- [42] S. Cavazzani, S. Ortolani, V. Zitelli and Y. Maruccia (2011). “Fraction of clear skies above astronomical sites: a new analysis from the GOES12 satellite”. MNRAS, 411, 1271. <https://academic.oup.com/mnras/article-abstract/411/2/1271/1278540>
- [43] López Oliver (sf). “Introducción a los Sistemas Fotométricos de Banda Ancha en Astronomía”. Los Teques – Venezuela. <https://olichris.jimdo.com/acceso-a-la-data-del-caab/>
- [44] Editorial Complutense (1999), “Diccionario Oxford Complutense de Astronomía” primera edición española, (Pag 748). Madrid: España. Ian Ridpath.
- [45] D. André Erasmus, Ruby van Rooyen (2006). “A Satellite Survey of Cloud Cover and Water Vapour in Morocco and Southern Spain and a Verification Using La Palma Ground-based Observations”. European Southern Observatory. Reporte Final. 2006.
- [46] Ediciones Larousse (1987). “Gran diccionario de las ciencias en color”. Tomo 4 (Pag 644). Barcelona – España.
- [47] Sky Charts 2.7. Patrick Chavalley Noviembre 2001 <http://www.astrosurf.com/astrope>
- [48] Ediciones Larousse (1987). “Gran diccionario de las ciencias en color”. Tomo 5 (Pag 928). Barcelona – España.
- [49] Lopez Oliver & Rivas Janeth (en preparacion). “Estudio de la Calidad del Cielo en el Complejo Astronómico Andrés Bello”. Bobare – Venezuela. <https://olichris.jimdo.com/acceso-a-la-data-del-caab/>
- [50] Editorial Complutense (1999), “Diccionario Oxford Complutense de Astronomía” primera edición española, (Pag 446). Madrid: España. Ian Ridpath.
- [51] Parravano Antonio & Ferrín Ignacio (1984). “El Sol en 1983”. Revista UNIVERSO, Vol. 4. Nº 16. (Pág. 192-193).
- [52] Ferrín Ignacio (1987). “Trabajo Realizado en 1986”. Revista UNIVERSO, Vol. 7. Nº 24. (Pág. 69-74).
- [53] Ferrín Ignacio & Victor Gabriel Trombotta (1990). “Como Deducir su Índice de Nubosidad”. Revista UNIVERSO, Vol. 10. Nº 31. (Pág. 42).
- [54] Empresas Polar (1993), Atlas El Universal Aguilar. (Pág. 64). Guarenas: – Venezuela: Litho-Mundo, S.A.
- [55] Alan MacRobert (1996). “Derrotando al Seeing” Traducción de Francisco Javier Mandujano Ortiz. Disponible en <http://www.astronomia.sabanalarga.org/sky/seeing.htm> Recuperado el (30/11/2017).
- [56] ESO (2005), Evaluación del sitio para la construcción del telescopio Magallanes. (Capitulo 5). [https://www.gmto.org/Resources/GMT-ID-01466-Chapter\\_5\\_Site\\_Evaluation.pdf](https://www.gmto.org/Resources/GMT-ID-01466-Chapter_5_Site_Evaluation.pdf)
- [57] Imagen adaptada y editada<sup>a,b,d</sup> del mapa de Regiones de interés para la observación astronómica en Colombia identificadas inicialmente en: González, D. “Evaluación de sitios Astronómicos en Colombia”. Tesis de grado en Física, Universidad de Antioquia, 2012.
- [58] González, D. Evaluación de sitios Astronómicos en Colombia. Tesis de grado en Física, Universidad de Antioquia, 2012.
- [59] <http://www.tayabeixo.org/>
- [60] [http://www.tayabeixo.org/alda/alda\\_2013/COAT.pdf](http://www.tayabeixo.org/alda/alda_2013/COAT.pdf)
- [61] Pinzón Giovanni, González Danilo, Ramírez Aura (2016). “Análisis comparativo de seis lugares de interés para la ubicación de instrumentación astronómica en Colombia”. Observatorio Astronómico Nacional, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. <http://www.scielo.org.co/pdf/racefn/v40n154/v40n154a07.pdf>
- [62] Empresas Polar (1993), Atlas El Universal Aguilar. (Pág. 4). Guarenas: – Venezuela: Litho-Mundo, S.A.
- [63] Pedro Salvador (2007-2008). “Técnicas Computacionales”, Curso. <http://iqc.udg.es/~perico/docencia/OTC/ajustes.pdf>
- [64] Enciclopedia Británica Publisher. Inc. (1989 – 1980), tomo II Micropedia (1ra ed.). (Pág. 270). Barcelona: España.
- [65] Ediciones Larousse (1987). “Gran diccionario de las ciencias en color”. Tomo 5 (Pag 829). Barcelona – España.
- [66] Ediciones Larousse (1987). “Gran diccionario de las ciencias en color”. Tomo 4 (Pag 800). Barcelona – España.
- [67] Ibarra Sanches Antonio (1990). “Observatorio Astrofisico de Cananea”. Revista UNIVERSO, Vol. 8. Nº 27. (Pág. 68).
- [68] Editorial Complutense (1999), “Diccionario Oxford Complutense de Astronomía” primera edición española, (Pag 402). Madrid: España. Ian Ridpath.
- [69] Editorial Complutense (1999), “Diccionario Oxford Complutense de Astronomía” primera edición española, (Pag 496). Madrid: España. Ian Ridpath.

## APÉNDICE

[70] Editorial Complutense (1999), “Diccionario Oxford Complutense de Astronomía” primera edición española, (Pag 108). Madrid: España. Ian Ridpath.

[71] EUROPA PRESS (2012). “El Observatorio de Calar Alto alcanza las 2.477 horas de observación en 2012, su mejor registro”. Disponible en [https://www.lainformacion.com/ciencia-y-tecnologia/astronomia/el-observatorio-de-calar-alto-alcanza-las-2-477-horas-de-observacion-en-2012-su-mejor-registro\\_IbHGTUOjzAh47Oirzcp55/](https://www.lainformacion.com/ciencia-y-tecnologia/astronomia/el-observatorio-de-calar-alto-alcanza-las-2-477-horas-de-observacion-en-2012-su-mejor-registro_IbHGTUOjzAh47Oirzcp55/) . Recuperado el (04/12/2017).

[72] Ferrín Ignácio (1990). “Entrevista a Hugo Levato”. Revista UNIVERSO, Vol. 10. Nº 32. (Pág. 76-77).

[73] Ferrín Ignácio (1991). “Observatorio de Córdoba, Argentina”. Revista UNIVERSO, Vol. 11. Nº 35. (Pág. 18-22).

[74] Generador de curvas de la AAVSO, <https://www.aavso.org/>

Recursos usados:

a) Corel PHOTO-PAINT (™) Versión 8.232 1988 – 1997. 1997 Corel Corporation y Corel Corporation Limited. CorelDRAW - Versión 8.0

b) Iris 5.59, Christian Buil.

c) RapiCapWin 1.0.2 de Andrés Carriza

d) Paint, Microsoft 2003.

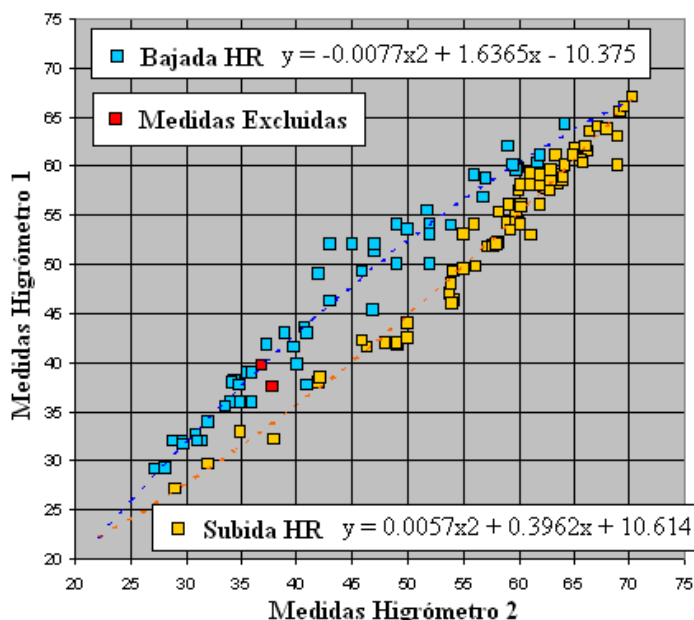
kl) Stellarium 0.10.4, Matthew Gates. Boston, USA.

Google Earth Pro 7.1.2.2041

### Medidas de la HR con 2 Higrómetros

Al poco tiempo se contó con un segundo higrómetro de iguales características, cuyas diferencias en las medidas con respecto al primer higrómetro se determinó midiendo simultáneamente la humedad con ambos a las horas en que se tomaban las medidas y se ajustó en Excel usando un diagrama de dispersión XY. Se encontró que las medidas se hallaban repartidas a lo largo de 2 líneas curvas (Gráfica 44), de lo que se dedujo rápidamente que cuando el segundo higrómetro se mueve hacia altas humedades relativas, la torsión del resorte es diferente a la torsión que se produce cuando se mueva hacia las bajas humedades, esto produce diferenciales distintos con respecto a las medidas del primer higrómetro. Entonces se separaron las medidas donde la

Gráfica 44



HR iba en ascenso (17 a 8 HLV), de las que iban en descenso (8 a 17 HLV), y se generó una ecuación de ajuste para cada grupo (gráfica 44), pueden ser aplicadas usando el algoritmo Eq 27-28:

=SI(HLV >= 8, SI(Medida Anterior <= Medida Actual, 0.0057\*T1662^2 + 0.3962\*T1662 + 10.614, -0.0077\*T1662^2 + 1.6365\*T1662 - 10.375), SI(Medida Anterior < Medida Actual, 0.0057\*T1662^2 + 0.3962\*T1662 + 10.614, -0.0077\*T1662^2 + 1.6365\*T1662 - 10.375))) Eq 27

=SI(Medida Anterior <= Medida Actual, SI(HLV >= 8, Eq Bajada, SI(HLV <= 17, Eq Subida, "")), SI(Medida Anterior > Medida Actual, Eq Subida, Eq Bajada)) Eq 28

Con estas se pueden combinar las medidas tomadas con ambos higrómetros siendo la incertidumbre en la conversión +/- 1.7°.