

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE QUITO**

**CARRERA:**

**INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

**INGENIERA AMBIENTAL**

**TEMA:**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE RADIACIÓN SOLAR VS. ACTIVIDAD  
SOLAR EN QUITO Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD EN EL  
PERÍODO 2007 – 2016**

**AUTORA:**

**KATHERINE PAMELA FRANCO PALLO**

**DIRECTORA:**

**SHEILA SERRANO VINCENTI**

**Quito, enero de 2017**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo Katherine Pamela Franco Pallo, con documento de identificación N° 1722381850, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: “Análisis comparativo de Radiación Solar Vs. Actividad Solar en Quito y sus efectos sobre la salud en el período 2007 – 2016”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Katherine Pamela Franco Pallo  
Cédula: 1722381850  
Fecha: Quito, enero de 2017

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTORA**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, “Análisis comparativo de Radiación Solar Vs. Actividad Solar en Quito y sus efectos sobre la salud en el período 2007 – 2016” realizado por Katherine Pamela Franco Pallo, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, enero de 2017



Sheila Serrano Vincenti  
CI. 1710267574

## **DEDICATORIA**

A mis padres, hermana y amada hija.

## **AGRADECIMIENTO**

La autora agradece a la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, por los datos e información proporcionada para la realización de esta investigación mediante la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ).

Asimismo, un agradecimiento al Físico Nicolás Vásquez docente de la Escuela Politécnica Nacional, por su colaboración, en la proporción de datos y guía en la realización de la investigación. Un sincero agradecimiento a la directora de este proyecto de investigación, Sheila Serrano Vincenti, por su apoyo, guía y dedicación en el desarrollo de la investigación.

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS.....	3
2.1	Objetivo General.....	3
2.2	Objetivos Específicos.....	3
3.	MARCO TEÓRICO.....	4
3.1	Actividad solar.....	4
3.2	Manchas solares.....	4
3.3	Tormentas solares.....	5
3.4	Magnetósfera Terrestre.....	5
3.5	Ciclo solar.....	6
3.6	Solsticios y Equinoccios.....	8
3.7	Radiación ultravioleta.....	9
3.8	Factores que inciden en la radiación UV.....	10
3.9	Radiación solar.....	12
3.10	Radiación solar extraterrestre.....	13
3.11	Constante solar.....	13
3.12	Componentes de la radiación solar terrestre.....	14
3.13	Índice UV.....	15
3.14	Efectos sobre la salud.....	16
3.15	Enfermedades provocadas por sobreexposición a la radiación solar.....	18

3.15.1	Afectaciones a la piel.....	18
3.15.2	Fotosensibilización. ....	18
3.15.3	Cánceres de Piel no Melánicos.....	18
3.15.4	Melanoma maligno.....	20
3.15.5	Efectos sobre los ojos.....	21
3.16	Radiación solar en Quito.....	22
4.	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>23</b>
4.1	Instrumentos de medición en Tierra.....	23
4.2	Datos satélites de destellos solares.....	24
4.3	Estaciones meteorológicas de Quito utilizadas en el estudio.....	26
4.4	Determinación de radiación solar máxima.....	30
4.5	Análisis del ciclo solar / actividad solar.....	30
4.6	Determinación de destellos solares.....	31
4.7	Determinación de datos de incidencia de cáncer en la piel y afecciones oculares relacionadas con la exposición a la radiación solar excesiva, de la base de datos de INEC. ....	32
5.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>	<b>33</b>
5.1	Promedio de radiación solar máxima diaria.....	33
5.2	Valores máximos promedios de radiación solar mensual.....	39
5.2.1	Comportamiento cíclico mensual.....	39
5.2.2	Radiación solar máxima mensual 2007-2016.....	40
5.3	Radiación solar máxima anual 2007-2016.....	41

5.4	Radiación solar en tierra vs. Ciclo solar .....	43
5.5	Radiación solar en tierra vs destellos solares.....	45
5.6	Ciclo solar vs destellos solares .....	48
5.7	Incidencia de cáncer en la piel y afecciones oculares relacionadas con la exposición a la radiación solar excesiva. ....	49
6.	CONCLUSIONES.....	52
7.	RECOMENDACIONES .....	54
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: La magnetósfera de la Tierra y Tormentas solares desviadas hacia el espacio.....	5
Figura 2: El ciclo solar determinado desde el año de 1750 al 2008, éste se observa en el número promedio por mes de manchas solares. Entre mínimo y mínimo de este número hay aproximadamente 11 años.....	6
Figura 3: Ciclo solar 22, 23, 24 número de manchas solares y su predicción .....	7
Figura 4: Imágenes de la primera mancha solar del ciclo solar número 24, obtenidas por el Observatorio Solar y Heliosférico (Solar and Heliospheric Observatory o SOHO).....	7
Figura 5: Solsticio y Equinoccio y sus diferentes ángulos en los que llega el sol a la Tierra.....	9
Figura 6: Tipos de radiación UV y su penetración en la atmósfera. ....	10



Figura 7: Factores que inciden en la radiación UV mostrando los componentes de la radiación solar terrestre .....	11
Figura 8: Energía y longitud de onda radiada por el Sol y la Tierra.....	12
Figura 9: Componentes de la radiación solar receptada.....	14
Figura 10: Categoría de exposición a la radiación UV .....	15
Figura 11: Penetración en la piel humana según el tipo de radiación UV .....	17
Figura 12: carcinoma de células basales y escamosas .....	19
Figura 13: Tendencia de la incidencia de afectaciones en la piel no melánicas por sexo residentes en Quito. Desde el año 1986-2010.....	19
Figura 14: Melanoma Maligno.....	21
Figura 15: Tendencia de la incidencia de afectaciones en la piel melanoma por sexo residentes en Quito. 1986-2010 .....	20
Figura 16: Piranómetro CMP3 .....	23
Figura 17: Espectro de irradiancia solar en la superficie de la Tierra y respuesta del piranómetro .....	24
Figura 18: representación del satélite Fermi en el espacio .....	25
Figura 19: Ubicación de las estaciones meteorológicas de la REMMAQ, utilizadas en el estudio.....	28
Figura 20: Satélite GOES-N utilizado por la NOAA.....	31
Figura 21: Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima diaria registrada en Quito, desde el 2007 al 2016. Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas...	35
Figura 22: Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima diaria registrada en Quito, desde el 2013 al 2016. Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas...	36

Figura 23: Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima diaria registrada en Quito, desde el 2007 al 2013. Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas ...	37
Figura 24: Promedio de radiación solar máxima mensual registrada en Quito, desde el 2007 al 2016. Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas.....	39
Figura 25: Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima mensual registrada en Quito, desde el 2007 al 2016. Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas. ..	41
Figura 26: Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima anual registrada en Quito, desde el 2007 al 2016. Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas. ..	42
Figura 27: Radiación solar mensual máxima en tierra comparada con el número de manchas solares que determinan el ciclo solar .....	44
Figura 28: Radiación solar anual máxima en tierra comparada con el número de manchas solares que determinan el ciclo solar .....	45
Figura 29: Radiación solar máxima en tierra en $W/m^2$ , y sus desviaciones estándar, comparada con el número de destellos solares (cuentas/segundo) registrados por el satélite Fermi. . Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas, desde el 2008 al 2016.....	47
Figura 30: Número de manchas solares comparadas con Destellos solares máximos mensuales (conteos/segundo), desde 2008-2016.....	48
Figura 31: Número de manchas solares comparadas con el Número de Destellos solares máximos mensuales (conteos/segundo), desde 2008-2016.....	49

Figura 32: Casos de Enfermedades relacionadas a la sobreexposición de radiación solar en la provincia de Pichincha desde el año 2007-2014.....	51
--	----

### ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1:.....	26
Tabla 2:.....	29
Tabla 3: Prueba F para varianzas de dos muestras, de los datos promedio de radiación solar máxima diaria desde a) 2007-2016, b) 2007-2013, c) 2013-2016. ...	38
Tabla 4: Prueba F para varianzas de dos muestras de datos de Promedio de Radiación solar máxima mensual.....	42
Tabla 5: Prueba F para varianzas de dos muestras de datos Promedios de Radiación solar máxima anual .....	43

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue encontrar el comportamiento de los eventos máximos de radiación solar en la ciudad de Quito, la relación con la actividad solar estratosférica y la radiación solar terrestre, incluyendo datos de casos de cáncer en la piel y afecciones oculares relacionadas a la sobreexposición de radiación solar. Usando información disponible de 10 años de datos de radiación solar global proporcionados por la Secretaría de Ambiente, de 6 estaciones meteorológicas. Se analizó el comportamiento de valores máximos diarios y su tendencia a nivel mensual y anual. Los datos de radiación solar se compararon con el número de manchas solares proporcionado por la NOAA, así como con el número de destellos solares tomados del satélite Fermi de la NASA. Los datos de enfermedades asociadas a la sobreexposición de radiación solar fueron proporcionados por el Archivo Nacional de Datos del INEC. Los resultados muestran una tendencia positiva y sostenida de eventos máximos de radiación solar a nivel mensual y anual en todas las estaciones estudiadas. Asimismo, se muestra una correlación con el número de manchas solares y una baja correlación con destellos solares, evidencia que la magnetósfera desvía la mayor parte de la energía de estos, siendo eventos aislados que no necesariamente coinciden con las horas de mayor radiación solar. Por otro lado, se aprecia que las enfermedades oftalmológicas se ven en aumento, no así como enfermedades de piel que muestran un ligero descenso, gracias a las campañas de cuidado de la piel a la sobreexposición solar.

## **ABSTRACT**

The objective of the present investigation was to find the behavior of the maximum events of solar radiation in the city of Quito, the relation with the stratospheric solar activity and the terrestrial solar radiation, including data of cases of cancer in the skin and ocular affections related to the overexposure of solar radiation. Using available information from 10 years of global solar radiation data provided by the Secretary of Environment, 6 weather stations. We analyzed the behavior of daily maximum values and their trend at monthly and annual levels. Solar radiation data was compared to the number of sunspots provided by NOAA, as well as the number of solar flares taken from NASA's Fermi satellite. The data on diseases associated with the overexposure of solar radiation were provided by the National Data Archive of the INEC. The results show a positive and sustained trend of maximum solar radiation events at monthly and annual levels in all stations studied. It also shows a correlation with the number of solar cells and a low correlation with solar flares, evidence that the magnetosphere diverts most of the energy from these, being isolated events that do not necessarily coincide with the hours of greater solar radiation. On the other hand, it is seen that ophthalmological diseases are increasing, not just skin diseases that show a slight decline, thanks to the campaigns of skin care to solar overexposure.

## 1. INTRODUCCIÓN

La radiación solar es un factor natural que influye sobre la Tierra durante todo el día, siendo importante para la vida terrestre ya que su influencia moldea el clima de la Tierra y ejerce un papel fundamental sobre el medio ambiente (Zuleta y Lema, 2015).

Una parte del espectro de la radiación solar, corresponde a la radiación ultravioleta (UV), es parte del espectro de la radiación solar contribuyendo con poca energía, tan sólo un 8.3% del espectro solar extraterrestre y entre un 6% y 7% de la radiación que llega a la superficie de la Tierra, no sólo proporciona varios efectos beneficiosos, sino que, si se exceden ciertos límites de seguridad, también puede resultar muy perjudicial para animales, plantas y seres humanos (Varo Martínez, 2006).

La radiación solar excesiva se convierte en un factor de riesgo ambiental ya que puede ser causante de sequías, desertificación, incendios; además de ser el promotor de problemas de salud en el ser humano debido a que la sobreexposición puede causar enfermedades agudas y crónicas en la piel, los ojos y el sistema inmunitario.

Basados en el reporte de Epidemiología del Cáncer en Quito son 525 los casos de melanoma maligno para los años 2006-2010, representando el 1.7% del total de casos de cáncer en Quito, para hombres y mujeres, desde el año 1986-1990, el promedio de la incidencia estandarizada está alrededor de 21 por cada 100.000 habitantes, llegando en el período 2006-2010 a tasas promedio de 33 por 100.000. Es decir, la incidencia se incrementó en 57% (SOLCA, 2014).

Los efectos crónicos según la (OMS, 2003) comprenden dos grandes problemas: los cánceres de piel que según estimaciones cada año en todo el mundo existen dos y tres

millones de casos de cataratas entre 12 y 15 millones de personas padecen de ceguera causada por cataratas sabiendo que hasta un 20% de estos casos pueden haber sido causados o haber sido agravados por la sobreexposición al sol, especialmente en el “cinturón de cataratas”, la zona de mayor incidencia, cercana al Ecuador” (OMS, 2003).

Basados en estudios anteriores realizados en la ciudad de Quito (Lema y Zuleta, 2015), muestran que los valores máximos diarios de radiación solar total se encuentran en aumento con valores que oscilan entre 6.64 Watts/año y 16.53 Watts/año. Si el comportamiento de la radiación solar permanece constante, en 10 años se podría tener un incremento en los valores máximos diarios de un 4% a 6%, sobre el territorio de Quito. Aún no se conoce la causa real, si pudiera deberse a efectos de la actividad solar o al cambio climático.

Bajo este contexto, y debido a la importancia de los efectos de la radiación solar y UV, el presente trabajo de investigación buscará correlacionar los datos de radiación total y actividad solar registrados en la ciudad de Quito. De la misma manera, se realizará un estudio sobre los datos de incidencia de cáncer en la piel y afecciones oculares relacionadas con la exposición a la radiación solar excesiva.

El proyecto fue desarrollado en la ciudad de Quito, que se encuentra ubicada en Ecuador en la provincia de Pichincha, cantón Quito, utilizando datos de 10 años, comenzado desde el año 2007 al 2016

La actividad solar y los ciclos correspondientes del sol, pueden ser la causa del incremento de radiación solar en la ciudad de Quito, o también puede deberse a efectos de cambio climático, se demostrará este efecto analizando la actividad solar.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

Encontrar la relación entre actividad solar y radiación solar en la ciudad de Quito, incluyendo datos de incidencia de cáncer en la piel y afecciones oculares relacionadas con la exposición a la radiación solar excesiva

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Analizar y actualizar los datos de radiación solar registrada en las estaciones meteorológicas de Quito.
- Analizar los datos satelitales de actividad solar, sobre la región de incidencia sobre Quito.
- Buscar las correlaciones entre actividad solar y radiación solar
- Analizar incidencia de cáncer en la piel y afecciones oculares relacionadas con la exposición a la radiación solar excesiva, de la base de datos del INEC y otras instituciones de salud de la ciudad.



### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 Actividad solar**

La actividad solar se manifiesta en las tres capas observables del Sol: la fotosfera, la cromósfera y la corona. Esta actividad se propaga hasta la Tierra en forma de radiación y de partículas, en forma de viento solar (Casado & Serra-Ricart, s.f.). Este fenómeno se caracteriza por la presencia de manchas, protuberancias, fulguraciones y emisiones importantes en radiofrecuencias y rayos X en el Sol. La actividad solar no es constante, y está muy relacionada con el número típico de manchas solares que son visibles; no solo se manifiesta en las manchas, sino que se deja ver en otras capas. Las capas exteriores del Sol son, de adentro hacia afuera: fotosfera (la que vemos en el óptico), cromósfera (se ve principalmente en UV), y corona (se observa en rayos X), con una delgada región de transición entre cromósfera y corona (Sanz, 2013)

#### **3.2 Manchas solares**

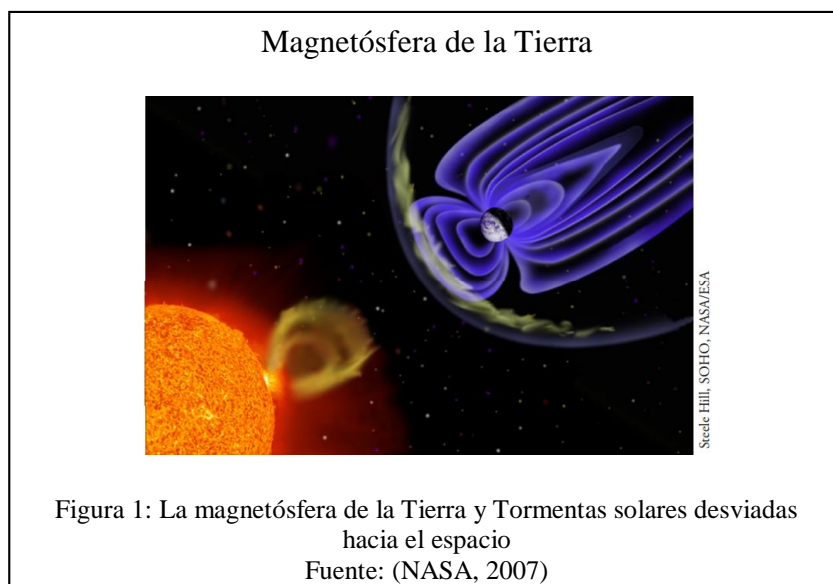
Fueron los primeros fenómenos variables en el tiempo que se observaron sobre el Sol, estas mostraron la variación de la actividad magnética solar, y tienen múltiples consecuencias en nuestro planeta y su atmósfera, las manchas solares son zonas levemente más frías (1000 K menos) que el resto de la fotosfera (Sanz, 2013), los campos magnéticos impiden al plasma moverse libremente, reduciendo la eficacia del transporte de energía por convección, ello hace que las manchas sean más frías (Bellot, 2007). Están formadas por una zona central muy oscura (la umbra) rodeada por un anillo más brillante (la penumbra), la penumbra es un conglomerado de pequeños filamentos que se extienden desde la umbra hasta el sol en calma (Bellot, 2007).

### 3.3 Tormentas solares

Conocidas como destellos solares o *solar flares*, son “áreas explosivas y brillantes en la superficie del Sol, ocurren cuando la energía magnética se acumula en la atmósfera solar cerca de las manchas solares y repentinamente es liberada en un estallido equivalente a diez millones de erupciones volcánicas. Los destellos solares más fuertes ocurren algunas veces al año, los destellos solares más leves son relativamente comunes; tanto que pueden ocurrir hasta una docena de veces al día durante los periodos más activos del Sol (NASA, 2007).

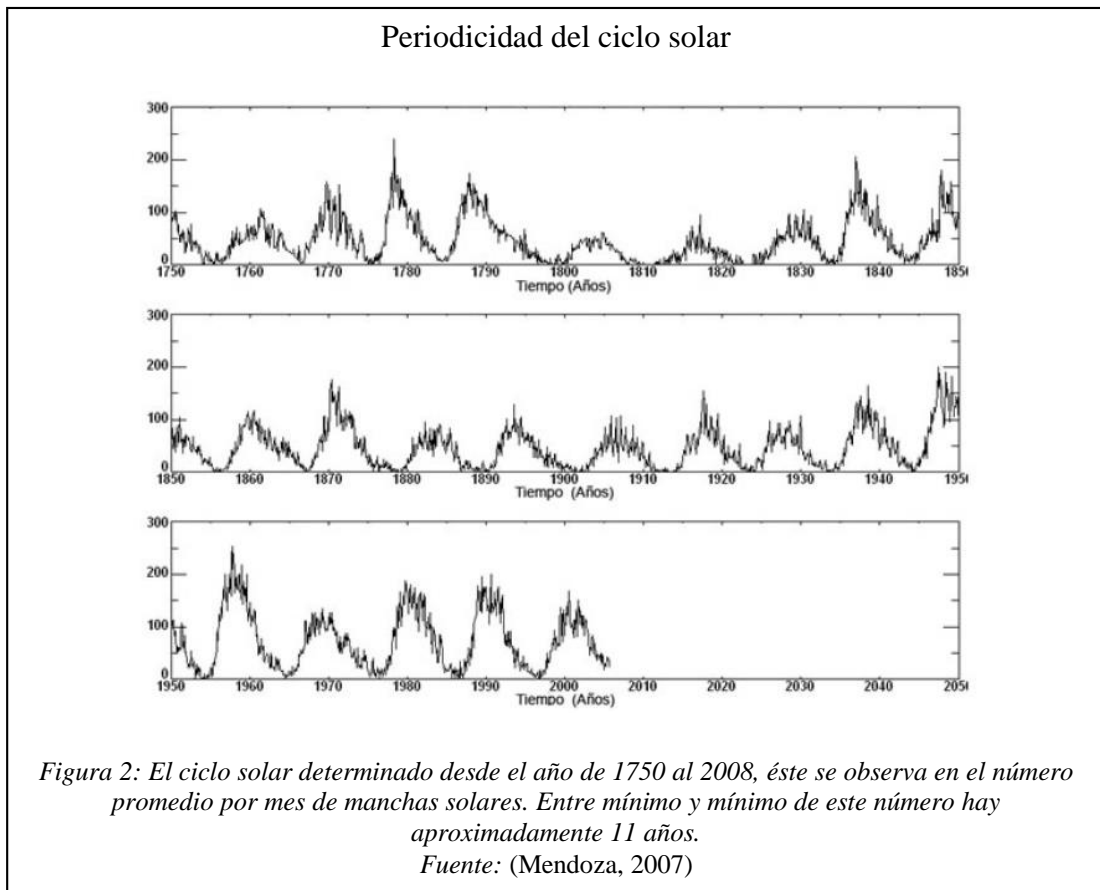
### 3.4 Magnetósfera Terrestre

La magnetósfera es una capa magnética invisible, producida por el campo magnético interno de la Tierra, nos protege del 99% del plasma solar y de sus efectos dañinos de radiación, desviando el mismo al espacio. En ocasiones es transferido a nuestra magnetósfera canalizándose cerca de los Polos Norte y Sur, donde el campo magnético es más débil y se encuentra parcialmente abierto al espacio (Ver Figura 1). El flujo de energía hacia nuestra magnetósfera puede inducir tormentas magnéticas, alterar el campo magnético de la Tierra y producir el fenómeno conocido como las auroras (NASA, 2007).



### 3.5 Ciclo solar

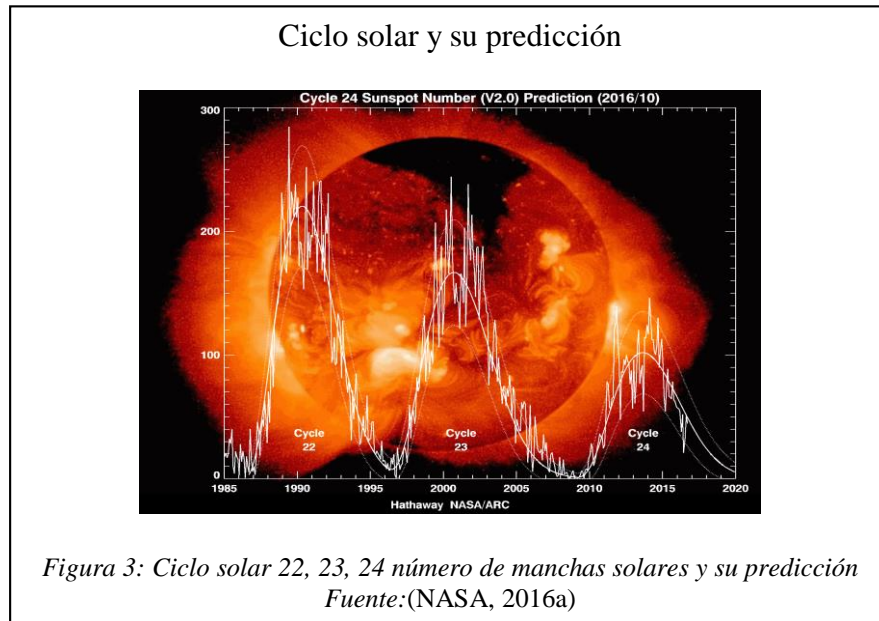
“En 1843, después de 17 años de observaciones, el naturalista alemán Samuel Heinrich Schwabe (1789-1875) concluyó que el número de manchas solares varía periódicamente.



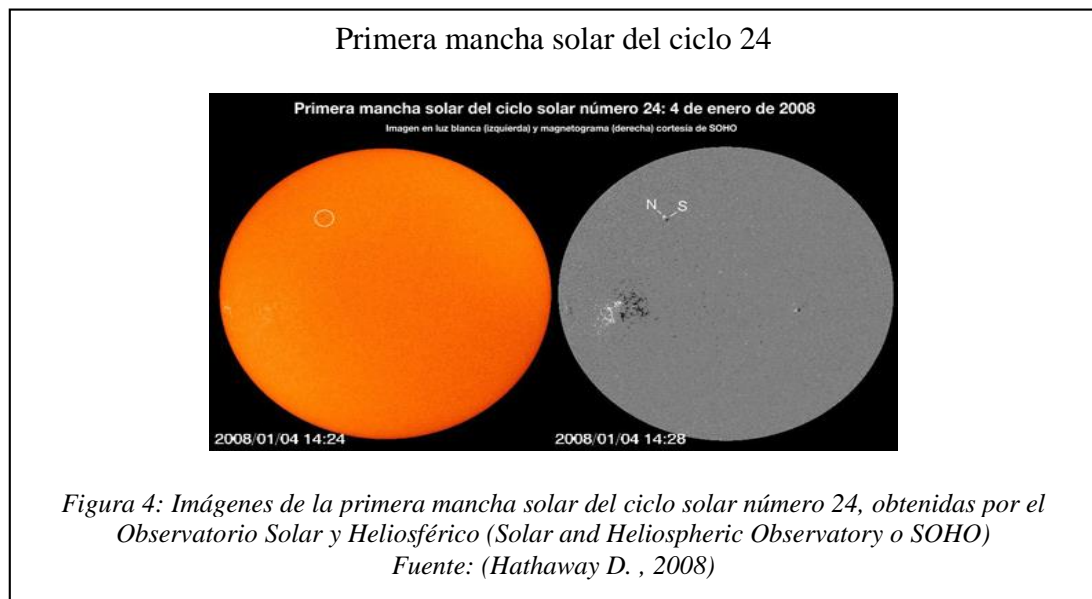
Fue el primer indicio de que el Sol experimenta cambios cíclicos, los cuales exhiben una periodicidad media de 11 años, mientras la longitud de cada ciclo dura entre 9 y 13 años” (Duhau, 2011).

El ciclo solar tiene el doble de duración, unos 22 años, ya que cada 11 años tiene lugar una inversión de los polos magnéticos solares y 22 años es el tiempo que transcurre para que el Sol retorne a su configuración original (Ver Figura 2). Todos

los ciclos no son iguales, sino que su duración e intensidad varían (Casado & Serra-Ricart, s.f.).



"El 4 de enero de 2008, una mancha solar con polaridad invertida apareció en el disco del Sol, lo cual indica el inicio del ciclo solar número 24", dice David Hathaway, del Centro Marshall para Vuelos Espaciales (Ver Figura 4).



La predicción actual de la mancha solar ciclo 24 da un número de manchas solares máxima analizado de alrededor de 101 a finales de 2013. El número de manchas

solares suavizado alcanzó un pico de 116,4 en abril de 2014. Esto probablemente se convertirá en el máximo oficial. Este segundo pico superó el nivel del primer pico (98.3, marzo de 2012). Muchos son los ciclos de doble pico pero esta es la primera en la que el segundo pico en el número de manchas solares era más grande que el primero. (Hathaway D. H., 2016), cabe indicar, sin embargo que este período 24, presenta una actividad ligeramente inferior al resto de ciclos.

### **3.6 Solsticios y Equinoccios**

Mientras la Tierra sigue su órbita llega a una posición en la cual los rayos solares llegan perpendiculares sobre el ecuador, llamada equinoccio (que significa igual noche), este se produce entre el 20 y 21 de marzo, estación de otoño en el hemisferio sur y de primavera en el hemisferio norte. El equinoccio de primavera sucede el 22 o 23 de septiembre.

El solsticio (que significa sol quieto), indica el comienzo de la estación de invierno en el hemisferio sur y de verano en el hemisferio norte se da el 21 o 22 de junio la Tierra está en una posición en la que los rayos llegan perpendiculares a la latitud norte en  $23.5^{\circ}$  N (Trópico de Cáncer); y pasan tangentes a la superficie terrestre por la latitud  $66.5^{\circ}$  S (Círculo Polar Antártico). Es el solsticio de verano del hemisferio sur y de invierno en el hemisferio norte, el 21 o 22 de diciembre, los rayos solares llegan perpendiculares a la línea de latitud  $23.5^{\circ}$  S (Trópico de Capricornio). En el hemisferio norte, los rayos solares pasan tangentes a la superficie terrestre por la latitud  $66.5^{\circ}$  N (Círculo Polar Ártico) (Inzunza, 2007), como se muestra en la figura 5.

## Solsticio y equinoccio

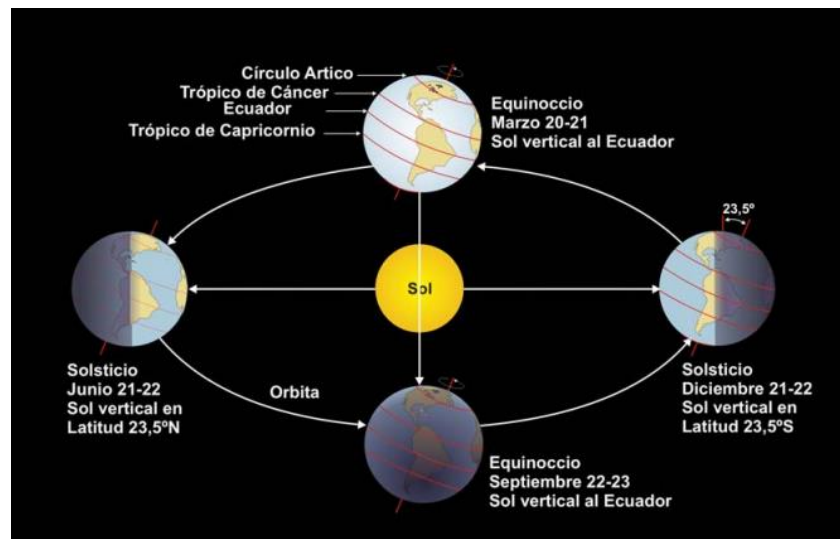


Figura 5: Solsticio y Equinoccio y sus diferentes ángulos en los que llega el sol a la Tierra  
Fuente:(Inzunza, 2007)

### 3.7 Radiación ultravioleta

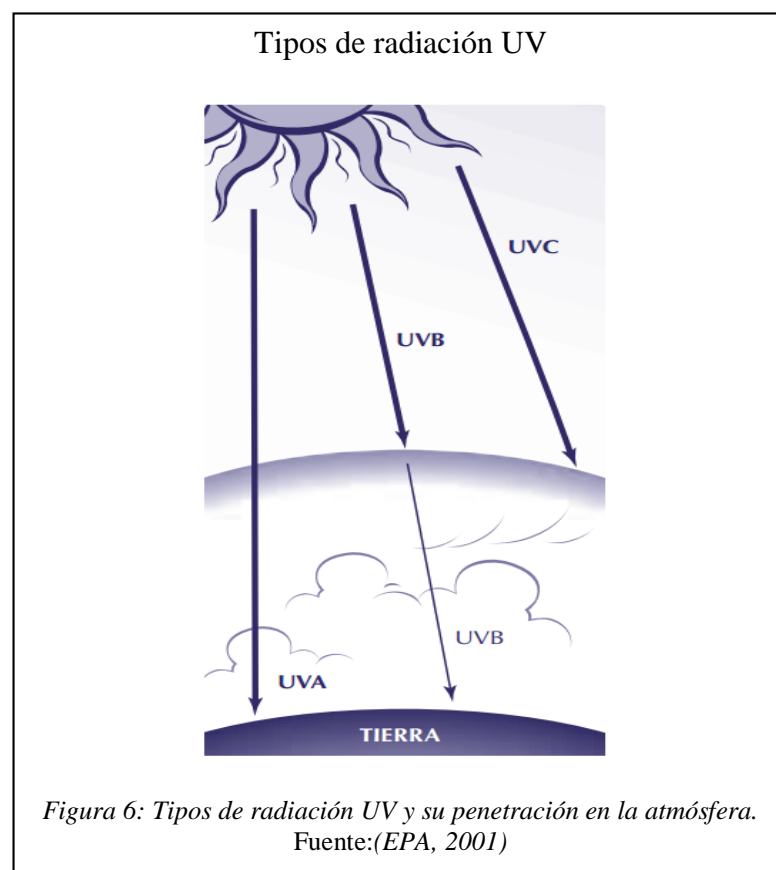
La radiación ultravioleta (UV) pertenece a la franja del espectro electromagnético con longitudes de onda entre 400 y 100 nm aproximadamente. Se extiende desde la parte violeta del espectro visible hasta la zona de rayos X blandos, aunque ambos límites son arbitrarios (Portero, s.f.).

El rango UV se subdivide en tres zonas (Ver Figura 6): UV-A (320-400 nm), es la más cercana al rango visible del espectro; UV-B(280-320 nm) y la UV-C ( para longitudes de onda menores a 280 nm) (Quiroga, s.f.).

- UV-C: los rayos de esta radiación son los más dañinos de todas las gamas de rayos ultravioleta porque es muy energética, estos rayos son retenidos totalmente por la capa de ozono en la estratósfera y no alcanzan la superficie terrestre. Sin embargo este tipo de radiación también es emitida por fuentes

artificiales tales como lámparas germicidas y lámparas de arco de mercurio (González-Púmariega, Tamayo, & Sánchez-Lamar, 2009).

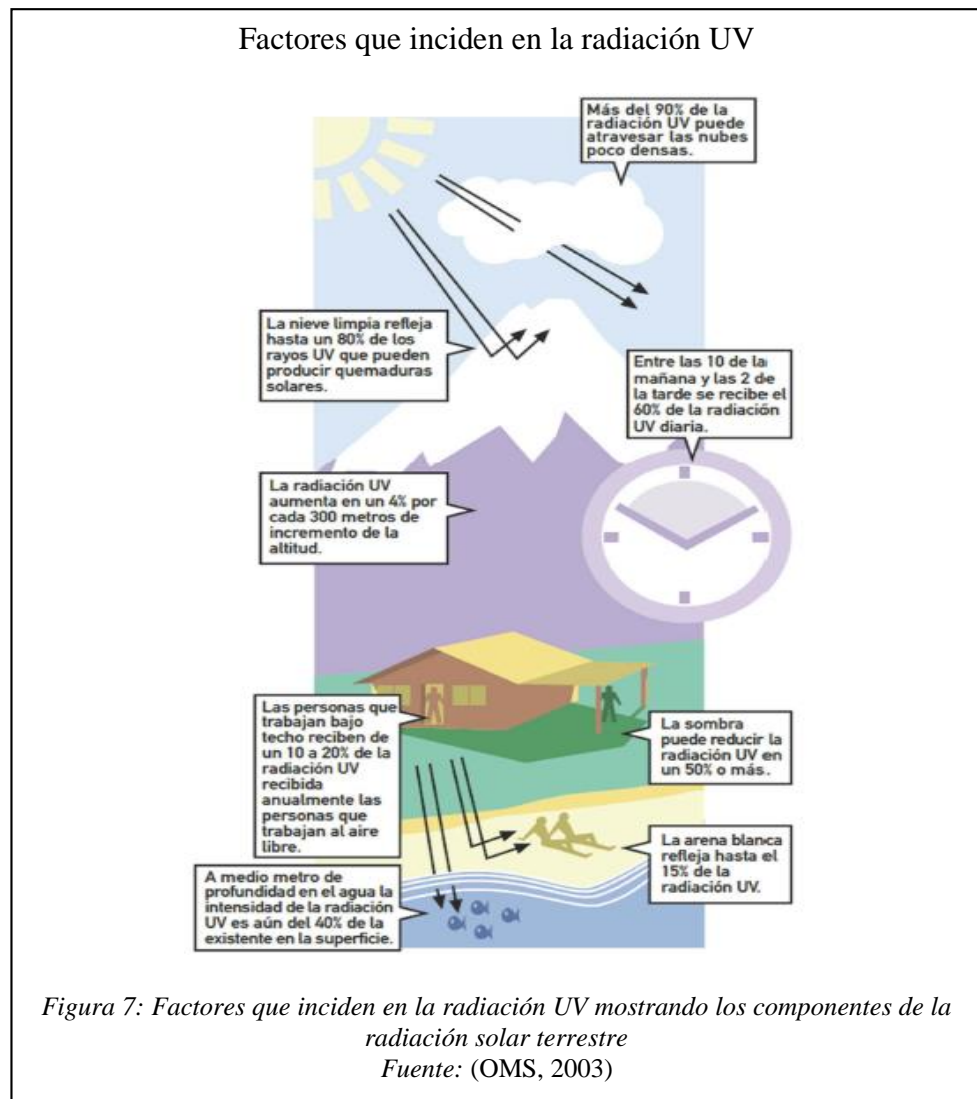
- UV-B: comprende aproximadamente el 5% de los rayos UV que logran pasar la atmósfera terrestre; es la responsable de la mayor parte de los daños biológicos ocasionados por la luz solar (González-Púmariega et al., 2009).
- UV-A: corresponde al 95% de los rayos UV que logran pasar la atmósfera, es la radiación menos dañina, causa el bronceados de la piel y daños crónicos si penetra el tejido conjuntivo (Benavides, 2010).



### 3.8 Factores que inciden en la radiación UV

La intensidad con la que la radiación UV llega a la Tierra depende de algunos factores según lo menciona la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2001) y se muestran en la figura 7:

- El ozono estratosférico: absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta dañina, pero su espesor varía según la época del año y los cambios climáticos.
- La hora del día, posición del sol: El sol está en su punto más alto alrededor del mediodía, la distancia que recorren los rayos solares es más corta y los niveles de UVB son los más altos. Al inicio de la mañana y al final de la tarde, los rayos solares caen de forma oblicua.



- La época del año: El ángulo de incidencia de la luz solar varía según las estaciones, la intensidad de la radiación ultravioleta es más alta durante los meses de verano.
- La latitud: La intensidad de los rayos solares es más fuerte en el ecuador, debido a que el sol pasa por la parte más alta y la distancia recorrida por los rayos ultravioleta

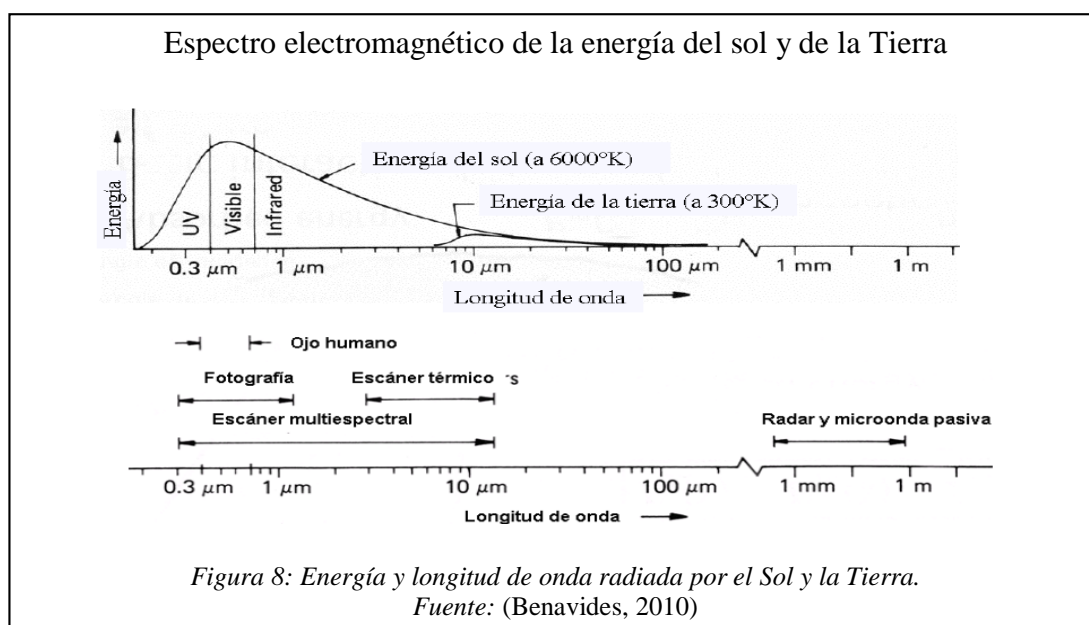


dentro de la atmósfera es más corta, el espesor de la capa de ozono es menor en los trópicos que en las latitudes medias y altas, por lo que hay menos ozono para absorber la radiación ultravioleta mientras atraviesa la atmósfera.

- La altitud: La intensidad de la radiación ultravioleta aumenta con la altitud, debido a que la atmósfera disminuye y capta menos radiación solar.
- Las condiciones climáticas: Las nubes reducen la radiación ultravioleta.

### 3.9 Radiación solar

“La energía radiante o radiación solar, se define como la energía transferida desde el sol hasta una superficie cualquiera. Esta energía viaja en forma de ondas; que liberan energía cuando chocan con un objeto. Esta reacción se debe a que poseen propiedades magnéticas y eléctricas, conocidas como ondas electromagnéticas” (Ahrens, 2012).



Después de emitida por el Sol, esa energía se propaga por todo el espacio a una velocidad de 299 793 km/s (Costa, García, & Moreno, s.f.). El sol emite radiación de onda corta que se encuentra entre 0.2 y 3.0 micrómetros, principalmente en el rango del ultravioleta en un 7%, visible en 47.3% e infrarrojo en 45.7%. Aproximadamente un

99% de la radiación solar de onda corta que llega a la superficie de la Tierra está contenida en esta región (Benavides, 2010), tal como se muestra en la figura 8.

La radiación electromagnética no tiene un rango definido, ha sido dividido en diferentes regiones cuyos límites son más o menos arbitrarios y dependen en buena medida en nuestra capacidad de poder producir o detectar esas regiones del espectro (Fontal, 2005).

Las magnitudes usadas para dimensionar la radiación solar en potencia y la energía de radiación que llega a la Tierra por unidad de superficie son:

- Irradiancia: es la magnitud que describe la potencia que el sol incide sobre una unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética es igual a  $\text{kW/m}^2$ .
- Irradiación: es la suma de las irradiancias, mide la cantidad de energía solar recibida en un periodo de tiempo determinado, es igual a  $\text{J/m}^2$  por hora, día, semana, etc...

### **3.10 Radiación solar extraterrestre**

Es la cantidad de energía proveniente del sol, por unidad de área, que recibe todo punto por encima de la atmósfera terrestre (Plasencia S, Matos C, Posadas, & Cabrera, 2007).

### **3.11 Constante solar**

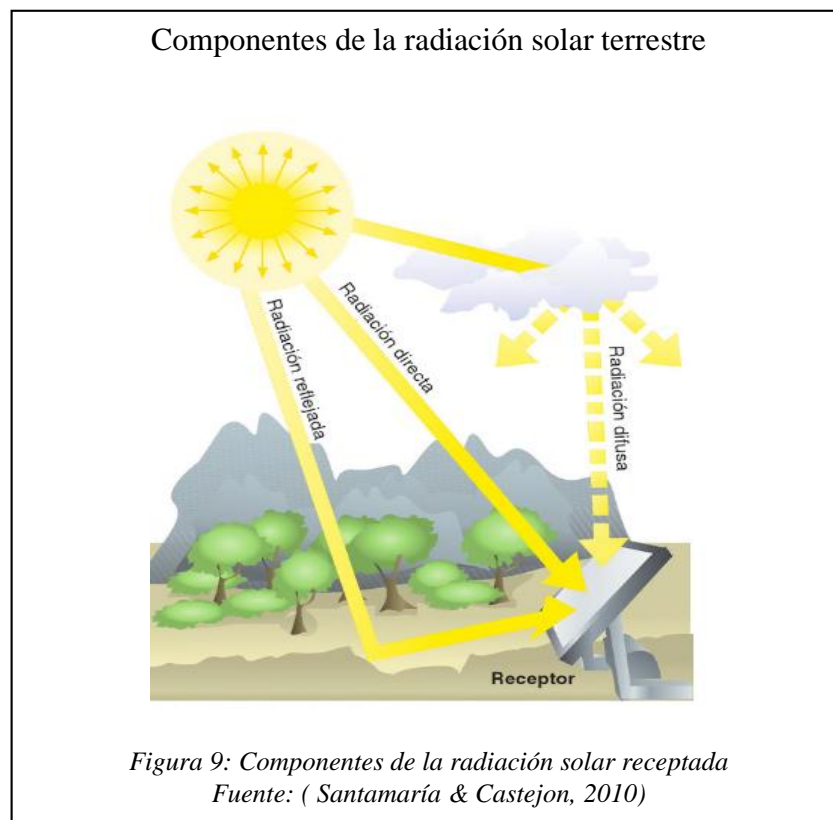
Es “La irradiancia media incidente sobre una superficie normal a la dirección Tierra-Sol ubicada en el exterior de la atmósfera a una distancia igual a la distancia media tierra-sol es aproximadamente constante” (Abal, s.f.).

### 3.12 Componentes de la radiación solar terrestre

La radiación solar que logra atravesar la atmósfera, tiene variaciones, que son afectadas por nubosidad y otras mencionadas anteriormente, además de las provocadas por los movimientos de la Tierra.

La radiación solar receptada en tierra por un receptor se clasifica en tres componentes:

- Radiación solar directa: está formada por los rayos que son recibidos directamente desde el sol.
- Radiación solar difusa: está formada por los rayos que se reciben después de haber cambiado de dirección por la dispersión en la atmósfera.
- Radiación solar reflejada: está formada por los rayos que se reflejan por la superficie terrestre. La cantidad de radiación recibida depende del albedo que se define como el coeficiente de reflexión de una superficie.



- Radiación solar global: incluye la radiación directa recibida y la radiación que ha sido dispersada al atravesar la atmósfera y reflejada (Ver Figura 9).

### 3.13 Índice UV

“El índice UV solar mundial (IUV) es una medida de la intensidad de la radiación UV solar en la superficie terrestre. Cuanto más alto, mayor es la probabilidad de lesiones cutáneas y oculares y menos tardan en producirse esas lesiones” (OMS, 2003). El IUV se divide en rangos de exposición (Figura 10).

Categoría de exposición a la radiación UV	
CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	INTERVALO DE VALORES DEL IUV
BAJA	< 2
MODERADA	3 A 5
ALTA	6 A 7
MUY ALTA	8 A 10
EXTREMADAMENTE ALTA	11+

Figura 10: Categoría de exposición a la radiación UV y sus intervalos.  
Fuente: (OMS, 2003)

Según la OMS el IUV oscila en una escala 0 a 11 mientras que la Federación Ecuatoriana de la Psoriasis (FEPSO) y el Instituto de Física Rosario de Argentina (IFIR) muestra una escala de 0 a 16, esta diferencia se ha puesto a consideración de la OMS, debido a que las categorías anteriores no se adaptan a las zonas andinas y regiones tropicales, ya que no se pueden comparar los tipos de piel existentes en el hemisferio norte con el tipo de piel del hemisferio sur.

La exposición a la radiación solar tiene diferentes grados de afectación, según el tipo de piel (González Bosquet, 2003). Los tipos de piel existentes según la revista Offarm (2003) en su publicación “Los efectos nocivos de la radiación solar y la forma de combatirlos” mencionan los siguientes:

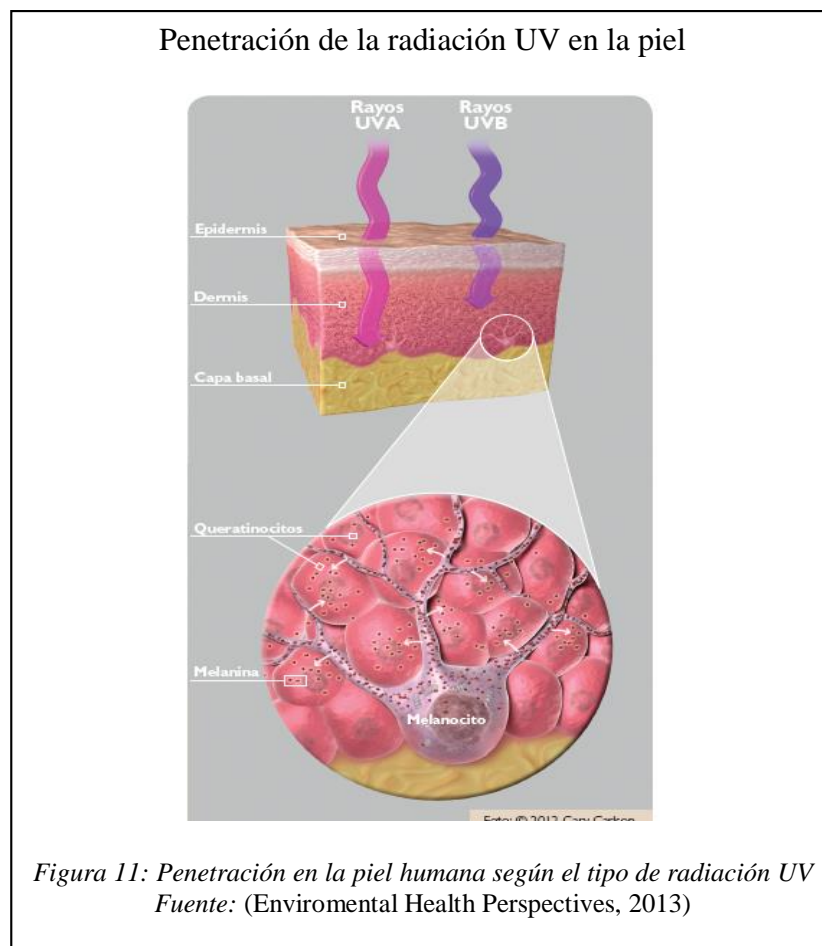
- Fototipo I: piel muy clara o lechosa y pecas que no se broncea nunca y se quema con mucha facilidad (bastan 10 minutos de sol).
- Fototipo II. También es una piel clara que se quema con facilidad (tras 15-20 minutos de sol) pero, en este caso, se broncea ligeramente.
- Fototipo III. Es una piel clara que casi nunca se queman o presentan quemaduras moderadas al principio de la exposición solar y se broncean con facilidad gradualmente.
- Fototipo IV. Se trata de una piel mediterránea. Se quema ocasionalmente y presenta una fácil e intensa pigmentación.
- Fototipo V. Se caracteriza por una piel morena. Se queman raramente (el eritema pasa casi inadvertido) y el bronceado es muy intenso, rápido y persistente.
- Fototipo VI. Es una piel de raza negra. Se trata de una piel que no se quema nunca y que ni tan siquiera se oscurece con el sol.

### **3.14 Efectos sobre la salud**

Cada tipo de radiación UV tiene diferente grado de afectación hacia la salud humana (Ver Figura 11):

- UV-A: Aproximadamente el 50% de UVA penetra la epidermis y lo hace con mayor profundidad que la radiación UVB. Provoca pigmentación directa provocando un bronceado rápido, pero poco duradero. Es la principal responsable del fotoenvejecimiento, fotosensibilidad y daño en la retina, así como de la aparición de cataratas (Cañarte, 2010), además de reacciones tanto fototóxicas como fotoalérgicas (tales como las alergias solares denominadas fotodermatitis poliforme) (Benavides, 2010).

- UV-B: se absorbe en un 90 % por la epidermis. Es la principal responsable del eritema solar, inmunosupresión y fotocarcinogénesis. Interviene en la melanogénesis (Cañarte, 2010), el cancer de piel no melánicos, melanomas malignos asociado a los lunares; reducción de la eficiencia del sistema inmunológico, cataratas, pterigos (Benavides, 2010).
- UV-C: posee propiedades germicidas y es responsable del eritema sin bronceado, por ello es potencialmente la más peligrosa. El ozono impide su penetración en la atmósfera. Está presente en fuentes artificiales: lámparas bactericidas, arcos de soldadura industrial (Cañarte, 2010).



### **3.15 Enfermedades provocadas por sobreexposición a la radiación solar**

La OMS menciona principalmente a los efectos agudos y crónicos en la salud de la piel, los ojos y el sistema inmunitario, esta investigación se concentrará principalmente en las afectaciones a la piel y los ojos.

#### **3.15.1 Afectaciones a la piel**

La radiación solar es culpables del 90% de los cánceres de piel, incluido el melanoma, cuya mortalidad supera la del resto de las neoplasias dérmicas (Portero, n.d.).

La piel expuesta a la radiación solar sufre las consecuencias debido al sol, puede provocar, arrugas profundas, piel áspera, telangiectasias, léntigos solares o seniles e hipopigmentaciones. Los poros se agrandan y se ven como puntos negros (Mora, Olivares, González, & Castro, 2010).

Entre las afectaciones más significativas encontramos las siguientes:

#### **3.15.2 Fotosensibilización.**

Los especialistas de la salud encuentran con frecuencia efectos adversos por exposición a ciertos medicamentos, que pueden tener un efecto sensibilizante con la exposición a la radiación ultravioleta. Las reacciones a los agentes sensibilizantes pueden implicar, fotoalergia (reacción alérgica de la piel) y fototoxicidad (irritación de la piel) tras la exposición a la radiación ultravioleta de la luz solar (Instituto de Salud Pública de Chile, 2007).

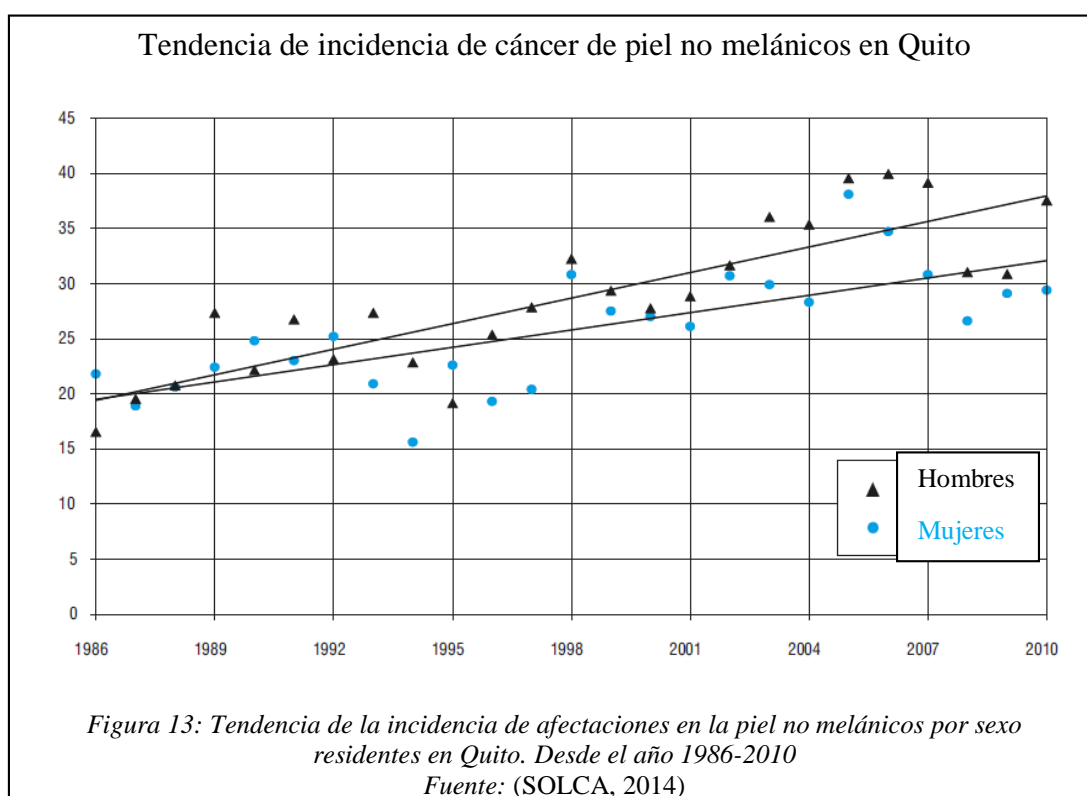
#### **3.15.3 Cánceres de Piel no Melánicos**

Los cánceres de piel no melánicos (CPNM) comprenden los carcinomas de células basales y los carcinomas de células escamosas. En la mayoría de los casos, el

tratamiento quirúrgico es doloroso y a menudo desfigurante (OMS, 2003), tal como se muestra en la figura 12.



En el Ecuador, según la publicación de “Epidemiología del cáncer en Quito 2006-2010”, presentando por la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer (SOLCA), se muestra un evidente aumento de esta enfermedad en la ciudad de Quito, ocupando el puesto

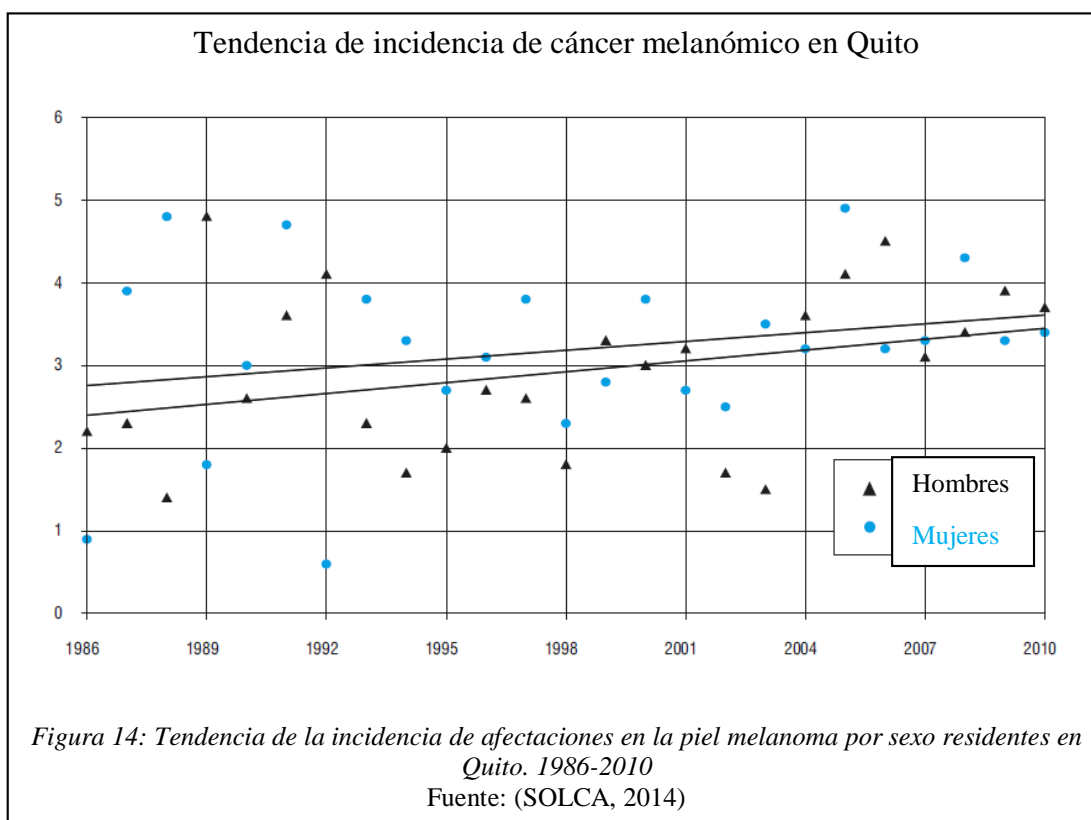




19 en incidencias más altas en el mundo y Latinoamérica en hombres y mujeres (SOLCA, 2014).

### 3.15.4 Melanoma maligno

El melanoma maligno (MM), es la principal causa de muerte por cáncer de piel y su notificación y diagnóstico correcto es más probable que en los CPNM.; y contribuyen sustancialmente a la mortalidad en las poblaciones de piel clara, está asociado a los lunares y es el tumor más letal de la piel porque posee una alta capacidad metastásica, es decir que estas células cancerígenas se pueden diseminar por otras partes del organismo (Benavides, 2010).



En el Ecuador, muestra un evidente aumento de esta enfermedad en la ciudad de Quito, no superando las enfermedades de piel no melanoma, ocupando el puesto 37 en incidencias más altas en el mundo y Latinoamérica en hombres y el 36 en mujeres (SOLCA, 2014), tal como se muestra en la figura 15.

### Cáncer de piel melanómico

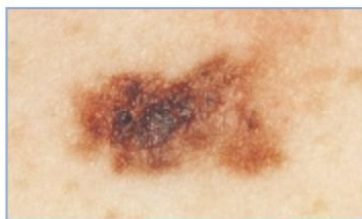


Figura 15: Melanoma Maligno  
Fuente: (OMS, 2003)

#### 3.15.5 Efectos sobre los ojos

Las radiaciones ultravioleta ocasionan los efectos agudos conocidos como fotoqueratitis (inflamación de la córnea) y fotoconjuntivitis (inflamación de la conjuntiva) (OMS, 2009). Ambas reacciones pueden ser muy dolorosas, pero son reversibles y no ocasionan daños a largo plazo en el ojo ni en la visión. La “queratitis por soldadura al arco” y la “ceguera de la nieve” son formas extremas de fotoqueratitis (OMS, 2003).

Por otros lado, entre los efectos crónicos de las radiaciones ultravioleta según la (OMS, 2009):

- Cataratas: enfermedad de los ojos en la que el cristalino se va opacando poco a poco, lo que va disminuyendo la visión y acaba causando ceguera.
- Pterigio: carnosidad blanca o de color crema que aparece en la superficie ocular.
- Carcinoma epidermoide de la córnea o de la conjuntiva: tumor raro de la superficie ocular.

### **3.16 Radiación solar en Quito**

(Cazorla, 2013) en su estudio denominado “Análisis de los datos horarios de radiación solar y abundancia de ozono del Distrito Metropolitano de Quito del 2007 al 2012”, presenta un análisis de los datos horarios de radiación solar y de concentraciones de ozono a nivel de la superficie en el norte y sur de Quito del 2007 al 2012. Los datos fueron obtenidos de los archivos públicos de la red de monitoreo del aire de Quito, en este estudio se puede evidenciar un incremento sostenido de valores máximos diarios de radiación solar, además de una marcada dispersión de estos. Los resultados encontrados en esta investigación sugieren posibles experimentos atmosféricos futuros.

En la tesis realizada por Zuleta & Lema en el año 2015 titulada “Solmáforo (Semáforo Solar): Modelo ambiental de alerta por exposición a la radiación solar en Quito”, la tesis mencionada usa datos de la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito a través de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito REMMAQ, ubicados en seis estaciones en el Distrito Metropolitano. El análisis espacial realizado en esta investigación muestra que Quito en horas centrales del día sobrepasa los valores de radiación solar considerados como altos y muy altos. Se recomienda contar con un estudio que relacione la actividad solar con la radiación registrada sobre la ciudad de Quito, así como registros de incrementos de efectos sobre la salud de los pobladores.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Instrumentos de medición en Tierra

La radiación solar global medida por la Secretaría de Ambiente usa como instrumento de medición piranómetros tipo termopila, Clase II de marca Kipp & Zonen modelo CMP3 (Ver Figura 16) ubicados a una altura de 1 y 2 m. Estos sensores están instaladas sobre el techo de las estaciones de monitoreo de la calidad del aire (Secretaría de Ambiente, 2016). CMP 3 es el piranómetro más ligero y sencillo de la serie CMP”(Kipp & Zonen, 2010).

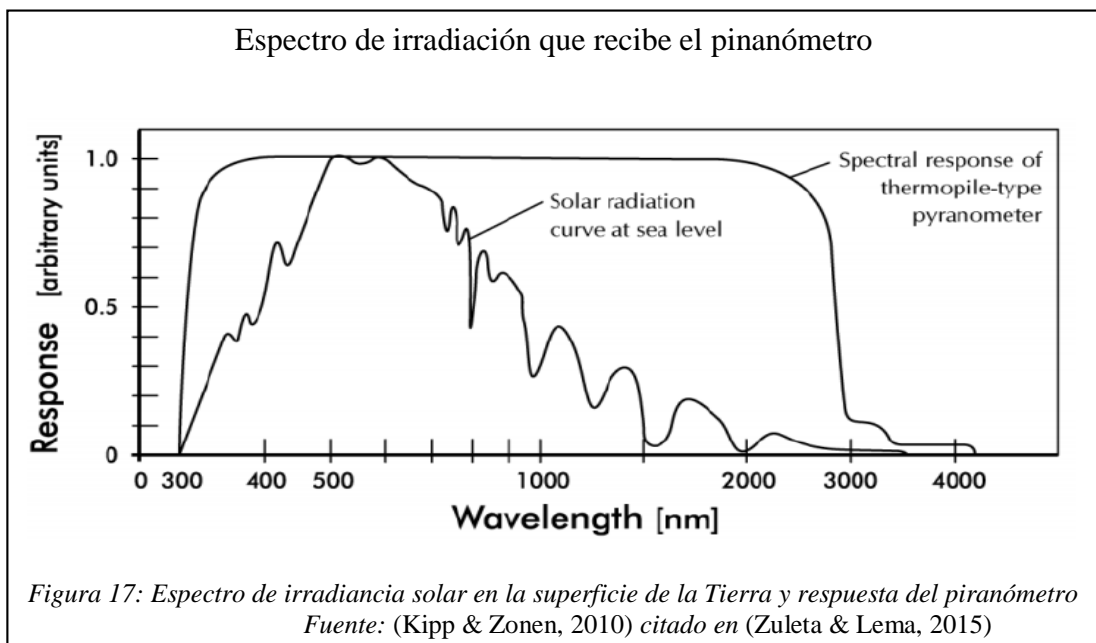


El piranómetro CMP3 (ISO 9060:1990 Segunda Clase) mide la irradiación solar. El rendimiento se registra en vatios por metro cuadrado. Está diseñado para un uso continuo tanto en el interior como en el exterior. Realiza mediciones de radiación solar global de onda corta, entre el rango espectral de 300 a 2800 nm. El sensor termopila mide la irradiancia hasta 2000 W/m<sup>2</sup>, con un tiempo de respuesta de <18 segundos y una sensibilidad normal de 1010  $\mu\text{V}/\text{W}/\text{m}^2$  que varía en menos del 5%,

desde -10°C hasta +40°C. Rango de temperatura de operación es de -40°C a +80°C, y la estabilidad es inferior a un 1% por año.

Consta de una cúpula de cristal de 4 mm de grosor para proteger la termopila, una visera solar acoplada, un sistema de nivelación integrada, y un conector impermeable; precableado y con una extensión de cable de señal de 10 m para facilitar la instalación. También están disponibles: una barra de montaje y extensiones de cable” (Kipp & Zonen B.V., 2016).

El mantenimiento y calibración de los equipos de medición son realizados cada dos años, bajo los parámetros establecidos por la norma ISO 9847; la última calibración fue realizada en el 2014 en la fábrica Kipp y Zonen (Zuleta & Lema, 2015).

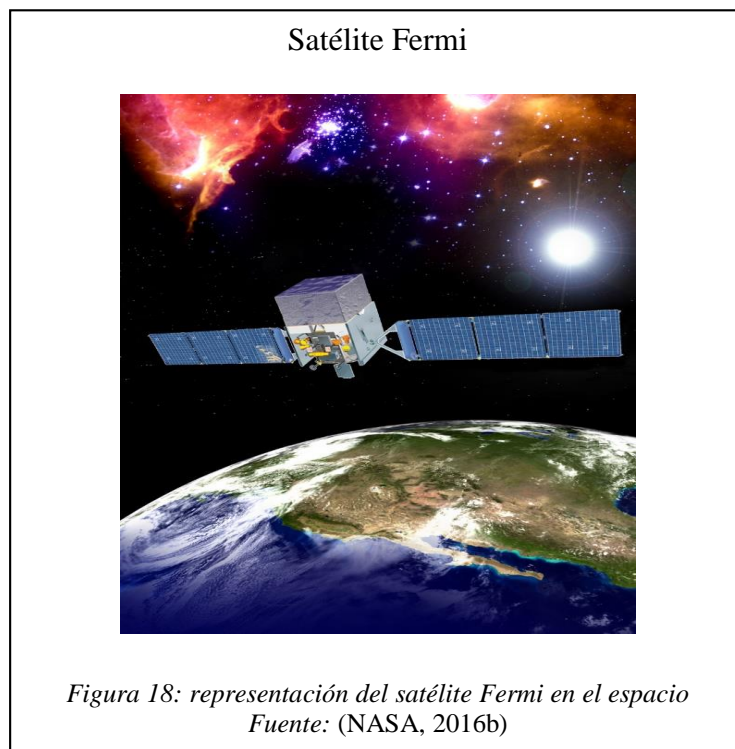


#### 4.2 Datos satélites de destellos solares

El telescopio espacial de rayos gamma Fermi, anteriormente GLAST. Fue iniciado el 11 de junio de 2008 a 24:05, en una órbita circular baja (550 km de altura), desde el cohete Delta II y su nombre honra al físico italiano Enrico Fermi, uno de los pioneros

en el campo de la física de altas energías; sus teorías proporcionan los fundamentos para entender los nuevos descubrimientos de este telescopio (NASA, 2016). Gira alrededor de la Tierra en aproximadamente 96 minutos. En órbitas alternativas, rota a la izquierda y la derecha, el cielo puede ser inspeccionado en dos órbitas. Permitiendo el monitoreo constante de cualquier emisor de rayos gamma durante días, semanas, meses y años (Fermi Gamma-ray Space Telescope, 2016). Un ligero balanceo, combinado con la rápida órbita, le permite cubrir todo el cielo de forma uniforme (El observatorio espacial Fermi, 2016).

Gracias al satélite Fermi se ha logrado ampliar varios estudios para astrónomos, físicos y cosmólogos. Para esta tarea única, que reúne a las comunidades de la física de partículas y la astrofísica, la NASA se ha asociado con el Departamento de Energía de EE.UU. y las instituciones en Francia, Alemania, Japón, Italia y Suecia. General Dynamics fue elegida para construir la nave espacial (NASA, 2016).



El telescopio de gran área ('Large Area Telescope') (LAT), es el principal instrumento del satélite, con el que se está 'mapeando' el cielo en busca de objetos astrofísicos como núcleos activos de galaxia, púlsares o restos de supernova (Universidad Complutense Madrid, 2016). Es un telescopio de rayos gamma de alta energía de formación de imágenes que cubre el rango de energías de aproximadamente 20 MeV para más de 300 GeV. LAT tiene un campo de visión de aproximadamente el 20% del cielo en cualquier momento, y explora continuamente, cubriendo todo el cielo cada tres horas. Durante un fuerte estallido de rayos gamma, el satélite apunta en el lugar de la ráfaga por un par de horas para recoger datos adicionales" (Fermi Gamma-ray Space Telescope, 2016), (Ver Figura 18).

#### 4.3 Estaciones meteorológicas de Quito utilizadas en el estudio.

Los datos de radiación solar utilizados se obtuvieron de la REMMAQ (Red de Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito) perteneciente a la Secretaría de Ambiente de la ciudad de Quito, la REMMAQ está conformada por seis estaciones meteorológicas ubicadas en diferentes puntos de la ciudad (Tabla 1), estas estaciones miden radiación solar global en  $W/m^2$ .

Tabla 1:

Ubicación de las estaciones meteorológicas en el Distrito Metropolitano de Quito

<b>Estación</b>	<b>Código</b>	<b>Dirección</b>	<b>Latitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Altura msnm</b>
<b>Tumbaco</b>	TUM	Terraza de Andinatel (Gaspar de Carvajal)	0°12'36" S	78°24'00" W	2331
<b>Los Chillos</b>	LCH	Terraza de Andinatel (Av. Ilaló, Vía a El Tingo)	0°18'00" S	78°27'36" W	2453

<b>Carapungo</b>	CAR	Edificio Andinatel	0°5'54" S	78°26'50" W	2660
		Carapungo (Super Manzana B, el Verjel S/N)			
<b>Cotocollao</b>	COT	Museo Cotocollao	0°6'28" S	78°29'50" W	2793
		(Santa Teresa #70- 121 entre Ignacio Loyola y Alfonso del Hierro)			
<b>Belisario</b>	BEL	Terraza del Edificio	0°10'48" S	78°29'24" W	2835
		Administrativo del Colegio San Gabriel (Av. America 3541)			
<b>El camal</b>	CAM	Terraza del Hosp.	0°15'00" S	78°30'36" W	2840
		Patronato Municipal San José del Sur (Adrián Navarro 1660 e Hinostroza)			

Nota: (Secretaría de Ambiente, 2016)



### Ubicación de las estaciones meteorológicas de la REMMAQ

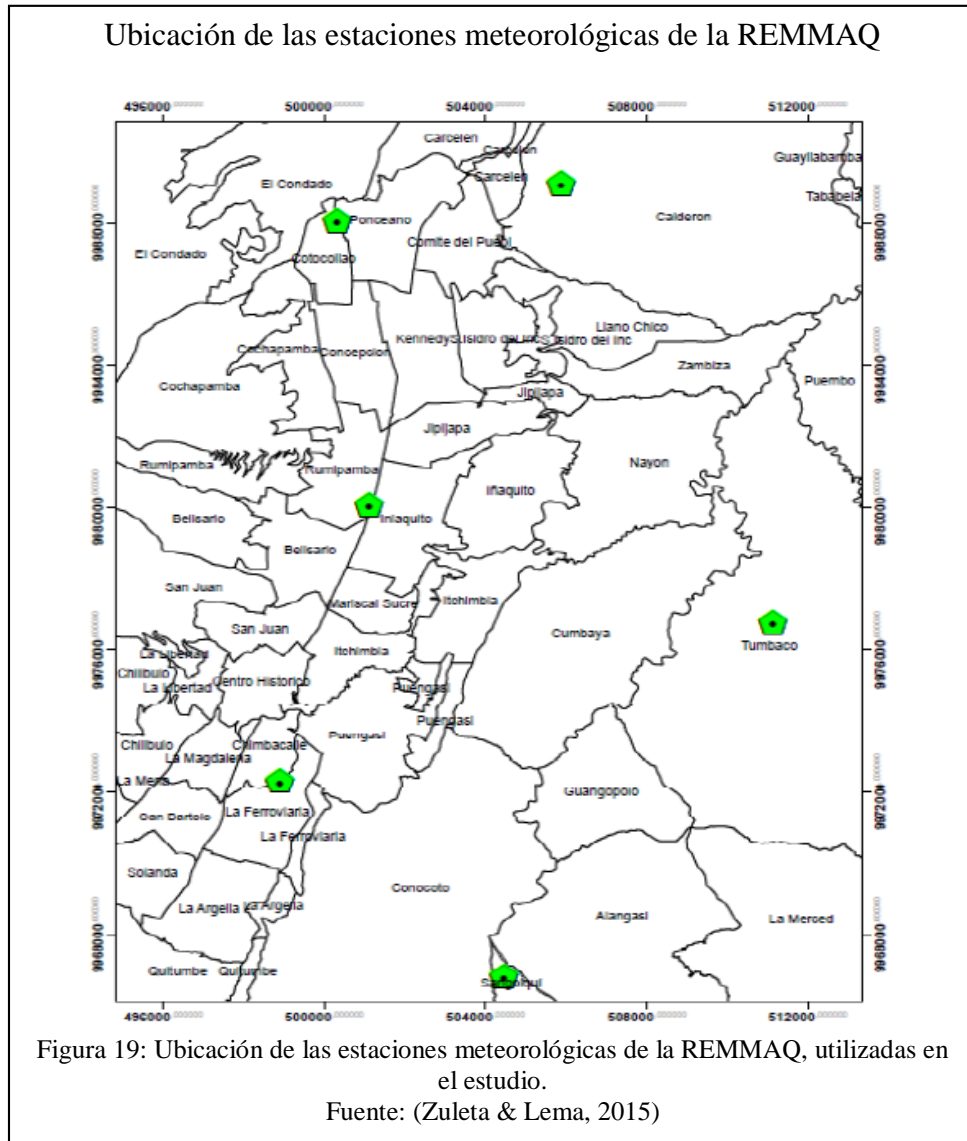


Figura 19: Ubicación de las estaciones meteorológicas de la REMMAQ, utilizadas en el estudio.  
Fuente: (Zuleta & Lema, 2015)

Los datos para esta investigación fueron tomados desde el mes de febrero del 2007 al mes de junio del 2016, con una resolución temporal de 10 minutos por estación.

Estos datos son de acceso público en la página web de la Secretaría de Ambiente y están disponibles en el enlace <http://190.11.24.212/reportes/ReporteDiariosData.aspx>.

Para la realización del estudio estadístico se validaron los datos por estación, eligiendo aquellas que tenían como mínimo 75% del total de datos obtenidos (Zuleta & Lema, 2015), para evitar sesgos por datos nulos debido a fallas en el equipo,

apagones, mantenimiento o algún otro tipo de incidente que pueda afectar a la toma de datos, con esto se busca obtener un correcto análisis e interpretación de las series.

Los porcentajes de datos obtenidos por estación se muestran en la Tabla 2, observando el número de datos adquiridos y validando el porcentaje mínimo para la realización del análisis.

Tabla 2:

Porcentaje de datos válidos en las estaciones de monitoreo en el periodo 2007-2016

<b>Estación</b>	<b>Datos Totales</b>	<b>Datos Válidos</b>	<b>Datos no Válidos</b>	<b>Porcentaje Datos Válidos</b>
<b>Cotocollao</b>	492834	487051	5783	98,83%
<b>Carapungo</b>	492834	487922	4912	99,00%
<b>Belisario</b>	492834	488948	3886	99,21%
<b>El Camal</b>	414070	394127	19943	95,18%
<b>Tumbaco</b>	492834	487207	5627	98,86%
<b>Los Chillos</b>	492834	487979	4855	99,01%

Nota: (Secretaría de Ambiente, 2016)

Elaborado por: Pamela Franco

Se puede observar que el porcentaje de datos válidos supera el requerimiento mínimo, mostrando que la estación con mayor porcentaje de validación es la Belisario con un 99.21%, mientras que la estación con menor porcentaje de validación es El Camal con el 95.18%. Asimismo, los datos contaron con un control de calidad y una homogenización previa a su análisis.

El periodo de exposición solar tiene un comportamiento relativamente constante (Zuleta & Lema, 2015), que va desde las 6h30 hasta las 18h30 fuera de este rango los valores de radiación se anulan, debido a que corresponden a horas de la noche que no

registran ninguna radiación, a no ser que se deba a eventos ocasionales (helicópteros o espectáculos) Es por esta razón se usan los únicamente datos en el rango antes mencionado.

Los valores más altos registrados en este periodo de años se encuentran de 11h00 a 14h00, con valores que van de  $1000 \text{ W/m}^2$  hasta alcanzar  $1570 \text{ W/m}^2$ .

#### **4.4 Determinación de radiación solar máxima**

El análisis de datos de radiación solar máxima se realizó tomando los valores máximos diarios registrados en cada estación en el periodo de años investigados, para el análisis se utilizó una regresión lineal de Mínimos Cuadrados, conjuntamente con una prueba F de significancia y estadística con este método se busca verificar si existe algún tipo de tendencia de aumento o disminución en los valores de radiación solar.

El análisis mensual fue realizado tomando los valores máximos de cada mes para cada estación. Así como el análisis de datos anual se realizó tomando los valores máximos por año de radiación solar global del período de años estudiado para cada estación.

#### **4.5 Análisis del ciclo solar / actividad solar**

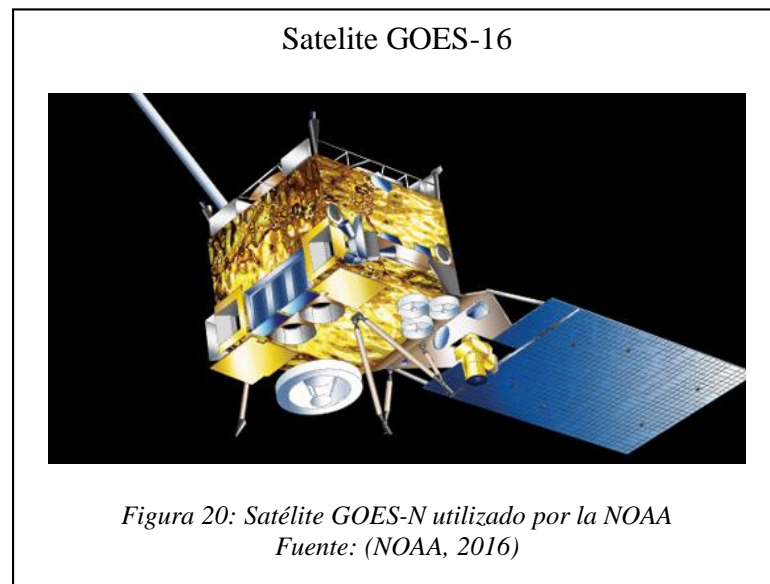
Se realizó una comparación de los datos registrados en las estaciones meteorológicas en tierra con datos de índices solares, preparados por el Departamento de Comercio de los EE. UU., NOAA. Esta información está disponible en <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/weekly/RecentIndices.txt>

Se utilizaron los datos del SWO, que se refiere al Centro de Operaciones de Clima Espacial del SWPC (Space Weather Prediction Center de la NOAA), información

que también es generada y validada por los centros de investigación de clima espacial de Bruselas (Source RI: S.I.D.C), Penticton, B.C., Canada (Source 10.7cm radio flux values (sfu)), GeoForschungsZentrum, Postdam, Germany (Source Ap).

El satélite que tomó los datos es perteneciente a la NOAA que es un satélite geoestacionario llamado GOES-13 (NOAA, 2016) , perteneciente a la serie de GEOS-N, se encuentra a una distancia cercana a los 35800 Km. del ecuador terrestre, encontrándose dentro de la magnetósfera terrestre, su tiempo de vida útil para este es de diez años, fue puesto en órbita en Mayo del 2006, posteriormente será reemplazado con el GOES-16 (Ver figura 20).

Los datos analizados se corresponden al periodo de 2007-2016, correspondientes al número de manchas solares.



#### 4.6 Determinación de destellos solares

Los datos de destellos solares o *solar flares* fueron tomados del satélite Fermi puesto en órbita por la NASA en el 2008, los datos proporcionados muestran la lista de llamaradas o destellos solares, con energías entre 12 y 25 keV, contando el número

de destellos con una energía comprendida en este intervalo. La información se encuentra disponible en:

[http://hesperia.gsfc.nasa.gov/fermi/gbm/qlook/fermi\\_gbm\\_flare\\_list.txt](http://hesperia.gsfc.nasa.gov/fermi/gbm/qlook/fermi_gbm_flare_list.txt)

Para la utilización correcta de estos datos se corrigió el tiempo tomando en satélite con a un sistema y formato de tiempo útil, para la región correspondiente a Ecuador, utilizando el convertidor de tiempo de la NASA, este convertidor se encuentra disponible en <http://heasarc.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/Tools/xTime/xTime.pl>

#### **4.7 Determinación de datos de incidencia de cáncer en la piel y afecciones oculares relacionadas con la exposición a la radiación solar excesiva, de la base de datos de INEC.**

Finalmente se utilizaron los datos de egresos hospitalarios de registros de INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), para enfermedades relacionadas con el exceso de radiación solar como son melanoma maligno de la piel, otros tumores malignos de la piel (Rodríguez & Buitrón, 2015) y conjuntivitis y otros trastornos de la conjuntiva, queratitis y otros trastornos de la esclerótica y de la córnea (OMS, 2009). Los datos proporcionados van desde el año 2007 al 2014. Utilizando solo los datos para la provincia de Pichincha.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 5.1 Promedio de radiación solar máxima diaria

En esta parte de la investigación, se tomaron los valores máximos registrados diariamente de radiación solar las 6 estaciones meteorológicas de la REMMAQ (Ver Tabla 1 y Figura 19), estos valores fueron promediados día a día y se calculó su desviación estándar, representada en el gráfico con barras de error (Figura 21). Todos estos valores máximos, se ubicaron entre las 11h00 a 14h00, que corresponden a los valores cercanos al medio día ecuatorial.

Se aprecia la gran variabilidad de datos, obteniendo el valor máximo promedio de 1350.24 (W/m<sup>2</sup>) el 15 de octubre del 2014 y como valor mínimo 287.72 (W/m<sup>2</sup>) el 7 de noviembre del 2015, en cuanto a la desviación estándar, se obtuvo un valor máximo de 461,76 el 5 de agosto del 2008 y una desviación mínima de 2,3 el 29 de agosto del 2013. Esta enorme variabilidad es característica del sistema estudiado, en donde cualquier variable, como la nubosidad –aunque sea la mínima- genera variaciones en los niveles detectados de radiación, disminuyéndola drásticamente. Por otro lado, las pequeñas gotas de vapor de agua, actúan como pequeñas “lentes” que logran que la radiación se eleve considerablemente por lapsos muy cortos de tiempo (Zuleta & Lema, 2015). Inclusive, para eliminar estos efectos, los valores de la REMAQ, son un promedio de 10 minutos, de datos registrados cada minuto.

La Figura 21 muestra una tendencia lineal positiva equivalente a 0.0377 W/m<sup>2</sup>.día, que corresponde al período 2007-2016. Sobre datos de estudios anteriores (Zuleta & Lema, 2015) que analizaron el período 2007-2013, se encontró una tendencia positiva de 0.0471, ligeramente superior (Ver Figura 23). Y al analizar sólo los datos de 2013 a 2016, la tendencia fue de 0.0203 (ver figura 22); lo cual sugiere una

disminución ligeramente superior. Cabe indicar que después de realizar prueba de significancia estadística F (Tabla 3 a), b) y c)), no se encontró significancia al 95%.

De esta manera en 10 años se hablará de un incremento del 0.05% de la radiación total.

Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima diaria registrada en Quito, desde el 2007 al 2016.

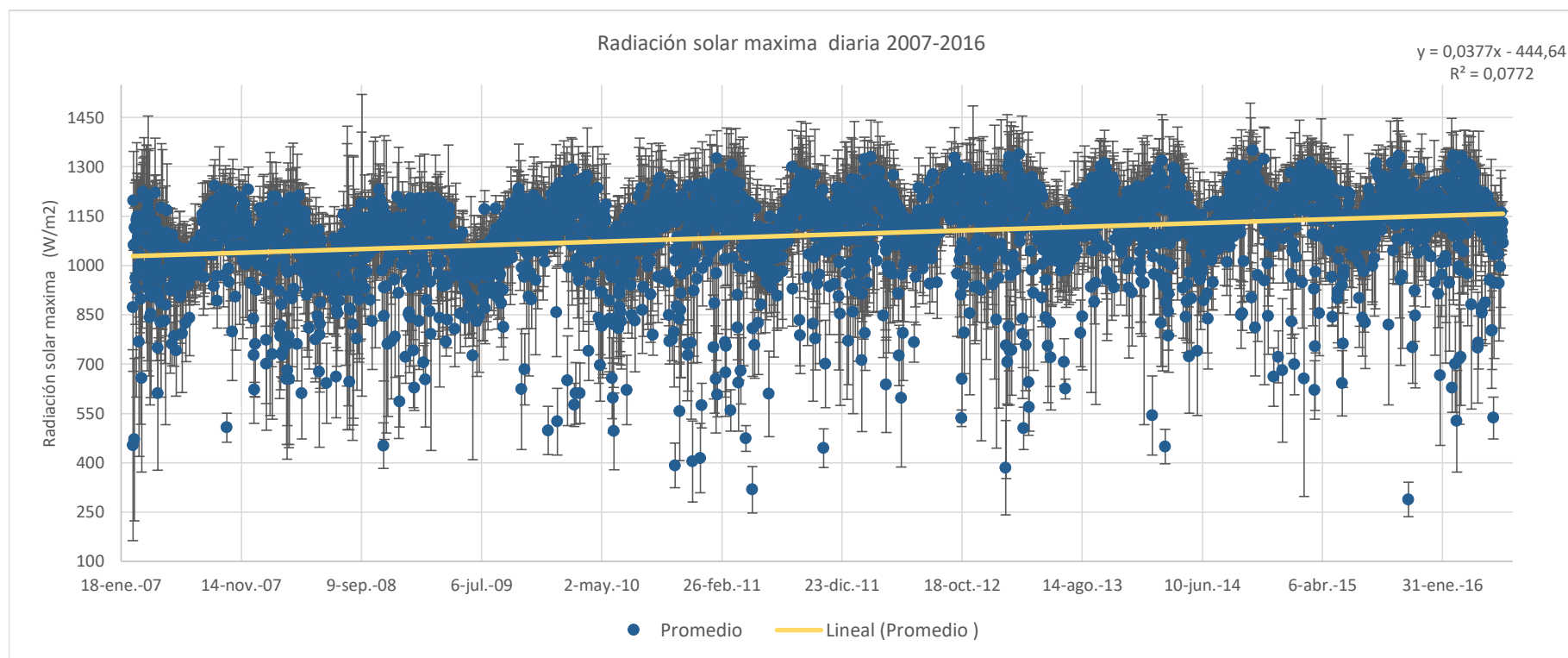


Figura 21: Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima diaria registrada en Quito, desde el 2007 al 2016. Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas.

Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2016)

Elaborado por: Pamela Franco



Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima diaria registrada en Quito, desde el 2013 al 2016.

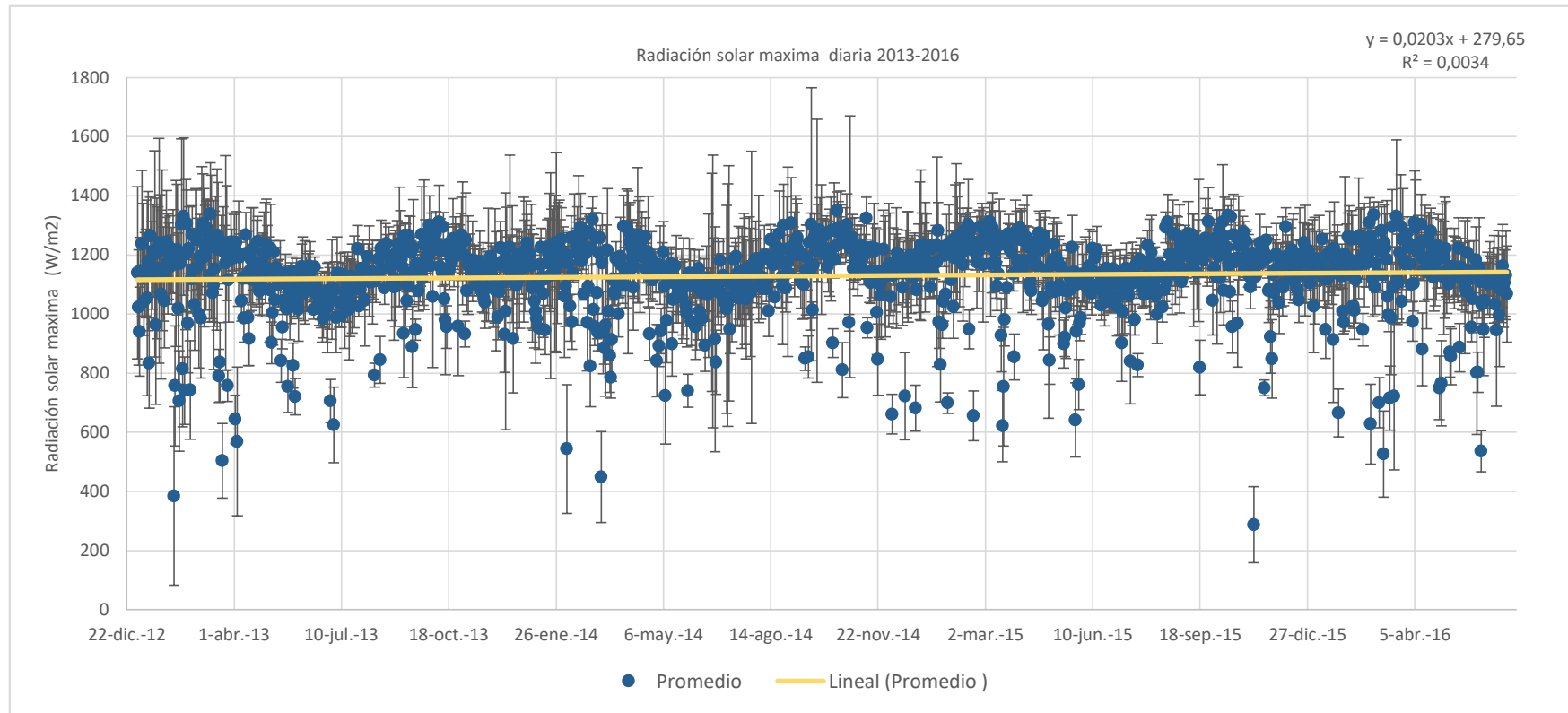


Figura 22: Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima diaria registrada en Quito, desde el 2013 al 2016. Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas.

Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2016)

Elaborado por: Pamela Franco

Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima diaria registrada en Quito, desde el 2007 al 2013.

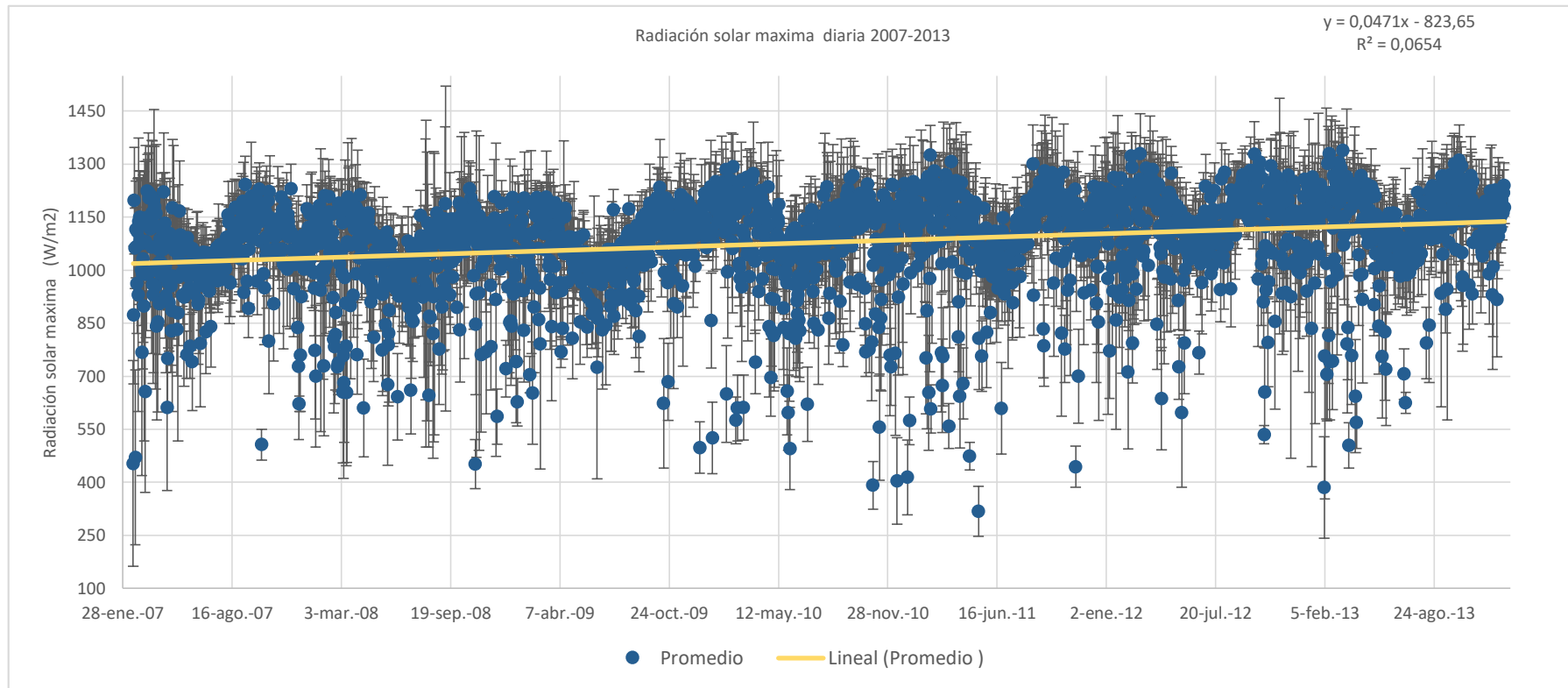


Figura 23: Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima diaria registrada en Quito, desde el 2007 al 2013. Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas

Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2016)  
Elaborado por: Pamela Franco

Tabla 3: Prueba F para varianzas de dos muestras, de los datos promedio de radiación solar máxima diaria desde a) 2007-2016, b) 2007-2013, c) 2013-2016.

a) Prueba F para varianzas de dos muestras 2007-2016

	<i>Promedio</i>	<i>Total</i>
		-
Media	1093,16768	403,427579
Varianza	17941,8727	25,5006043
Observaciones	3423	3423
Grados de libertad	3422	3422
F	703,586179	
P(F<=f) una cola	0	
Valor crítico para F (una cola)	1,05785596	

b) Prueba F para varianzas de dos muestras 2007-2013

	<i>Promedio</i>	<i>y</i>
Media	1078,40155	-772,857287
Varianza	17836,1896	39,5679814
Observaciones	2511	2511
Grados de libertad	2510	2510
F	450,773302	
P(F<=f) una cola	0	
Valor crítico para F (una cola)	1,06788002	

c) Prueba F para varianzas de dos muestras 2013-2016

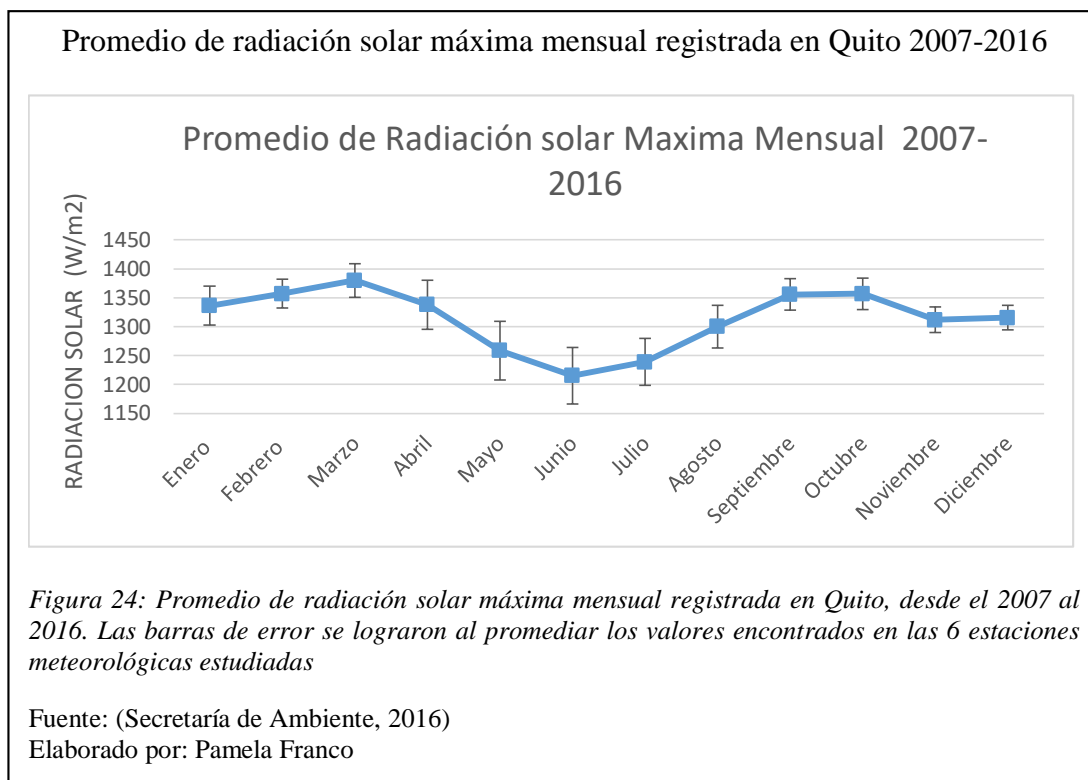
	<i>Promedio</i>	<i>Y</i>
Media	1129,31155	302,575024
Varianza	16373,9309	6,74753319
Observaciones	1277	1277
Grados de libertad	1276	1276
F	2426,65437	
P(F<=f) una cola	0	
Valor crítico para F (una cola)	1,09650566	

Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2016)

Elaborado por: Pamela Franco

## 5.2 Valores máximos promedios de radiación solar mensual

### 5.2.1 Comportamiento cíclico mensual



Se aprecia (Figura 24) un comportamiento cíclico, que responde a la presencia de los equinoccios y solsticios sobre el ecuador. El equinoccio de otoño se produce entre el 20 y 21 de marzo y el 22 o 23 de septiembre se produce el equinoccio de primavera, se caracterizan por que los rayos solares llegan perpendiculares sobre el ecuador (Inzunza, 2007), Los resultados evidencian los máximos valores de radiación registrados en los meses de Marzo y Septiembre (al igual que Octubre).

El 21 o 22 de junio se produce el solsticio de verano donde los rayos solares llegan perpendiculares a la latitud norte en 23.5° N, reduciéndose así la radiación que llega al ecuador, siendo el mes en el que menor radiación solar se registra, mientras que el 21 o 22 de diciembre se produce el solsticio de invierno, los rayos son

perpendiculares a la latitud  $23.5^\circ$  sur. Se nota la importancia de la perpendicularidad de los rayos como factor de incremento en la radiación. La diferencia entre las radiaciones mensuales máximas detectadas en los solsticios puede obedecer a la coincidencia con la temporada lluviosa, ya que la época seca en Quito, corresponde a los meses de junio, julio y agosto (Serrano et al., 2012). Al parecer las pequeñas gotas de vapor de agua, hacen eventualmente el papel de pequeños “lentes amplificadores” de la radiación solar (Zuleta & Lema, 2015), de allí la peligrosidad conocida en el saber vernáculo de los “soles de aguas”, que se refieren al sol registrado antes de la lluvia.

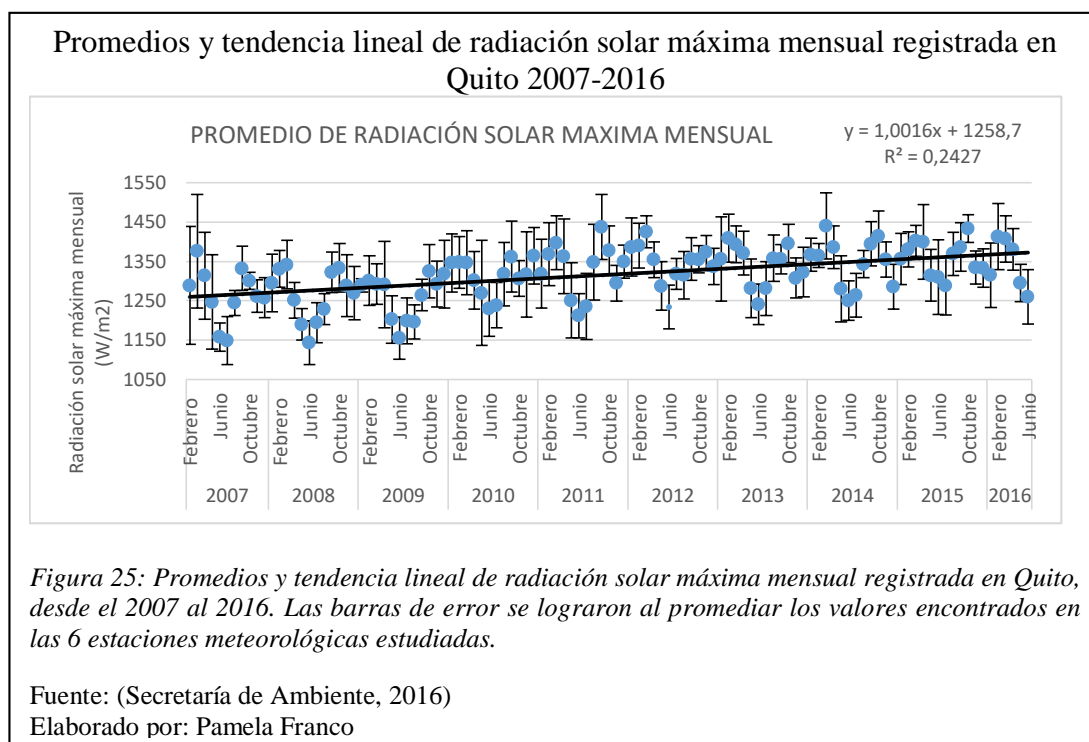
Sin embargo, la peligrosidad del “sol de verano” también es considerable, ya que, al no existir nubosidad en la época seca, se generan lapsos prolongados de alta radiación. El “sol de aguas” ocurre eventualmente, pero al ser éste un estudio de valores máximos, queda registrado. Inclusive, al revisar la variabilidad de los datos, se aprecia que el equinoccio, que coinciden con la temporada lluviosa (marzo) se obtiene valores mayores.

### **5.2.2 Radiación solar máxima mensual 2007-2016**

Se tomaron los valores mensuales máximos de radiación solar registrada en las 6 estaciones meteorológicas los que fueron promediados y obtenida la desviación estándar (Ver Figura 25).

Obteniendo el valor máximo promedio de  $1440.53 \pm 84.03$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) en el mes de Marzo del 2014 y como valor mínimo de  $1143.62 \pm 55.89$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) en el mes de Junio del 2008, de la misma manera se obtuvieron las barras de error utilizando la desviación estándar, obteniendo un valor máximo de  $1288.73 \pm 149.50$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) en el

mes de Febrero del 2007 y una desviación mínima de  $1289.45 \pm 17.18$  ( $W/m^2$ ) en el mes de Enero del 2009.



Se puede apreciar que a pesar de que todavía existe variabilidad de los datos, ésta disminuye, y se logra una tendencia lineal de  $1.0016 \text{ Watt}/m^2 \cdot \text{mes}$ , que también es significativa al 95%, al aplicar la prueba F (Ver tabla 4). Lo que quiere decir que en 10 años se podrá registrar un aumento del 0.05% de los eventos máximos de radiación total solar.

### 5.3 Radiación solar máxima anual 2007-2016

Se tomaron los valores máximos registrados por año, con esto se puede observar que existe una ligera tendencia lineal positiva (ver figura 26).

Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima anual registrada en Quito, 2007 - 2016.

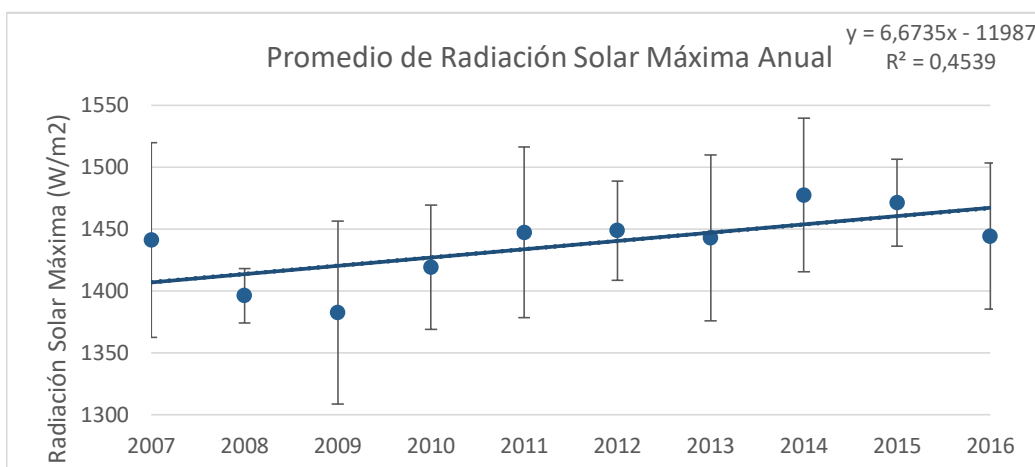


Figura 26: Promedios y tendencia lineal de radiación solar máxima anual registrada en Quito, desde el 2007 al 2016. Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas.

Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2016)  
Elaborado por: Pamela Franco

Obteniendo el valor máximo promedio de  $1477.54 \pm 61.94$  (W/m<sup>2</sup>) en el año 2014 y como valor mínimo de  $1423.78 \pm 73.82$  (W/m<sup>2</sup>) en el año 2009, de la misma manera se obtuvieron las barras de error utilizando la desviación estándar, obteniendo un valor máximo de  $1441.09 \pm 78.68$  (W/m<sup>2</sup>) en el año 2007 y una desviación mínima de  $1396.33 \pm 21.97$  (W/m<sup>2</sup>) en el año 2008.

Tabla 4: Prueba F para varianzas de dos muestras de datos de Promedio de Radiación solar máxima mensual.

	<i>Promedio recta</i>	
Media	1315,74928	1315,106073
Varianza	4437,81412	1076,474691
Observaciones	113	113
Grados de libertad	112	112
F	4,12254385	
P(F<=f) una cola	3,0641E-13	
Valor crítico para F (una cola)	1,36638922	

Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2016)  
Elaborado por: Pamela Franco

Se puede apreciar que todavía existe variabilidad de los datos, logrando una tendencia lineal de  $6.67 \text{ Watt/m}^2 \cdot \text{año}$ , que también es significativa al 95%, al aplicar la prueba F (Ver tabla 5).

*Tabla 5: Prueba F para varianzas de dos muestras de datos  
Promedios de Radiación solar máxima anual*

	<i>Promedio</i>	<i>Y</i>
Media	1437,13217	1436,74525
Varianza	899,450716	408,243021
Observaciones	10	10
Grados de libertad	9	9
F	2,20322374	
P(F<=f) una cola	0,12747053	
Valor crítico para F (una cola)	3,1788931	

Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2016)  
Elaborado por: Pamela Franco

#### **5.4 Radiación solar en tierra vs. Ciclo solar**

Con el objetivo de conocer la influencia de la actividad solar sobre los eventos máximos de radiación solar en tierra, se utilizaron los datos máximos mensuales y anuales, ya que era la resolución disponible en la NOAA. Cabe indicar que la actividad solar está directamente relacionada con el número de manchas solares, que indican la presencia de tormentas solares, mismas que se caracterizan por presentar destellos solares (*solar flares*) y la eyección de masa coronal (CME – Coronal Mass Ejections). Como se puede apreciar, a nivel mensual (Ver Figura 27) no existe una dependencia clara entre los valores máximos de radiación solar mensual encontrando una correlación de 0.4608. Aparentemente el comportamiento en tierra de la radiación solar sigue su tendencia lineal positiva mínima, relacionada con el ciclo solar, debido a la gran protección que la magnetósfera proporciona al planeta, sobretodo en el ecuador (NASA, 2007).



### Radiación solar comparada con el ciclo solar

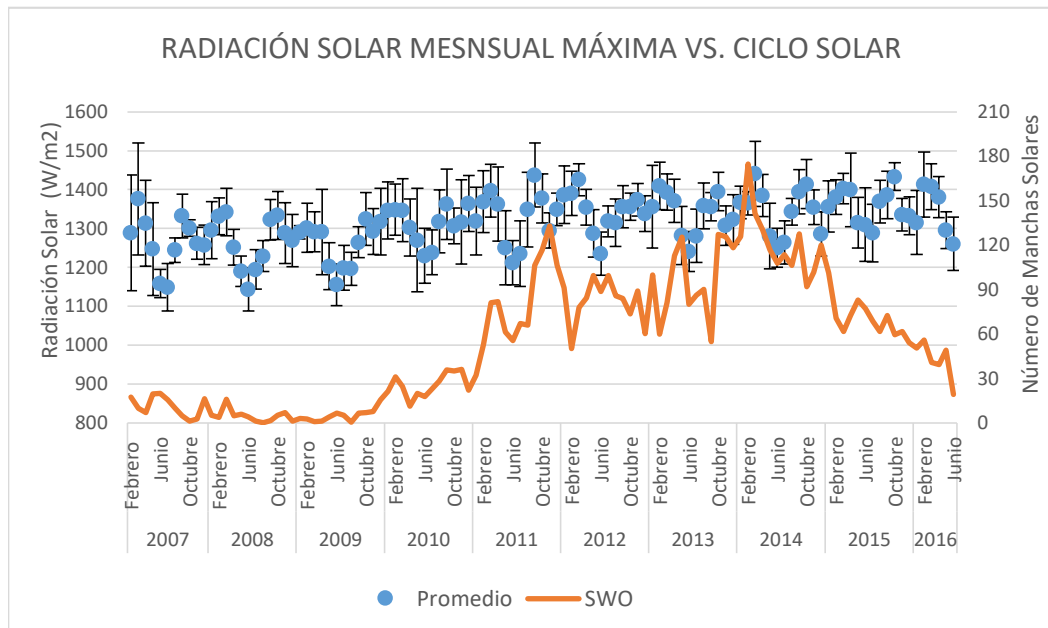


Figura 27: Radiación solar mensual máxima en tierra comparada con el número de manchas solares que determinan el ciclo solar

Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2016), (NOAA, 2016)

Elaborado por: Pamela Franco

Sin embargo, cabe destacar que en los dos puntos máximos registrados del ciclo solar, correspondientes a los meses de febrero y septiembre del 2014. También se registraron los máximos de radiación solar en tierra. Pero sólo en éstos dos, ya que en el tercer evento más alto registrado dentro del ciclo solar, correspondiente al mes de noviembre del 2011, el valor de radiación en tierra es relativamente bajo. Al parecer sólo en casos excepcionales de actividad solar, se logra transmitir esa energía hasta el ecuador del planeta en tierra.

Radiación solar máxima comparada con el valor máximo del ciclo solar 2007-2016

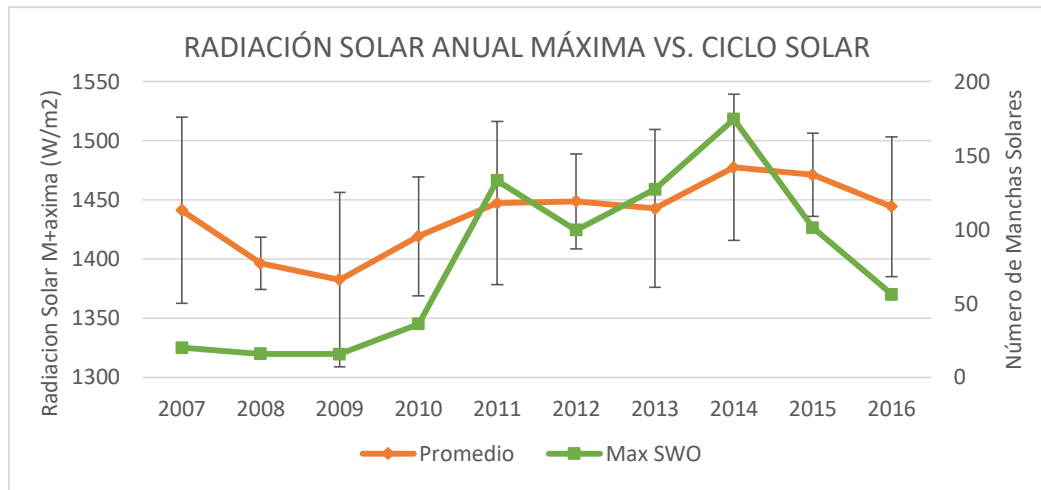


Figura 28: Radiación solar anual máxima en tierra comparada con el número de manchas solares que determinan el ciclo solar

Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2016), (NOAA, 2016)  
Elaborado por: Pamela Franco

Este comportamiento se aprecia nuevamente al encontrar los valores máximos anuales tanto de datos en tierra como satelitales, es decir que el mayor evento anual logra afectar al máximo registrado de radiación terrestre (Ver Figura 28), de esta manera, la correlación aumenta significativamente a 0,7866.

### 5.5 Radiación solar en tierra vs destellos solares

Para realizar la comparación de los valores, se analizaron únicamente los días en los que se registró un conteo mínimo de destellos solares en la banda 12-25 keV. No se estudiaron los días en los que no se detectaron destellos. Para el análisis de correlación se utilizaron los promedios de radiación solar global de las seis estaciones meteorológicas utilizadas, además de su desviación estándar para medir el

grado de dispersión o variabilidad de los datos utilizados, los resultados se presentan en la Figura 29.

Los valores de radiación solar tomados en tierra son muy variables, al compararse con los valores de destellos solares tomados en satélite, se encontró una correlación de  $-0.00187$  se evidencia así que la magnetósfera desvía la mayor parte de la energía de estos destellos, explicándose así su baja correlación.

Cabe indicar que los destellos son eventos aislados que no necesariamente se den durante el mediodía (los valores máximos de radiación máxima solar en tierra se ubican entre 11:00 a 14:00), y que por lo tanto no se relacionan directamente con los datos de radiación en tierra.

Radiación solar máxima en tierra comparada con el número de destellos solares registrados por el satélite Fermi

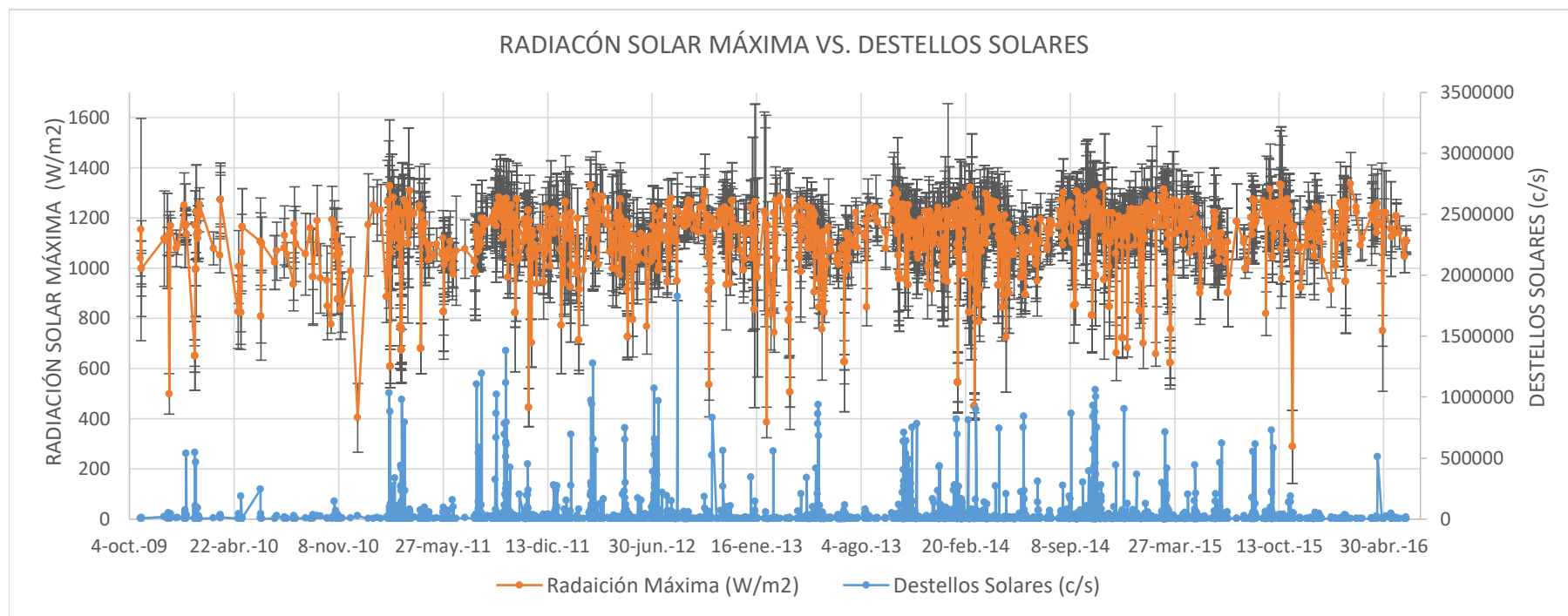


Figura 29: Radiación solar máxima en tierra en W/m<sup>2</sup>, y sus desviaciones estándar, comparada con el número de destellos solares (cuentas/segundo) registrados por el satélite Fermi. Las barras de error se lograron al promediar los valores encontrados en las 6 estaciones meteorológicas estudiadas, desde el 2008 al 2016.

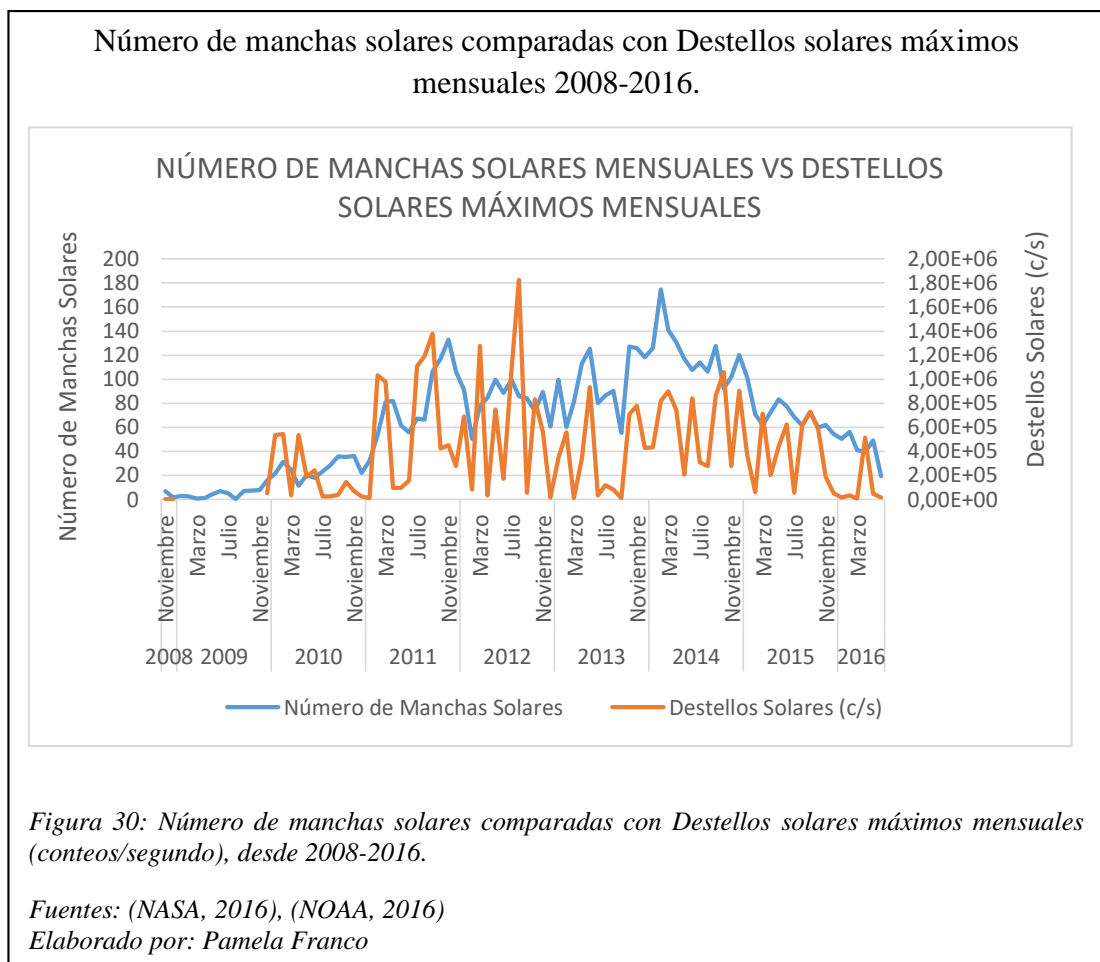
Fuente: (Secretaría de Ambiente, 2016), (NASA, 2016)

Elaborado por: Pamela Franco

## 5.6 Ciclo solar vs destellos solares

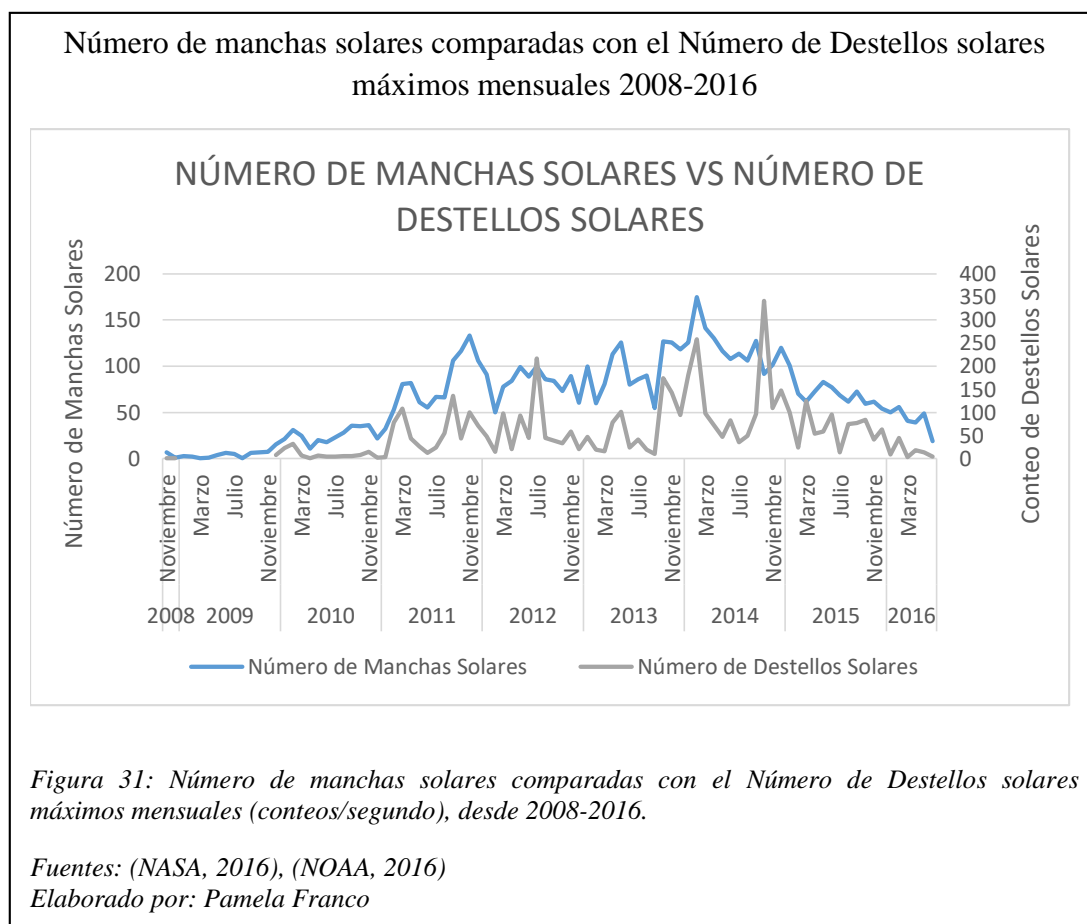
Si bien es cierto que los datos de radiación solar no se relacionan directamente con los destellos solares, éstos están relacionados con el número de manchas solares, que determinan el ciclo solar.

En la Figura 30 se aprecia, el valor máximo detectado en un mes de destellos solares vs. el valor de manchas solares registradas al mes.



Como se aprecia los valores máximos mensuales de destellos solares tomados por el satélite Fermi tiene una ligera correlación de 0,4665 con los datos de ciclo solar, (Ver Figura 30), a pesar de que los destellos son un producto de las manchas, éstos tienen magnitudes muy variables.

Así, sabiendo que los valores son número de manchas solares se realizó la comparación con el número de destellos solares totales en un mes para un mejor análisis (Ver figura 31), obteniendo una correlación que aumenta significativamente a 0.6655, entendiendo que los destellos solares son eyectados por las manchas solares.



### **5.7 Incidencia de cáncer en la piel y afecciones oculares relacionadas con la exposición a la radiación solar excesiva.**

En la Figura 32, se presenta la incidencia de las principales enfermedades relacionadas con la exposición a la radiación solar excesiva. Aunque todas presentan tendencia positiva, éste comportamiento bien puede explicarse debido a que actualmente existe en el país mejores técnicas de diagnóstico (SOLCA, 2014) mayor

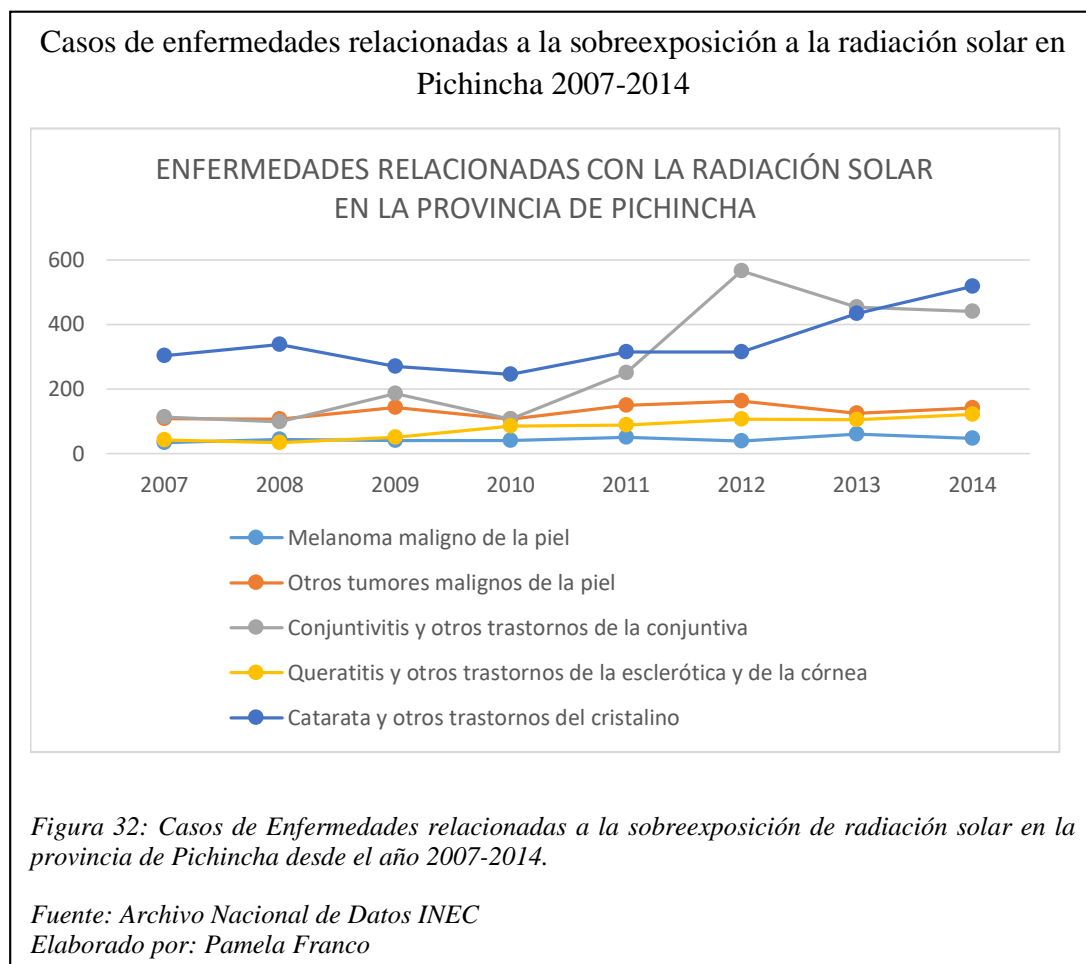
accesibilidad a atención médica por parte de la población, debido a políticas públicas de cobertura universal, e inclusive existe más información disponible de índices de morbilidad hospitalaria. Así, aunque el incremento de estas cifras puede deberse a la sobreexposición a la radiación solar, aún no se tiene información suficiente para determinar si esta es la causa principal.

Las enfermedades oftalmológicas relacionadas con sobre exposición de radiación solar se han visto en aumento en el año 2011 y 2012 ligeramente como nuestra la figura 32, en la que la mayor cantidad de casos se muestra en la conjuntivitis que se ha visto en aumento, así como las cataratas. Sin embargo, las otras enfermedades de la piel, tienen una tendencia ligeramente negativa, que se puede deber al reciente cambio actitudinal de la población en cuanto al uso de bloqueadores solares y otros tipos de protección. SOLCA (2014) reporta un incremento del 57% de incidencia de cáncer de piel desde 1986, estos resultados no contradicen a los resultados presentados en la Figura 32. Simplemente muestran cómo se puede evidenciar un cambio de comportamiento en una población con las campañas adecuadas, y cómo éste cambio no se ha realizado en caso de las enfermedades oftalmológicas, su tendencia sigue creciendo.

El evidente aumento de tumores malignos de la piel en los últimos años en la provincia, puede explicarse a un mayor interés por obtener biopsia en lesiones cutáneas, documentando los resultados obtenidos.

El fototipo de piel IV, V, VI de la población ecuatoriana es una ventaja al momento de la exposición de la radiación solar, teniendo un impacto protector mayor a los factores de riesgo físicos como la perpendicularidad de los rayos de sol por la

localización ecuatorial de nuestro país y por la altitud de las ciudades andinas (SOLCA, 2014).





## 6. CONCLUSIONES

Los valores máximos de radiación solar diaria, mensual y anual se encuentran en incremento sostenido desde el año 2007 al 2016, presentando tendencias positivas de 1350.24 W/m<sup>2</sup> \*día, sin significancia estadística; de 1.006 W/ m<sup>2</sup> \*mes y de 6.6735 W/ m<sup>2</sup> \*año, con una significancia estadística del 95%.

Al realizar el análisis estacional, se encuentra que los meses con mayor radiación solar, corresponden a los de marzo y septiembre; resultado congruente con la aparición de los equinoccios de primavera (21 de marzo) y otoño (21 septiembre). El mes de marzo es el que mayor radiación solar máxima presenta. Los meses con menores valores máximos de radiación solar, son diciembre y julio, que corresponden a los meses de solsticio de verano e invierno respectivamente. De los dos, julio es el mes con menores valores de radiación solar máxima.

Se evidencia el efecto de la temporada lluviosa, como un amplificador de la radiación solar recibida en tierra (mes de marzo). Aparentemente, las gotas de agua de gran tamaño que preceden los eventos de precipitación, actúan como lentes que multiplican los valores máximos percibidos de radiación (Zuleta y Lema, 2015). Es decir, se respalda el conocimiento vernáculo del efecto del “sol de aguas”, como un período de alta radiación solar.

Aunque no se encuentra una correlación a nivel mensual entre la actividad solar, determinada por el número de manchas solares y la radiación solar en tierra (0.46), sí existe correlación al realizar una comparación a nivel anual (0.7866), esto se debe porque aquellos años en los que mayor actividad solar ha existido, sí ha generado picos mayores en los datos en tierra. Sin embargo, el comportamiento de la actividad solar no explica la tendencia positiva de los valores de radiación solar.

Por otro lado, existe una baja correlación entre la radiación solar en tierra con los destellos solares en satélite (0.07) evidencian que la magnetósfera que protege el planeta desvía mayoritariamente la energía que producen estos destellos, la naturaleza ocasional de los destellos solares disminuye su correlación con los eventos en tierra y no justifican su tendencia positiva. Los destellos solares se producen a cualquier hora del día no específicamente en las horas de mayor radiación solar en tierra que se da aproximadamente en horas del mediodía.

De esta manera, se concluye que el incremento de radiación solar no se debe al comportamiento del sol, si no causas terrestres. Principalmente, se propone que el incremento de esta radiación se debe a efectos de incremento de temperatura, relacionada con efectos del cambio climático.

Finalmente, las enfermedades relacionadas con la sobreexposición a la radiación solar estudiadas muestra que existe un aumento en las enfermedades oftalmológicas en especial conjuntivitis y cataratas evidenciando que no existe una conciencia de cuidado oftalmológico, al contrario de las enfermedades de piel en las que se evidencia una ligera disminución, esto puede deberse a que existe mayor conciencia de cuidado en la población al uso de protección, además de que los servicios de salud han mejorado realizando exámenes que previenen este tipo de enfermedades (SOLCA,2014).

## **7. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar esta investigación con el instrumental necesario para determinar los espectros de radiación en las diferentes bandas UV, tomados conjuntamente con el valor de radiación total, y así definir qué porcentaje corresponde a cada nivel de energía.

Los organismos gubernamentales deben implementar campañas de cuidado ocular, para evitar el incremento de enfermedades oftalmológicas, como se ha hecho en campañas de cuidados de la piel, los cuales han mostrado efectividad en la prevención de enfermedades dermatológicas.

Asimismo, los niños no deben ser expuestos a la radiación solar en el horario de 11h00 a 14h00 en donde la radiación solar máxima registra sus valores más altos.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Abal, G. (n.d.). Fundamentos de Energía Solar RADIACIÓN SOLAR, 1–88.  
Recuperado de [https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/54561/mod\\_resource/content/1/Curso-FES-Radiacion-solar-v2.3.pdf](https://eva.fing.edu.uy/pluginfile.php/54561/mod_resource/content/1/Curso-FES-Radiacion-solar-v2.3.pdf)
- Ahrens, D. (2012). *Meteorology today an introduction to weather, climate, and the environment*. Cengage Learning.
- Bellot, L. (2007). El interior de las manchas solares. *Informcion Y Actualidad Astronomica*, 21(Información y actualidad astronomica).
- Benavides, H. (2010). INFORMACIÓN TECNICA SOBRE LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA, EL ÍNDICE UV Y SU PRONÓSTICO DOCUMENTO.
- Cañarte, K. (2010). Radiación ultravioleta y su efecto en la salud. *Water Disinfection*, 92–102. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo4.pdf>
- Casado, J., & Serra-Ricart, M. (n.d.). Seguimiento de la actividad solar, 1–14.
- Cazorla, M. (2013). Análisis de los datos horarios de radiación solar y abundancia de ozono del Distrito Metropolitano de Quito del 2007 al 2012, 5(2).
- Costa, A., García, B., & Moreno, R. (n.d.). Espectro Solar y Manchas Solares, 169–188.
- Duhau, S. (2011). Actividad Solar y Cambio Climático, 1–10.
- Enviromental Health Perspectives. (2013). Las radiaciones ultravioleta y el cáncer de

piel. *Salud Publica de Mexico*, 55(1), 96–103. <https://doi.org/10.1590/S0036-36342013000100014>

*El observatorio espacial Fermi*. (28 de Octubre de 2016). Recuperado de El telescopio espacial de Rayos Gamma Fermi es un observatorio orbital: <http://astrojem.com/instrumental/telescopiofermi.html>

EPA. (2001). El sol , la radiación radiación ultravioleta y usted: Guía SunWise para la exposición al sol.

Fermi Gamma-ray Space Telescope. (28 de Octubre de 2016). *The Fermi Large Area Telescope*. Recuperado de The Fermi Large Area Telescope: <https://www-glast.stanford.edu/>

Fontal, B. (2005). El Espectro Electromagnético y sus Aplicaciones. *Escuela de La Ingeniería, 1*, 24.

Germán Santamaría, A. C. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editex.

González-Púmariega, M., Tamayo, M. V., & Sánchez-Lamar, Á. (2009). La Radiación Ultravioleta. Su Efecto Dañino Y Consecuencias Para La Salud Humana. *Theoria*, 18(2), 69–80.

González Bosquet, L. (2003). Los efectos nocivos de la radiación solar y la forma de combatirlos, 22.

Hathaway, D. (10 de Enero de 2008). *Ciencia Beta*. Recuperado de Comienza el ciclo solar número 24: [https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2008/10jan\\_solarcycle24](https://ciencia.nasa.gov/science-at-nasa/2008/10jan_solarcycle24)

Hathaway, D. H. (6 de Octubre de 2016). *Nasa* . Recuperado de Solar Cycle Prediction: <http://solarscience.msfc.nasa.gov/predict.shtml>

Kipp & Zonen B.V. (25 de Octubre de 2016). *CMP3 Piranómetro*. Recuperado de [http://www.kippzonen.es/Product/213/CMP3-Piranometro#.WA\\_zOvI9600](http://www.kippzonen.es/Product/213/CMP3-Piranometro#.WA_zOvI9600)

Lema, C. Z. (2015). SOLMÁFORO (SEMÁFORO SOLAR): MODELO AMBIENTAL DE ALERTA POR EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN SOLAR EN QUITO. QUITO, ECUADOR.

NASA. (19 de Enero de 2016). *NASA*. Recuperado de Fermi: Gamma-ray Space Telescope: <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>

NASA. (6 de Diciembre de 2016). *National Aeronautics and Space Administration*. Recuperado de Fermi GBM Flare List: [http://hesperia.gsfc.nasa.gov/fermi/gbm/qlook/fermi\\_gbm\\_flare\\_list.txt](http://hesperia.gsfc.nasa.gov/fermi/gbm/qlook/fermi_gbm_flare_list.txt)

NASA. (7 de Noviembre de 2016). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Recuperado de Recent Solar Indices: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/weekly/RecentIndices.txt>

NOAA. (7 de Noviembre de 2016). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Recuperado de Recent Solar Indices: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/weekly/RecentIndices.txt>

NOAA. (2 de Diciembre de 2016). *Satellite and Information Service*. Recuperado de Currently Flying: <https://www.nesdis.noaa.gov/?q=content/currently-flying>

Secretaría de Ambiente . (6 de Noviembre de 2016). *Red Monitoreo Admosferico*. Recuperado de

<http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>

Secretaría de Ambiente. (25 de Octubre de 2016). *Red de Monitoreo Atmosférico*.

Recuperado de Red de Monitoreo Atmosférico:  
<http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>

Secretaría de Ambiente. (20 de Julio de 2016). *Secretaría de Ambiente*. Recuperado de Reporte de Datos : <http://190.11.24.212/reportes/ReporteDiariosData.aspx>

Instituto de Salud Publica de Chile. (2007). EXPOSICIÓN LABORAL A LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA DE ORIGEN SOLAR SECCIÓN, 1–24.

Inzunza, J. (2007). *Metereología Descriptiva*, 35–57. Recuperado de [http://old.dgeo.udec.cl/~juaninzunza/docencia/metodologia\\_descriptiva/cap2.pdf](http://old.dgeo.udec.cl/~juaninzunza/docencia/metodologia_descriptiva/cap2.pdf)

Kipp & Zonen. (2010). Piranómetros.

Kipp & Zonen B.V. (25 de Octubre de 2016). *CMP3 Piranómetro*. Recuperado de [http://www.kippzonen.es/Product/213/CMP3-Piranometro#.WA\\_zOv19600](http://www.kippzonen.es/Product/213/CMP3-Piranometro#.WA_zOv19600)

Mendoza, B. (2007). Revista Digital Universitaria CALENTAMIENTO GLOBAL Y ACTIVIDAD SOLAR Calentamiento global y actividad solar. Recuperado de [http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art75/oct\\_art75.pdf](http://www.revista.unam.mx/vol.8/num10/art75/oct_art75.pdf)

Mora, M., Olivares, A., González, T., & Castro, I. (2010). El sol: ¿enemigo de nuestra piel?, *14*(6), 825–837.

NASA. (2007). Condiciones del tiempo en el espacio, 5. <https://doi.org/EW-2006-5-024-GSFC>

NASA. (2016a). Cycle22Cycle23Cycle24big.

NASA. (2016b). spacecraft.

NASA. (19 de Enero de 2016). NASA. Recuperado de Fermi: Gamma-ray Space Telescope: <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>

NASA. (6 de Diciembre de 2016). *National Aeronautics and Space Administration*. Recuperado de Fermi GBM Flare List: [http://hesperia.gsfc.nasa.gov/fermi/gbm/qlook/fermi\\_gbm\\_flare\\_list.txt](http://hesperia.gsfc.nasa.gov/fermi/gbm/qlook/fermi_gbm_flare_list.txt)

NASA. (7 de Noviembre de 2016). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Recuperado de Recent Solar Indices: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/weekly/RecentIndices.txt>

NOAA. (7 de Noviembre de 2016). *National Oceanic and Atmospheric Administration*. Recuperado de Recent Solar Indices: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ftp://ftp.swpc.noaa.gov/pub/weekly/RecentIndices.txt>

NOAA. (2 de Diciembre de 2016). *Satellite and Information Service*. Recuperado de Currently Flying: <https://www.nesdis.noaa.gov/?q=content/currently-flying>

OMS. (2003). Índice UV Solar Mundial, 1–34.

OMS. (2009). *Las radiaciones ultravioleta y la salud humana*.

Plasencia S, E., Matos C, L., Posadas, A., & Cabrera, C. (2007). Estimación horaria



de la irradiancia solar total extraterrestre. *Revista Del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 10, 72–77. Recuperado de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol10\\_n19/a07.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/publicaciones/geologia/vol10_n19/a07.pdf)

Portero, S. (n.d.). Radiación Ultravioleta. *Zhurnal Eksperimental'noi I Teoreticheskoi Fiziki*. Recuperado de <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:No+Title#0>

Quiroga, H. (n.d.). Introducción a la radiación ultravioleta (UV) y ozono. *Clasicos En Español*.

Rodríguez, A., & Buitrón, M. (2015). Enfermedades sensibles al clima, Distrito Metropolitano de Quito, un análisis temporal en el periodo 2001-2010. *La Granja*, 21(1), 16–33. <https://doi.org/10.17163/lgr.n21.2015.02>

Sanz, J. (2013). El enigmático ciclo de actividad del Sol.

Secretaría de Ambiente . (6 de Noviembre de 2016). *Red Monitoreo Admosferico*. Recuperado de <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>

Secretaría de Ambiente. (25 de Octubre de 2016). *Red de Monitoreo Atmosférico*. Recuperado de Red de Monitoreo Atmosférico: <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/politicas-y-planeacion-ambiental/red-de-monitoreo>

Secretaría de Ambiente. (20 de Julio de 2016). *Secretaría de Ambiente*. Recuperado de Reporte de Datos : <http://190.11.24.212/reportes/ReporteDiariosData.aspx>

- Serrano, S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacís, M. (2012). ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS METEOROLÓGICOS MENSUALES Y DIARIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO. *La Granja*, 16(May 2016), 23–47.
- SOLCA. (2014). *Epidemiología del Cancer en Quito*.
- Universidad Complutense Madrid. (2016). El Telescopio Espacial “ Fermi ” de rayos gamma de la NASA mejora su visión de altas energías ofreciendo imágenes más claras y mejor localizadas.
- Varo Martínez, M. M. (2006). Modelización de la radiación ultravioleta solar, 329.
- Zuleta, D., & Lema, C. (2015). *SOLMÁFORO (SEMÁFORO SOLAR): MODELO AMBIENTAL DE ALERTA POR EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN SOLAR EN QUITO*. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO.