



Proyecto de Investigación

Título: "Medición del Brillo del Cielo en La Palma"

Autor: Javier Méndez

Versión: 1.0 (Marzo 2013)

Breve descripción:

Se pretende medir el brillo del cielo de manera directa y exhaustiva en varios lugares de la isla de La Palma con el objetivo de realizar un catálogo de lugares óptimos para la observación del cielo.

Objetivos:

- 1) La obtención y posterior análisis de datos del brillo del cielo a ojo desnudo o con aparatos de medida.
- 2) La participación en un proyecto de investigación real a escala nacional e internacional.
- 3) La elaboración de una memoria final que contenga un catálogo de lugares oscuros para la observación astronómica a simple vista o con equipo amateur en La Palma.

Competencias:

- 1) Competencia en el conocimiento e interacción con el mundo físico y natural entendida como la habilidad para interactuar con el mundo físico, tanto en sus aspectos naturales como en los generados por la acción humana, de tal modo que se posibilita la comprensión de sucesos, la predicción de consecuencias y la actividad dirigida a la mejora y preservación de las condiciones de vida propia, de las demás personas y del resto de los seres vivos.
- 2) Competencia digital y tratamiento de la información consistente en disponer de habilidades para buscar, obtener, procesar y comunicar información, y para transformarla en conocimiento. Incorpora diferentes habilidades, que van desde el acceso a la información hasta su transmisión en distintos soportes una vez tratada, incluyendo la utilización de las tecnologías de la información y la comunicación como elemento esencial para informarse, aprender y comunicarse. Está asociada con la búsqueda, selección, registro y tratamiento o análisis de la información, utilizando técnicas y estrategias diversas para acceder a ella según la fuente a la que se acuda y el soporte que se utilice (oral, impreso, audiovisual, digital o multimedia).

Participantes:

- Pueden participar grupos de alumnos y profesores de varios colegios en La Palma que tengan medios para desplazarse a los lugares de medida por la noche.
- Un astrónomo actuando como supervisor.

Recursos:

- Fotómetro para la medida del brillo del cielo modelo SQM-L. El programa “Nuestros Alumnos” puede ceder el uso de uno de estos fotómetros por el tiempo que el centro esté realizando las medidas.
- Trípode adaptado para posicionar en azimut y altura.
- Brújula con precisión de grados, por ejemplo, la que traen algunos teléfonos móviles.
- GPS.
- Cámara de fotos con capacidad para realizar fotos nocturnas.



Fotómetro SMQ-L montado sobre un trípode junto con un iPhone que posee brújula digital. La brújula permite la calibración en azimut. La altura sobre el horizonte puede determinarse con una plomada y un círculo previamente graduado.

Plan de trabajo:

Seleccionar una serie de sitios idóneos para la observación en la isla de La Palma. Algunos de estos sitios pueden encontrarse señalados en este mapa interactivo:

<http://starisland.co.uk/es/articles/astronomical-viewpoints/>

Realizar una serie de conjeturas sobre cuáles deben ser los lugares más oscuros de los seleccionados. Desplazarse a todos los lugares de la muestra cuando haya buen tiempo y el cielo esté completamente despejado. Es importante anotar la hora de las mediciones porque en La Palma el alumbrado público disminuye su intensidad a partir de las 12 de la noche.

Hay que seguir el protocolo de mediciones para el proyecto NixNox (ver siguientes páginas). Al final de este documento se encuentra un reporte real de datos obtenidos desde el Roque de los Muchachos.

Básicamente los estudiantes deben registrar las magnitudes por segundo arco al cuadrado cada 20 grados de azimut y 10 de altura, hasta 10 grados de elevación utilizando un fotómetro SQL, un trípode y una brújula. Los datos deben ser remitidos también al astrónomo supervisor.

Productos finales:

- Reportes NixNox.
- Una memoria de las actividades.
- El catálogo de lugares analizados.
- Una defensa oral donde se justifique los mejores lugares para la observación nocturna.
Comprobar si corresponde con los lugares previamente seleccionados.



Proyecto NixNox



Sociedad Española de Astronomía



Universidad Complutense
de Madrid

PROYECTO NIXNOX: INFORMACIÓN ADICIONAL NECESARIA DE LOS LUGARES DE OBSERVACIÓN

Datos para completar una ficha para cada ubicación seleccionada que sirva de información para los potenciales observadores.

Información general del lugar de observación:

- Denominación y coordenadas del lugar (Latitud, Longitud, Altitud).
- Descripción y Accesos.
- Alojamiento (camping, zonas de acampada, casas rurales, hoteles, etc).
- Infraestructura (corriente eléctrica, columnas para telescopios, observatorios, estación meteorológica, refugio, etc)
- Fotos diurnas del lugar. Se recomienda colgarlas en la web Panoramio.
- Estación meteorológica y webcam más cercanas accesibles a través de internet

Información cualitativa relacionada con la Contaminación Lumínica:

- Distancia a núcleos urbanos. Población de los mismos.
- Diagrama de fondo de cielo a diversas alturas.
- Panorama nocturno cubriendo todo el horizonte. Para que los panoramas sean comparables, se realizarán con cámaras digitales reflex (SLR) con ajustes: 1600 ISO, objetivo de entre 18 y 28 mm a f/3.5 y 30s de exposición. Se debe ajustar bien la hora de la cámara en TU y apuntar para registrar 1/3 de tierra y 2/3 de cielo despejado.
- Distancia y posición de las fuentes de luz difusa más importantes (canteras, estaciones de servicio, polígonos industriales, etc).
- Imagen nocturna de todo el cielo mediante DSLR y ojo de pez si se dispone del equipo.

Información cuantitativa de la Contaminación Lumínica:

Complemento de las medidas con SQM de acuerdo con el protocolo descrito.

- Escala de Bortle: Medida de brillo de fondo de cielo a partir de la visibilidad de determinados objetos.
- Medidas de Magnitud Aparente Límite Estelar: sistema estándar de calibración visual. Es muy necesario para poder estandarizar otros programas basados en medidas visuales como Globe at Night o IACO.

La transferencia de información (imágenes, documentación etc) se realizará mediante un ftp que pondremos a disposición de los colaboradores. Se elaborará un formato de ficha para llenar. Estamos abiertos sugerencias.

Para cualquier duda o consulta, puede escribir a:

Jaime Zamorano

jzamorano@fis.ucm.es

Alejandro Sánchez de Miguel

alejandrosanchezmiguel@fis.ucm.es



Proyecto NixNox



Sociedad Española de Astronomía



Universidad Complutense
de Madrid

PROYECTO NIXNOX: INSTRUCCIONES PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS CON SQM

- Las observaciones se realizarán sin Luna sobre el horizonte.
- La noche tiene que ser despejada, sin nubes. Las nubes altas o cirros aumentan el brillo de fondo de cielo en los sitios con contaminación lumínica.
- Las medidas comenzarán cuando el cielo esté oscuro. Para estar seguros es mejor esperar dos horas después la puesta de Sol.
- Antes de tomar medidas se debe asegurar que el SQM se ha termalizado para que funcione correctamente. Para ello, se debe sacar de su envoltorio y dejar sobre cualquier superficie un rato. Luego se toman una serie de medidas (que no hace falta anotar) para comprobar que la temperatura que marca el fotómetro es la del ambiente y está estabilizada.
- La orientación correcta del fotómetro es extremadamente importante y el uso de un trípode fotográfico es fundamental. El fotómetro SQM debe estar en posición vertical apuntando al cenit, se puede comprobar con un nivel por ejemplo.
- Hay que asegurarse de que no haya elementos que interfieran en el campo del fotómetro como una casa, un árbol, farolas o la misma persona que lo maneja. Es conveniente que el trípode esté alto, con el SQM por encima de nuestra cabeza.
- Compruebe que la superficie de la ventana está limpia. Preste atención a la condensación de vapor de agua sobre la ventana. Maneje con cuidado los SQM ya que cualquier imperfecto que se ocasione en la ventana afectará a sus medidas.
- La manipulación debe ser de lo más cuidadosa, pues al apretar el botón para una medida podemos mover el fotómetro.
- Se registrarán las coordenadas geográficas del lugar con ayuda de un GPS. Puede comprobarse más tarde con Google Maps o similar.
- Para determinar la precisión de los valores obtenidos se deben realizar y anotar al menos 10 medidas consecutivas.
- Se registrará la hora de inicio y de finalización de la serie de medidas en tiempo universal (TU).
- Además de la medida en el céntit se requieren medidas en todo el cielo apuntando a 12 acimutes desde el Sur (S->W->N->E->S) espaciados 30 grados y en las alturas de 20-40-60-80 grados.

Le agradecemos muchísimo su colaboración.

Para cualquier duda o consulta, puede escribir a:

Jaime Zamorano:

jzamorano@fis.ucm.es

Roque Ruiz Carmona:

roque.ruizc@gmail.com



Thank you for purchasing a Sky Quality Meter (SQM-L) from Unihedron!

Features

The SQM-L has the following features:

- ◆ It is sensitive only to visual light (there is a near-infrared blocking filter in front of the sensor).
- ◆ The effects of temperature on the "dark frequency" of the sensor are removed.
- ◆ The effects of temperature on the microcontroller oscillator are removed.
- ◆ It is protected against accidental reversal of battery polarity.
- ◆ Each SQM-L is calibrated using a NIST-traceable light meter. The absolute precision of each meter is believed to be $\pm 10\%$ (± 0.10 mag/arcsec 2). The difference in zeropoint between each calibrated SQM-L is typically $\pm 10\%$ (± 0.10 mag/sq arcsec)
- ◆ The brightness of the numeric LED

display has two (automatic) settings. Under dark skies, you won't have your dark adaption ruined by use of your SQM-L! Under urban skies, the display will be correspondingly brighter.

- ◆ A repeating audible beep indicates when a measurement is in progress.
- ◆ Any kind of 9V battery is usable. The SQM-L contains a voltage regulator to power the sensor, microcontroller and other components.
- ◆ After reading is taken and displayed, the meter automatically turns itself off.
- ◆ The Half Width Half Maximum (HWHM) of the angular sensitivity is $\sim 10^\circ$. The Full Width Half Maximum (FWHM) is then $\sim 20^\circ$. The sensitivity to a point source $\sim 19^\circ$ off-axis is a factor of 10 lower than on-axis. A point source $\sim 20^\circ$ and $\sim 40^\circ$ off-axis would register 3.0 and 5.0 magnitudes fainter, respectively.

* * *

Quick Start

The SQM-L is very simple to use. Point the lens towards the zenith. Press the Start button once and release. Under urban skies, a reading will be displayed almost immediately. Under the very darkest conditions (no moon in the sky, far from civilization) the meter may take up to a minute to complete its measurement. Please ensure that you maintain the orientation of the meter until the reading is displayed.

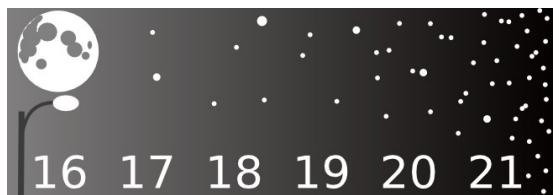
The SQM-L's reading is indicative of the sky brightness within its field of view. There must be no direct illumination or shading of the sensor by a terrestrial light source if the reading is to be meaningful.

* * *

Typical Readings

Magnitudes per square arcsecond is a logarithmic measurement. Therefore large changes in sky brightness correspond to relatively small numerical changes. A difference of 1 magnitude is defined to be a factor of $(100)^{(1/5)}$ in received photons. Therefore a sky brightness 5.0 mag/arcsec 2 fainter corresponds to a reduction in photon arrival rate of a factor of 100.

The following schematic gives a rough idea of how to interpret the readings:



At the darkest sites, natural variations in conditions such as airglow and the brightness of the zodiacal light are limiting factors.

* * *

Temperature reading

The temperature in °C then °F are displayed when you press and hold the button a second time. Also, the model and serial number are displayed after the temperature.

* * *

Care of your SQM-L

The SQM-L is a fairly simple and robust device. Avoid dropping, immersing, and compressing it and it will give you years of dependable service. Keep the faceplate clean and ensure that the battery still has useful capacity. If you have left your SQM-L for a long period of time (i.e. years) and see a white, powdery substance around one of the battery contacts, your battery will need to be replaced and the contacts cleaned before you can expect reliable operation.

The SQM-L should not be negatively affected by dew during normal operation EXCEPT for the reduction in received light by the sensor. Make sure that the sensor faceplate has been wiped before making measurements.

During storage, make sure that the push-button is not being continuously pressed since the meter will draw current from the battery and drain it in that situation.

Do not point the meter at the Sun.

* * *

Troubleshooting

After I push the button, no reading is displayed.

Are you in a very dark location?

Yes → The Sky Quality Meter may take up to a minute to acquire a reading when the sky is very dark. If your meter is operating properly, you will here a soft beeping sound while the measurement is in progress. When complete, the sky brightness will be displayed for a fixed number of seconds.

No → Your 9V battery may need to be replaced.

OR

The connector to your 9V battery may be loose.

If, after you have checked for both of these possibilities and your SQM-L still won't display a reading under normal operating conditions, contact Unihedron for further information and a possible replacement.

I don't know how to make sure the SQM-L is off.

The SQM-L functions in such a way that it is only temporarily on and turns itself off automatically. This is a design feature to maximize battery life.

The readings don't repeat exactly.

Are you pointing the SQM-L in the same direction each time? Under dark conditions, you must keep the SQM-L pointed in the same direction until the reading appears on the LED display.

Your SQM-L must be pointed at an angle sufficiently high above the horizon that it will not detect light directly from terrestrial sources (cars, buildings, streetlights). It is normally the zenith sky brightness which is measured.

The readings do not change when pointing to various parts of the night sky.

Each SQM-L reading must be initiated by pressing the button. The displayed reading will stay on for 10 seconds before shutting down. After the unit has shut down, press the button to initiate another reading.

The readings are numerically lower (brighter) than expected.

Make sure that no stray light from street lights or other sources directly illuminates the lens/sensor.

The readings are numerically higher (darker) than expected.

Make sure that nothing shades the field of view of the lens/sensor (such as a tall stand of trees or the side of a building).

Unanswered Questions

Help us to inform you and other customers better by forwarding unanswered questions about the SQM-L and measuring light pollution to:

info@unihedron.com

Further Information

Check the Unihedron.com website for updates and additional information.

Mailing List

Join the SQM mailing list for notifications and to share experiences with other users by sending an e-mail to:

sqm-subscribe@unihedron.com

* * *

Contact Information

Unihedron
4 Lawrence Ave
Grimsby, ON L3M 2L9
Canada
Tel: (905) 945-1197

* * *

Unihedron is a proud member of the International Dark-Sky Association (www.ida.org) and supports its goals. Please consider joining to help preserve the beauty of the night sky for future generations.

* * *

Warranty

Unihedron warrants this product 1 year.

* * *

Other scales

To convert the SQM-L mag/arcsec² reading to cd/m², use the following formula:

$$[cd/m^2] = 10.8 \times 10^4 \times 10^{(-0.4 \times [mag/arcsec^2])}$$

Proyecto NIXNOX – Reporte 18.07.2012 (Roque de los Muchachos)

Lugar: Observatorio del Roque de Los Muchachos, La Palma, Canarias

Fecha: 18/07/2012

Observadores:

Fabricio M. Pérez Toledo (IES Cándido Marante, Los Sauces)

Javier Méndez (Grupo de Telescopios Isaac Newton, email: jma@ing.iac.es)

INFORMACIÓN GENERAL DEL LUGAR DE OBSERVACIÓN

Denominación: Aparcamiento del Roque de los Muchachos.

Coordinadas: 28:45:16.07 N 17:53:06.7 O; altitud: 2423m.

Descripción y accesos: el acceso es restringido. Por la noche no puede pasar ninguna persona ajena al Observatorio del Roque de los Muchachos, incluido el aparcamiento donde se realizaron estas observaciones.

El acceso principal al Roque de los Muchachos se lleva acabo por la carretera LP-1 en dirección San Andrés y Sauces. A la altura del barrio de Mirca se toma el cruce que nos incorpora a la LP-4. Luego, hay que tomar el cruce que nos dirige al observatorio. Una vez en el Roque de los Muchachos hay que tomar el cruce que nos dirige hacia las instalaciones del observatorio y seguir por la carretera hasta llegar al Roque de los Muchachos.

Es la zona más elevada de la isla de la Palma. El lugar no es recomendable para la observación porque al estar en una altura considerable y la constante actividad del viento, no permite disfrutar de la observación.

Infraestructura: las instalaciones próximas al lugar pertenecen al Observatorio del Roque de los Muchachos. En el aparcamiento no se dispone de nada que sea de utilidad para el astrónomo amateur.

Fotos diurnas del lugar:

ftp://ftp.ing.iac.es/jma/nixnox/panoramica_diurna

Estación meteorológica y webcams más cercanas:

<http://www.not.iac.es/weather/index.php>

<http://tngweb.tng.iac.es/weather/>

Webcams próximas al aparcamiento:

<http://www.meteosurfcanarias.com/es/001369-webcam-tiempo-en-directo-interior-la-palma-roque-de-los-muchachos.php>

<http://www.not.iac.es/weather/webcam.php>

<http://www.not.iac.es/weather/skycam.php>

<http://www.tng.iac.es/webcam/>

INFORMACIÓN CUALITATIVA RELACIONADA CON LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

Distancia a núcleos urbanos:

Santa Cruz de la Palma. Distancia: 13.96 km Nº de habitantes: 16.924. Hacia este-suroeste.

El valle de Los Llanos de Aridane. Distancia: 10.9 km. Nº de habitantes: 21.145. Hacia sur- suroeste.

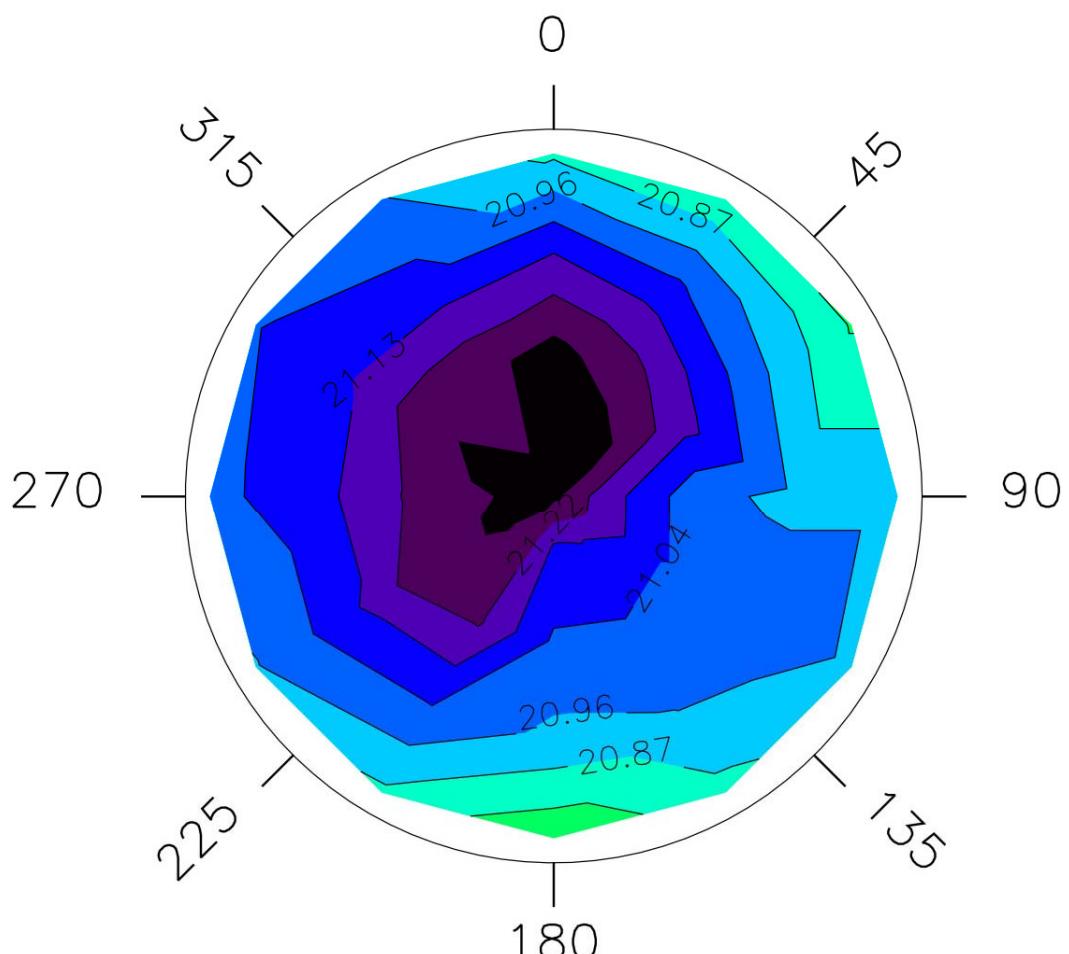
San Andrés y Sauces junto a Barlovento. Distancia a los Sauces: 12 km; a Barlovento: 11.4 km
Nº de habitantes: 7.091. Hacia noroeste-oeste.

Puntagorda. Distancia: 9 km. Nº de habitantes: 2.028. Hacia noroeste.

Diagrama de fondo de cielo a diversas alturas:

ORM Sky Brightness 20120718

MALE: 5.7, Bortle: 3.5



Circle at 75 deg zenith distance

Minimum: 21.4000 mag/arcsec²

Maximum: 20.7100 mag/arcsec²

Panorama nocturno cubriendo todo el horizonte:
ftp://ftp.ing.iac.es/jma/nixnox/panoramica_nocturna

Distancia y posición de las fuentes de luz difusa más importantes: ninguna

Imagen nocturna de todo el cielo: no disponible. Existe una cámara de ojo de pez que ofrece imágenes continuamente, a unos 500 metros en línea recta:

<http://www.gtc.iac.es/pages/multimedia/webcams-en-el-orm.php>

En la siguiente página se ofrece una comparación entre una foto all-sky obtenida por Tunc Tezel (<http://www.twanight.org/newTWAN/photos.asp?ID=3003238&Sort=Site>) el 3 de mayo de 2011 desde el Roque de los Muchachos y los datos de este informe. La orientación de la foto all-sky no es exactamente la misma que la de la gráfica.

INFORMACIÓN CUANTITATIVA DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA

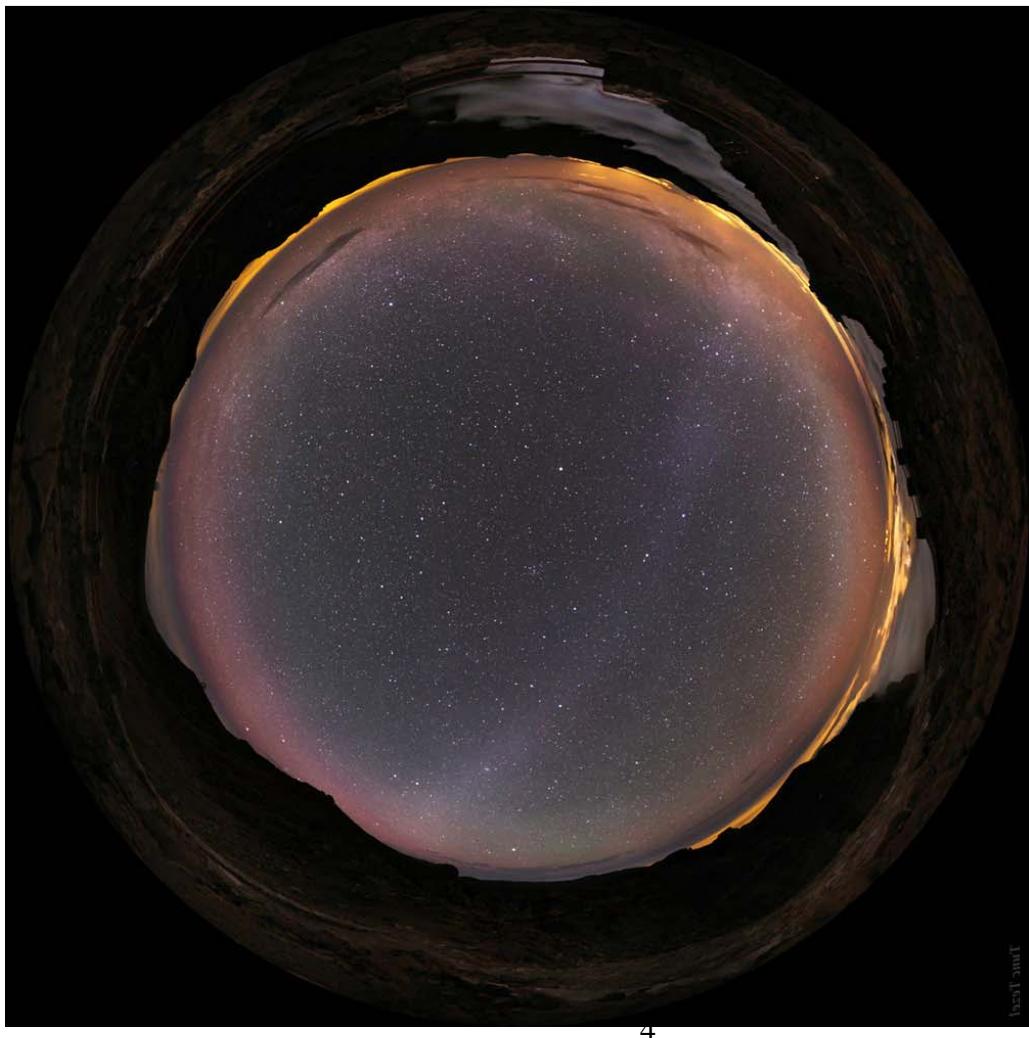
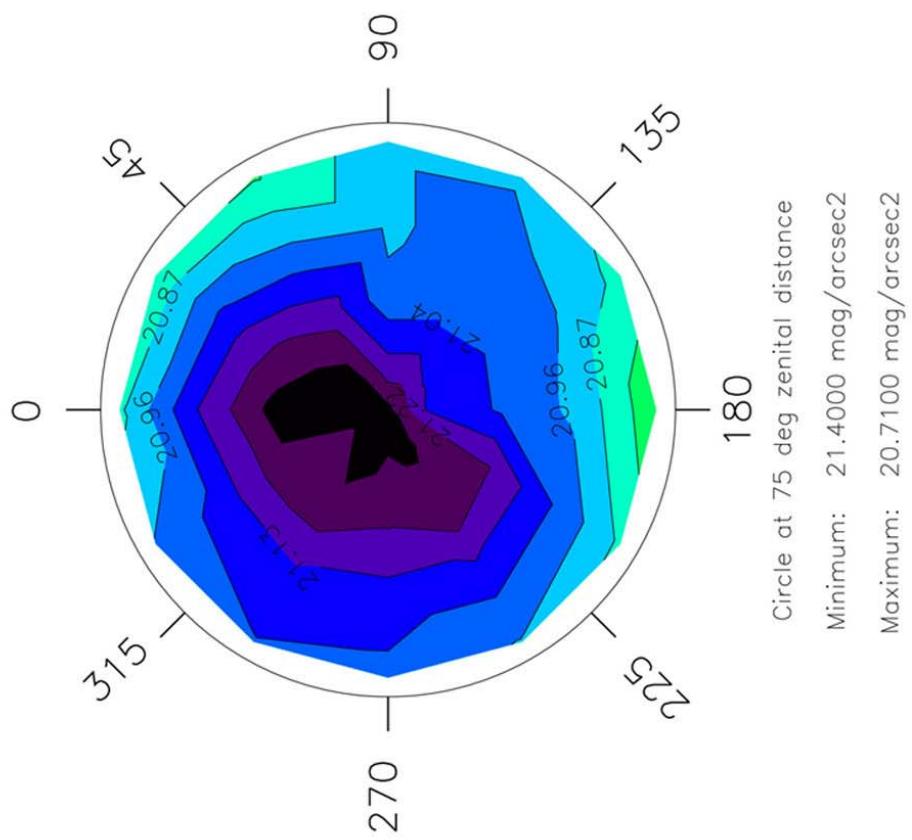
Noche sin luna y sin nubes pero con gran cantidad de polvo en suspensión. Una noche mala para los estándares del observatorio del Roque de los Muchachos.

Escala de Bortle: hemos estimado un valor entre 3 y 4.

Medidas de Magnitud de Aparente Límite Estelar: nos ha dado un valor en torno a 5.69.

ORM Sky Brightness 20120718

MALE: 5.7, Bortle: 3.5



Roque de los Muchachos 2012/07/12

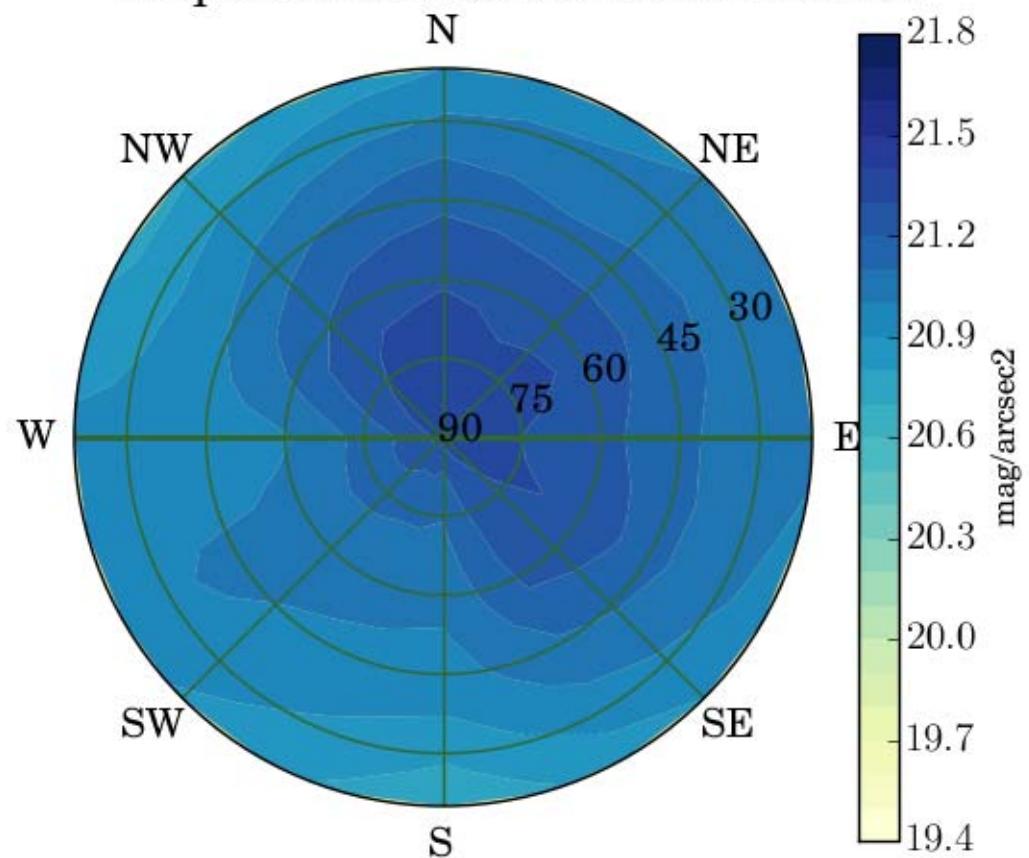


Gráfico proporcionado por el proyecto NixNox. Nótese que ellos toman azimut 90 grados para el Oeste.

Código IDL utilizado para generar la gráfica

```
; IDL> .run ./polar.pro
; IDL> polar

FUNCTION ASPECT, aspectRatio, MARGIN=margin, WindowAspect=wAspectRatio
ON_ERROR, 1

    ; Check for aspect ratio parameter and possibilities.

IF N_PARAMS() EQ 0 THEN aspectRatio = 1.0

IF aspectRatio EQ 0 THEN BEGIN
    MESSAGE, 'Aspect Ratio of 0. Changing to 1...', /Informational
    aspectRatio = 1.0
ENDIF

s = SIZE(aspectRatio)
IF (s(s(0)+1) NE 4) AND (s(s(0)+1) NE 5) THEN $
    MESSAGE, 'Aspect Ratio is not a FLOAT or DOUBLE. Take care...', /Informational

; Check for margins.

IF N_ELEMENTS(margin) EQ 0 THEN margin = 0.15

; Error checking.

IF margin LT 0 OR margin GE 0.5 THEN $
    MESSAGE, 'The MARGIN keyword value must be between 0.0 and 0.5.'

; Calculate the aspect ratio of the current window.

IF N_Elements(wAspectRatio) EQ 0 THEN wAspectRatio = FLOAT(!D.Y_VSIZE) /
!D.X_VSIZE

; Calculate normalized positions in window.

IF (aspectRatio LE wAspectRatio) THEN BEGIN
    xstart = margin
    ystart = 0.5 - (0.5 - margin) * (aspectRatio / wAspectRatio)
    xend = 1.0 - margin
    yend = 0.5 + (0.5 - margin) * (aspectRatio / wAspectRatio)
ENDIF ELSE BEGIN
    xstart = 0.5 - (0.5 - margin) * (wAspectRatio / aspectRatio)
    ystart = margin
    xend = 0.5 + (0.5 - margin) * (wAspectRatio / aspectRatio)
    yend = 1.0 - margin
ENDIF ELSE
ENDELSE

position = [xstart, ystart, xend, yend]

RETURN, position
END
```



```

bottom=1

c_colors=indgen(ncolors)+bottom

; c_colors=[1,2]

; loadct, 0, /Silent

loadct, 13

; annotation=nlevels+2

annotation=1
background=nlevels+3
foreground=nlevels+4

; TVLCT, 70, 70, 70, annotation
; TVLCT, 255, 255, 224, background
; TVLCT, 0, 5, 5, foreground

contourcolors=Indgen(nlevels)+1

step=(Max(z)-Min(z))/nlevels
levels=Min(z)+Indgen(nlevels)*step

; TVLCT, [100,255,0],[100,255,255],[100,0,0],1

; print, nlevels, c_colors

; Plot, r, theta, /Polar, xstyle=5, ystyle=5, /NoData, background=100000

RED=[0,1,1,0,0,1]
GREEN=[0,1,0,1,0,1]
BLUE=[0,1,0,0,1,0]

;TVLCT,255*RED, 255*GREEN, 255*BLUE

SET_PLOT, 'PS'
DEVICE, FILE='orm.ps', /COLOR, BITS=8

; polar_contour, z, theta, r,
Levels=levels,Position=Aspect(1.0),BACKGROUND=1,xstyle=4,ystyle=4,/FILL,c_color=[255,200,175,150,125,75,45,1]

; polar_contour, z, theta, r,
nLevels=nlevels,Position=Aspect(1.0),BACKGROUND=1,xstyle=4,ystyle=4,/FILL,c_color=[140,120,100,80,60,40,20,1]
; polar_contour, z, theta, r, /overplot, color=0, NLEVELS=nlevels,c_labels=c_labels,xstyle=4,ystyle=4
; polar_contour, z, theta, r, /overplot, /nodata, color=annotation,TITLE='Sky Brightness'

```

```

; Axis, /XAxis, 0, 0, Color=2
; Axis, /YAxis, 0, 0, Color=2

circulo=Circle(0,0,75)

PlotS, circulo, color=2

XYOutS, 0.0*Max(r), -1.5*Max(r), 'Circle at 75 deg zenithal distance',
CharSize = 0.8, $
Color=annotation, Alignment=0.5, CharThick=1

XYOutS, -0.2*Max(r), -1.7*Max(r), MAX(z), CharSize = 0.8, $
Color=annotation, Alignment=0.5, CharThick=1

XYOutS, 0.5*Max(r), -1.7*Max(r), 'mag/arcsec2', CharSize = 0.8, $
Color=annotation, Alignment=0.5, CharThick=1

XYOutS, -0.6*Max(r), -1.7*Max(r), 'Minimum:', CharSize = 0.8, $
Color=annotation, Alignment=0.5, CharThick=1

XYOutS, -0.6*Max(r), -1.9*Max(r), 'Maximum:', CharSize = 0.8, $
Color=annotation, Alignment=0.5, CharThick=1

XYOutS, -0.2*Max(r), -1.9*Max(r), MIN(z), CharSize = 0.8, $
Color=annotation, Alignment=0.5, CharThick=1

XYOutS, 0.5*Max(r), -1.9*Max(r), 'mag/arcsec2', CharSize = 0.8, $
Color=annotation, Alignment=0.5, CharThick=1

XYOutS, 0.0*Max(r), 1.7*Max(r), 'ORM Sky Brightness 20120718', CharSize =
1.5, $
Color=annotation, Alignment=0.5, CharThick=2

XYOutS, 0.0*Max(r), 1.5*Max(r), 'MALE: 5.7, Bortle: 3.5', CharSize = 0.8,
$ 
Color=annotation, Alignment=0.5, CharThick=1

; Draw tick marks on the circle.

; Label the plot.

XYOutS, 1.3*Max(r), -0.03*Max(r), '90', CharSize = 1.25, $
Color=annotation, Alignment=0.0, CharThick=2

XYOutS, 0.9*Max(r), 0.88*Max(r), '45', CharSize = 1.25, $
Color=annotation, Alignment=0.0, CharThick=2, Orientation=45

XYOutS, 0.0*Max(r), 1.3*Max(r), '0', CharSize = 1.25, $
Color=annotation, Alignment=0.5, CharThick=2

XYOutS, -0.9*Max(r), 0.88*Max(r), '315', CharSize = 1.25, $
Color=annotation, Alignment=1.0, CharThick=2, Orientation=-45

XYOutS, -1.3*Max(r), -0.03*Max(r), '270', CharSize = 1.25, $

```

```

Color=annotation, Alignment=1.0, CharThick=2
XYOutS, -0.9*Max(r), -0.93*Max(r), '225', CharSize = 1.25, $
Color=annotation, Alignment=1.0, CharThick=2, Orientation=45

XYOutS, 0.0*Max(r), -1.35*Max(r), '180', CharSize = 1.25, $
Color=annotation, Alignment=0.5, CharThick=2

XYOutS, 0.89*Max(r), -0.91*Max(r), '135', CharSize = 1.25, $
Color=annotation, Alignment=0.0, CharThick=2, Orientation=-45

FOR j=0, 315, 45 DO BEGIN
degrees = j * !DtoR
PLOTS, [1.07*Max(r)*cos(degrees), 1.2*Max(r)*cos(degrees)], $
[1.07*Max(r)*sin(degrees), 1.2*Max(r)*sin(degrees)], $
Color=annotation, Thick=2
ENDFOR

DEVICE, /CLOSE

; polar_contour, z, theta, r, /FILL, c_color=[2,3,4,5]
; device,/close
; set_plot,'x
; cleanplot
end

```

Archivo de datos:

```
; 0   10   30   50   70
21.33 21.40 21.34 21.13 20.85 ; 0
21.33 21.38 21.26 21.06 20.80 ; 30
21.33 21.29 21.17 20.96 20.77 ; 60
21.33 21.18 20.98 20.93 20.93 ; 90
21.33 21.19 21.02 21.02 20.94 ; 120
21.33 21.14 21.04 20.96 20.84 ; 150
21.33 21.13 21.03 20.93 20.71 ; 180
21.33 21.27 21.23 21.04 20.85 ; 210
21.33 21.32 21.29 21.09 20.95 ; 240
21.33 21.32 21.23 21.09 21.02 ; 270
21.33 21.36 21.28 21.11 21.04 ; 300
21.33 21.31 21.29 21.08 20.96 ; 330
```