



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NORENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

“METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE
FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO
EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR”

*TESIS DE GRADO PREVIO A
OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO
ELECTROMECAÁNICO*

AUTOR:

Luis Gustavo Luna Jaramillo

DIRECTOR:

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg.Sc.

ASESOR:

Dr. Orlando Álvarez Hernández, Ph.D.

LOJA- ECUADOR

2014

1859



CERTIFICACIÓN

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa **“METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGION SUR DEL ECUADOR”**, previa a la obtención del título de Ingeniero Electromecánico, realizado por el señor egresado: **Luis Gustavo Luna Jaramillo**, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja 09 de Julio del 2014

Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TESIS

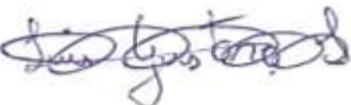


AUTORÍA

Yo **Luis Gustavo Luna Jaramillo** declaro ser autor del presente trabajo de tesis y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos o acciones legales por el contenido de la misma.

Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja, la publicación de mi tesis en el Reposito Institucional-Biblioteca Virtual.

Autor: Luis Gustavo Luna Jaramillo.

Firma: 

Cedula: 1104729700

Fecha: Octubre 2014





CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR, PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TEXTO COMPLETO.

Yo **Luis Gustavo Luna Jaramillo** declaro ser autor de la tesis titulada: **"METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR"**, como requisito para optar el grado de: **Ingeniero Electromecánico**; autorizo al Sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos, muestre al mundo la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Reposito Digital Institucional:

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el RDI, en las redes de información del país y del exterior, con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia de la tesis que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, 15 días del mes de Octubre del dos mil catorce.

Firma:

Autor: Luis Gustavo Luna Jaramillo.

Cedula: 1104729700

Dirección: Los Rosales

Correo Electrónico: lic.navarrito.luna@hotmail.com

Teléfono: 2710129

Celular: 0991319264

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director de Tesis : Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, Mg. Sc.

Tribunal de Grado: Ing. Thuesman Estuardo Montaña Peralta, Mg. Sc.

Ing. Carlos Raúl Barreto Calle.

Ing. José Fabricio Cuenca Granda, Mg. Sc.



DEDICATORIA

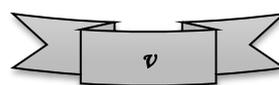
Esta tesis se la dedico a Dios quién guío mi camino, dándome fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mis padres Elvia e Hinmar por su apoyo, consejos, comprensión, amor, en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar, ya que me han dado muchos consejos para ser lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos que con sus palabras de aliento nunca bajaron los brazos para que yo tampoco lo haga aún cuando todo se complicaba, al igual que mis sobrinos, Manuel, y Danna porque llenan de alegría cada día de mi vida.

A mi esposa Edith Camacho, quien es la que siempre me ha apoyado en las buenas y en las malas, dándome cariño cuando más lo he necesitado y reprimiendo mis malas acciones para que haga siempre lo mejor y para que alcance mis objetivos como profesional, con su apoyo constante y amor incondicional ha sido amiga y compañera inseparable, fuente de sabiduría, calma y consejo en todo momento.

Luis Gustavo Luna Jaramillo.





AGRADECIMIENTO

Expreso mi profunda gratitud y reconocimiento a la Universidad Nacional de Loja, a los Directivos y Docentes del Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, quienes con su dedicación y seriedad impartieron sus valiosos conocimientos y sus sabias experiencias, brindándome comprensión en todos los momentos de mi formación profesional.

De manera especial al Dr. Orlando Álvarez Hernández quien en calidad de tutor, supo dirigir sus conocimientos hacia mi persona para con éxito realizar la presente tesis, que me enseñó tanto de la profesión como de la vida, impulsándome siempre a seguir adelante.

Así mismo agradezco al Ing. Jorge Luis Maldonado Correa, quien me dirigió en el proceso de elaboración, avance y culminación del presente trabajo, con su visión crítica de muchos aspectos cotidianos de la vida, por sus consejos, que ayudaron a formarme como Profesional.

Luis Gustavo Luna Jaramillo.



ABREVIATURAS

APT	:	Automatic Picture Transition.
AVHRR	:	Radiómetro.
EUMETSAT	:	Operador de Satélites Meteosat.
GOES	:	Satélite operativo geoestacionario.
HRI	:	High Resolution Image.
HRPT	:	High Resolution Picture Transition.
IR	:	Infrarroja.
MDT	:	Estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.
METEOR	:	Satélite de Órbita Polar de origen Ruso.
MVISR	:	Multichannel Visible and IRN Scan Radiometer.
OMM	:	Organización Meteorológica Mundial.
NASA	:	Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio.
NESDIS	:	National Environmental Satellite, Data, and Information Service.
NOAA	:	Administración nacional oceánica y atmosférica.
NSMC	:	Centro Meteorológico Nacional de los Satélites.
RAINSAT	:	Imágenes que contienen datos de temperatura del mar, del suelo o índices de vegetación.
SIG	:	Sistema de Información Geográfica.
SRC PLANETA	:	Operador de Satélites GOMS.
TIROS	:	Satélite de observación por televisión e infrarrojo.
UTM	:	El sistema de coordenadas universal transversal de



Mercator.

VISSR : Visible and Infrared Spin Scan Radiometer.

WEFAX : WeatherFacsimile.

WA : Imágenes que representan la humedad de la media y alta
Troposfera.

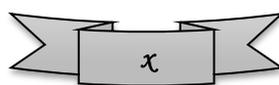


TABLA DE CONTENIDOS

<i>CERTIFICACIÓN</i>	<i>ii</i>
<i>AUTORÍA</i>	<i>iii</i>
<i>CARTA DE AUTORIZACIÓN DE TESIS POR PARTE DEL AUTOR.</i>	<i>iv</i>
<i>DEDICATORIA</i>	<i>v</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i>	<i>vi</i>
<i>ABREVIATURAS</i>	<i>vii</i>
<i>a. TÍTULO</i>	<i>12</i>
<i>b. RESUMEN.</i>	<i>13</i>
<i>c. INTRODUCCIÓN.</i>	<i>15</i>
<i>d. REVISIÓN DE LITERATURA.</i>	<i>17</i>
d.1. CAPÍTULO I: RADIACIÓN SOLAR	17
d.1.1 CONCEPTO	17
d.1.2 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR	17
d.1.3 EFECTOS DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE LOS GASES ATMOSFÉRICOS	18
d.1.4 LA ENERGÍA SOLAR COMO MOTOR DE LA ATMÓSFERA	19
d.1.5 RADIACIÓN SOLAR EN LA TIERRA	20
d.1.6 BALANCE TÉRMICO Y CANTIDADES PROPORCIONALES DE RADIACIÓN SOLAR	20
d.1.7 ESPECTRO DE LA RADIACIÓN SOLAR	22
d.1.8 FACTORES QUE AFECTAN LA CANTIDAD DE RADIACIÓN SOLAR	28
d.1.9 VARIACIONES DE LA RADIACIÓN SOLAR	29
d.1.10 ABSORCIÓN RADIACIÓN SOLAR	29
d.1.11 REFLEXIÓN RADIACIÓN SOLAR	29
d.1.12 DISPERSIÓN RADIACIÓN SOLAR	29
d.1.13 EFECTOS RADIACIÓN SOLAR	30



d.2	CAPÍTULO II: METEOROLOGÍA	32
d.2.1	HISTORIA DE LA METEOROLOGÍA	32
d.2.2	CONCEPTO	32
d.2.3	EQUIPOS E INSTRUMENTOS METEOROLÓGICOS	33
d.2.4	ALGUNAS RAMAS DE LA METEOROLOGÍA	33
d.2.5	ESTACIONES METEOROLÓGICAS	34
d.3	CAPÍTULO III: LOS SATÉLITES METEOROLÓGICOS	38
d.3.1	GENERALIDADES:	38
d.3.2	LAS ÓRBITAS DE LOS SATÉLITES	38
d.3.3	CLASIFICACIÓN, UTILIDAD Y OBJETIVOS:	39
d.3.4	SATÉLITES DE ÓRBITA POLAR:	40
d.3.5	SATÉLITES DE ÓRBITA GEOESTACIONARIA:	43
d.3.6	PRODUCTOS DE LOS SATÉLITES METEOROLÓGICOS	47
d.3.7	INSTALACIÓN ADECUADA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	49
d.4.1	CONCEPTO	51
d.4.2	MISIÓN DEL PROGRAMA GOES-R	52
d.4.3	INSTRUMENTOS DE LOS SATÉLITES GOES-R	54
d.4.4	GENERADOR DE IMÁGENES	56
d.4.5	SISTEMA Y SERVICIOS SATELITALES	58
d.5	CAPÍTULO V: SOFTWARE STATGRAPHICS	61
d.5.1	CONCEPTO	61
d.5.2	CARACTERÍSTICA	62
d.5.2	VENTANAS DEL STAGRAPHICS	63
d.6	CAPÍTULO VI: GEOREFERENCIACIÓN Y NIVELES DIGITALES	67
d.6.1	PIXELES O LÍNEAS PÉRDIDAS	67
d.6.2	BANDEADO	67
d.6.3	GEOREFERENCIACIÓN Y CORRECCIÓN GEOMÉTRICA DE IMÁGENES DEL SATÉLITE	68
d.6.4	APLICACIONES EN DISTINTAS LONGITUDES DE ONDA	71
d.6.5	INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	71





**METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS
SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR**

e. MATERIALES Y MÉTODOS.	79
e.1 Materiales	79
e.2 Métodos	80
f. RESULTADOS	81
g.- DISCUSIÓN.	106
g. CONCLUSIONES.	107
h. RECOMENDACIONES.	108
i. BIBLIOGRAFÍA.	109
j. ANEXOS.	110



a. TÍTULO

“METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR”



b. RESUMEN.

La Radiación Solar juega un papel esencial en el contexto tecnológico y social del mundo, pues el conocimiento de la energía que transfiere el sol a la tierra en cantidad y magnitud es muy importante ya que con ello podemos construir tecnología para recolección de energía solar y transformarla en energía térmica y eléctrica, impulsando el desarrollo a pequeña y gran escala para beneficiar a la colectividad.

El presente trabajo de Tesis denominado **“METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR”**, se lo realizó para cumplir con el requisito previo a optar el grado de Ingeniero Electromecánico.

Para ello es necesario la aplicación de programas informáticos que ayudarán a calcular Radiación Solar con la finalidad de obtener datos confiables para poder hacer una serie de actividades tecnológicas y de estudios, de cómo se transfiere energía del sol hacia la tierra sin usar Estaciones Meteorológicas y así cumplir con el objetivo principal del presente trabajo de investigación, que es:

Desarrollar una Metodología para calcular datos de Radiación Solar a través de Fotografías satelitales visibles e infrarrojas, validada por estaciones meteorológicas ubicadas en la Región Sur del Ecuador.



b.1.SUMMARY

The Solar radiation plays a very important and essential roll to the technology and social context in the World, as the knowledge of the energy which is transferred by the Sun to the Earth in quantity is very important as with it we can build technology to collect solar energy and transform into thermic and electric, which would develop growth to the society.

This thesis work has been called “**METODOLOGY TO CALCULATE THE SOLAR RADIATION TROUGH SATELLITE PHOTHOGRAPPS VISIBLE AND INFRARRED**” Which was carried out to comply with the University requirements to obtain an electro mechanic engineer degree.

So it is necessary to the application of the software programs that help to calculate solar radiation with the purpose of obtaining reliable data or information to make a series of technologic activities and studies of how the Sun energy is transferred to the Earth without using weather stations and sic imply with the main objectives of the present research work as:

Develop a methodology to calculate data of the radiation through satellite photographs visible and infrared, which are validated by the weather stations on the south region of Equator.



c. INTRODUCCIÓN.

La Radiación Solar es de gran importancia ya que todas las variables climáticas dependen, en mayor o menor medida, de las radiaciones solares. El Sol siempre ha llamado la atención del hombre. De hecho, se ha considerado en muchas ocasiones una divinidad. El Sol es nuestra estrella, permite que haya vida en la Tierra y es el eje central del Sistema Solar. La Radiación Solar es una fuente de energía renovable y constituye una herramienta de trabajo, para cualquier organismo que trabaje en la producción de energía térmica o eléctrica. Con la finalidad de Contribuir al desarrollo tecnológico es necesaria una adecuada información de Radiación Solar, que constituirá el éxito del crecimiento y progreso de una sociedad que busca la manera de generar energía que sea eficiente y no contaminante.

El presente trabajo de investigación se basa de acuerdo a los objetivos planteados, los cuales son:

Objetivo general:

Desarrollar una Metodología para estimar datos de Radiación Solar a través de Fotografías satelitales visibles e infrarrojas, validada por estaciones meteorológicas ubicadas en la Región Sur del Ecuador.

Objetivos específicos:

- Sistematizar la información sobre la captura y edición de Fotografías Satelitales.
- Elaborar la Metodología que permita estimar la Radiación Solar a través de Fotografías Satelitales.
- Validar la Metodología implementada mediante los datos registrados en las Estaciones Meteorológicas disponibles en la Región Sur del Ecuador.

La presente tesis de investigación está estructurada de la siguiente manera: **Título**, que es el tema del Trabajo de Tesis; **Resumen**, en el cual se detalla una breve síntesis del Trabajo propuesto; **La Introducción**, que refleja la importancia y aporte científico-técnico del título, así como la estructura del trabajo, la **Revisión de Literatura** en la que expone conceptualizaciones básicas, relacionados con el tema de estudio, luego se



detallan los **Materiales y Métodos** que se utilizaron para la realización de este trabajo; **Resultados**, en donde se realiza cada uno de los pasos de la metodología para calcular Radiación Solar y luego realizar una comparación entre los datos de Radiación Solar calculados y los datos de las Estaciones Meteorológicas, demostrando que la metodología ha tenido eficiencia; **Discusión**, es donde se analiza en que ha incidido o de qué manera ha aportado la tesis al sector que se la enfocó y finalmente se elaboró las **Conclusiones y Recomendaciones**; que son dirigidos a cada una de las personas que observarán y utilizarán la presente tesis para realizar cálculos y estudios posteriores y por último se presenta la **Bibliografía**; la cual sirvió como un referente de consulta para el desarrollo del trabajo y **Anexos** que son parte complementaria e indispensable de esta Tesis.



d. REVISIÓN DE LITERATURA.

d.1. CAPÍTULO I: RADIACIÓN SOLAR

d.1.1 CONCEPTO

“La Radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 *K* en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear, que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar. El Sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro el cual emite energía siguiendo la ley de Planck a la temperatura ya citada. La radiación solar se distribuye desde el infrarrojo hasta el ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la Tierra, porque las ondas ultravioletas más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la Tierra es la irradiancia, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la Tierra. Su unidad es el W/m^2 (vatio por metro cuadrado).”¹

d.1.2 DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA RADIACIÓN SOLAR

“La aplicación de la Ley de Planck al Sol con una temperatura superficial de unos 6000 *K* nos lleva a que el 99% de la radiación emitida está entre las longitudes de onda 0,15 μm (micrómetros) y 4 μm . El Sol emite en un intervalo espectral de 150 *nm* hasta 4 μm . La luz visible se extiende desde 380 *nm* a 830 *nm*.

La atmósfera de la Tierra constituye un importante filtro que hace inobservable radiaciones de longitud de onda inferiores a las 0,29 μm por la fuerte absorción del ozono y el oxígeno. Ello nos libra de la ultravioleta más peligrosa para la salud. La atmósfera es opaca a toda radiación infrarroja de longitud de onda superior a las 24 μm , ello no afecta a la Radiación solar pero sí a la energía emitida por la Tierra que llega hasta las 40 μm y que es absorbida. A este efecto se lo conoce como efecto invernadero.

¹PAREJA APARICIO Miguel, Radiación Solar y su aprovechamiento energético, Primera edición, pág. 14.



El máximo (Ley de Wien) ocurre a $0,475\mu m$. Considerando la ley de Wien ello corresponde a una temperatura de:

$$T = \frac{287,6 \mu m K}{0.475\mu m} = 6099K. \text{Ecuación (1)}$$

Dónde: T= Temperatura

Pero la emisión solar difiere de la de un cuerpo negro, sobre todo en el ultravioleta. En el infrarrojo se corresponde mejor con la temperatura de un cuerpo negro de $5779 K$ y en el visible con $6090 K$. Ello nos habla de que la radiación solar no se produce en las mismas capas y estamos observando la temperatura de cada una de ellas donde se produce la energía.

d.1.3 EFECTOS DE LA RADIACIÓN SOLAR SOBRE LOS GASES ATMOSFÉRICOS

La atmósfera es diatérmana es decir, que no es calentada directamente por la radiación solar, sino de manera indirecta a través de la reflexión de dicha radiación en el suelo y en la superficie de mares y océanos.

- Los fotones según su energía o longitud de onda son capaces de:
 - ✓ Fotoionizar la capa externa de electrones de un átomo.
 - ✓ Excitar electrones de un átomo a una capa superior (requiere longitudes de onda entre $0,1$ de μm y $1\mu m$).
 - ✓ Disociar una molécula (requiere longitudes de onda entre $0,1$ de μm y $1\mu m$).
 - ✓ Hacer vibrar una molécula (requiere longitudes de onda entre $1 \mu m$ y $50\mu m$).
 - ✓ Hacer rotar una molécula (requiere longitudes de onda mayores que $50\mu m$).

La energía solar tiene longitudes de onda entre $0,15 \mu m$ y $4 \mu m$ por lo que puede ionizar un átomo, excitar electrones, disociar una molécula o hacerla vibrar.



La energía térmica de la Tierra (radiación infrarroja) $3\ \mu\text{m}$ a $80\ \mu\text{m}$ por lo que sólo puede hacer vibrar o rotar moléculas, es decir, calentar la atmósfera."²

d.1.4 LA ENERGÍA SOLAR COMO MOTOR DE LA ATMÓSFERA

“La energía recibida del sol, después de atravesar la atmósfera de la Tierra casi sin calentarla por el efecto de la adiaternancia de la atmósfera, es reflejada por la superficie terrestre y calienta el aire en unas zonas de la atmósfera más que otras, provocando alteraciones en la densidad de los gases y, por consiguiente desequilibrios que causan la circulación atmosférica. Esta energía produce la temperatura en la superficie terrestre y el efecto de la atmósfera es mitigar la diferencia de temperaturas entre el día y la noche y entre las distintas zonas geográficas de nuestro planeta.

Casi la totalidad de la energía utilizada por los seres vivos procede del Sol, las plantas la absorben directamente y realizan la fotosíntesis, los herbívoros absorben indirectamente una pequeña cantidad de esta energía comiendo las plantas, y los carnívoros absorben indirectamente una cantidad más pequeña comiendo a los herbívoros.

Así pues, la mayoría de las fuentes de energía usadas por el hombre derivan indirectamente del Sol. Los combustibles fósiles preservan energía solar capturada hace millones de años mediante la fotosíntesis, la energía hidroeléctrica usa la energía potencial del agua que, a través del ciclo hidrológico pasa por los tres estados físicos de la materia (evaporación del agua oceánica, condensación, precipitación y escurrimiento o escorrentía) con lo que se puede aprovechar dicha fuente de energía mediante represas y saltos de agua. La energía eólica es otra forma de aprovechamiento de la radiación solar ya que ésta, al calentar con diferente intensidad distintas zonas de la superficie terrestre, da origen a los vientos, que pueden ser utilizados para generar electricidad, mover embarcaciones, bombear las aguas subterráneas y otros muchos usos."³

²Es.wikipedia.org/wiki/radiaciónsolar. Consultado 28 de Mayo del 2014

³MÉNDEZ MUÑIZ, Javier María; Cuervo García, Rafael; Bureau Veritas Formación 2010 Energía Solar Térmica. Fundación Confemetal. pág. 37.



d.1.5 RADIACIÓN SOLAR EN LA TIERRA

No toda la radiación proveniente del sol y del espacio exterior llega hasta la superficie terrestre de manera inalterada. De hecho menos de una tercera parte lo hace. En ello la atmósfera terrestre juega un papel fundamental, al funcionar como un filtro que tamiza buena parte de esa radiación e incluso como un escudo protector contra las radiaciones que resultan más peligrosas para los seres vivos.

Para entender la forma en que la atmósfera interactúa con la radiación exterior podemos establecer dos grandes aproximaciones. La primera y más simple considera las cantidades proporcionales de radiación que es reflejada, absorbida, y dispersada por la atmósfera, mientras que la segunda, más compleja, describe los cambios en la distribución espectral de la radiación solar provocados por los diferentes componentes de la atmósfera.

Sin embargo una comprensión más amplia de la incidencia de la radiación solar sobre la superficie terrestre implica considerar las variaciones en su intensidad debidas a la ubicación geográfica, la fecha y el momento del día. Incluso, desde un punto de vista arquitectónico, resulta importante comprender cómo la intensidad de la radiación solar sobre un plano (una cubierta, por ejemplo) dependerá en gran medida del ángulo entre dicho plano y la dirección de los rayos solares. En los siguientes párrafos trataremos de describir estos aspectos.

d.1.6 BALANCE TÉRMICO Y CANTIDADES PROPORCIONALES DE RADIACIÓN SOLAR

En términos generales y en el largo plazo, el intercambio de energía entre el Sol y la Tierra presenta un estado de balance térmico, lo cual quiere decir que las cantidades globales de energía que ésta última recibe tienden a ser equivalentes a las que emite. Si ese balance térmico se rompiera, dando lugar a un desequilibrio prolongado, la Tierra se enfriaría o calentaría paulatinamente hasta volverse inhabitable (de hecho es lo que



muchos científicos asumen que está sucediendo actualmente, aunque de manera relativamente moderada, dando lugar a fenómenos como el calentamiento global).

La parte superior de la atmósfera recibe una cantidad de energía solar equivalente a $1,367 \text{ W/m}^2$, parámetro que se conoce como insolación \bullet constante solar. Sin embargo, debido a que en un momento dado solo la mitad de la esfera terrestre se encuentra expuesta a la radiación solar, ese valor suele dividirse entre 4 para obtener una radiación incidente promedio de 342 W/m^2 . Esa energía se distribuye de la siguiente manera, también en valores promedio:

77 W/m^2 (22%) es reflejada de nuevo al espacio por la atmósfera.

67 W/m^2 (20%) es absorbida por la atmósfera.

198 W/m^2 (58%) atraviesa la atmósfera y llega a la superficie terrestre, aproximadamente la mitad (29%) como radiación difusa (por efecto de la misma atmósfera) y la otra mitad (29%) como radiación directa (que atraviesa la atmósfera prácticamente sin interferencia).

Ahora bien, de los 198 W/m^2 que llegan a la superficie terrestre, tanto en forma de radiación difusa como directa, 30 W/m^2 (9%) son reflejados y 168 W/m^2 (49%) son absorbidos por la misma. Con estos últimos datos podemos completar el balance térmico global, que se expresaría con la siguiente ecuación:

$$342 \text{ W/m}^2(\text{radiación incidente}) - 77 \text{ W/m}^2(\text{radiación reflejada por la atmósfera}) - 67 \text{ W/m}^2(\text{radiación absorbida por la atmósfera}) - 30 \text{ W/m}^2(\text{radiación reflejada por la superficie terrestre}) - 168 \text{ W/m}^2(\text{radiación absorbida por la superficie terrestre}) = 0.$$

Como se ha mencionado, este planteamiento implica el manejo de promedios globales, lo cual representa una simplificación de los fenómenos involucrados. En realidad estos valores suelen presentar variaciones importantes. Por ejemplo, en las partes de la Tierra cuyo cielo se encuentra cubierto de nubes densas la reflexión hacia el espacio es mayor al 22%. Así mismo, la radiación reflejada por la superficie terrestre (sin contar los océanos) varía en gran medida dependiendo de sus características particulares: las superficies con vegetación profusa solo reflejan entre el 5% y el 10% de la radiación



recibida, las superficies con pasto entre el 15% y el 25%, las zonas arenosas (como los desiertos) entre el 35% y el 45%, y las superficies cubiertas de nieve reciente hasta el 95%.

Existen otros fenómenos interesantes relacionados con el intercambio de energía radiante de la Tierra. Por ejemplo, las superficies construidas de las zonas urbanas también reflejan la radiación solar en diversas proporciones, aunque generalmente es más la radiación absorbida, lo cual da lugar a lo que se conoce como islas de calor. Por otro lado, la superficie terrestre tienden a reirradiar buena parte de su energía durante la noche, lo cual sucede de manera más eficiente cuando el cielo se encuentra despejado. Esa es la razón por la que en algunos lugares las madrugadas suelen ser más frías cuando el cielo se encuentra.

d.1.7 ESPECTRO DE LA RADIACIÓN SOLAR

“Debido a los procesos involucrados en la transmisión de la energía desde el núcleo del sol, donde fue generada, hasta su superficie, la radiación solar presenta en realidad muy diversos niveles de intensidad. Simplificando el fenómeno al máximo, podríamos decir que algunas partículas energéticas logran atravesar las diferentes capas del sol sin colisionar demasiado con otras partículas y sin tantos procesos de absorción y conversión, por lo que al salir a la superficie dan lugar a radiaciones de elevada intensidad. Las que por el contrario sufren una gran cantidad de colisiones y transformaciones, perdiendo de esa manera gran parte de su energía, se convierten en radiación de baja intensidad. Entre ambos extremos se encuentran emisiones radiantes en todas las magnitudes posibles.

La intensidad de las distintas manifestaciones de la radiación solar se mide mediante dos parámetros básicos, los cuales guardan una relación inversamente proporcional entre sí: la longitud y la frecuencia de onda. Así, las radiaciones más potentes presentan las mayores frecuencias y las menores longitudes de onda, mientras que las más débiles se caracterizan por sus bajas frecuencias y amplias longitudes de onda. A partir de esos parámetros se ha establecido una clasificación, denominada espectro electromagnético, que define distintos rangos de radiación. El espectro electromagnético se suele



representar mediante una banda continua que empieza con los rayos cósmicos, de muy alta frecuencia y pequeñísima longitud de onda, hasta las ondas de radiofrecuencia, de muy baja frecuencia y gran longitud de onda. En los siguientes párrafos se hace una breve descripción de los distintos tipos de radiación definidos por el espectro electromagnético.

d.1.7.1 Rayos cósmicos

Los rayos cósmicos, que representan la manifestación de energía más alta conocida hasta ahora, son un tipo de radiación denominada corpuscular, es decir, que en realidad no está conformada por ondas electromagnéticas sino por el flujo de partículas subatómicas (electrones, protones, neutrinos y núcleos atómicos, principalmente) que se desplazan en el espacio a velocidades cercanas a la de la luz. El sol emite rayos cósmicos relativamente débiles, generalmente asociados con fenómenos como las llamaradas solares, mientras que los rayos cósmicos de mayor energía se consideran provenientes del espacio exterior. Aún no existe certeza sobre los elementos o fenómenos estelares que generan estos últimos.

A pesar de su enorme carga energética (algunos de ellos podrían atravesar sin dificultad capas de plomo de varios metros de espesor) los rayos cósmicos tienen un efecto reducido en la tierra. Esto se debe en gran parte a su baja densidad, la cual es menor en la medida en que son más intensos. Sin embargo es importante señalar que la atmósfera terrestre también juega un papel fundamental en la absorción de los rayos cósmicos.

d.1.7.2 Rayos Gama

Los rayos gama, constituidos por fotones de altísima energía, representan el tipo de radiación propiamente electromagnética más poderosa. Sus longitudes de onda se consideran inferiores a los 10 picómetros (*pm*). La gran mayoría de los rayos gama provienen del sol y del espacio exterior. Estos rayos son absorbidos por la alta atmósfera antes de que lleguen a la superficie terrestre (por lo menos hasta ahora), por lo que para registrarlos se requieren satélites o globos sonda que alcancen una gran altitud. Sin embargo no estamos completamente a salvo de ellos ya que en la tierra



existen materiales radiactivos, tanto naturales como producidos por el hombre, que emiten rayos gama.

Debido a su elevada energía, los rayos gama tienen un gran poder de penetración, por lo que para interceptarlos es necesario emplear una gran cantidad de masa, preferentemente de materiales con un alto número atómico y gran densidad, como el plomo. Cuando inciden sobre el cuerpo humano atraviesan sin dificultad sus tejidos y provocan importantes daños en los núcleos de las células, lo cual produce fácilmente enfermedades como el cáncer. Sin embargo, empleados de manera correcta pueden tener aplicaciones benéficas como la esterilización de equipos médicos y alimentos.

d.1.7.3Rayos X

Como los rayos gama, los rayos X también están conformados por fotones, aunque de menor intensidad. Estos incluyen un rango de radiaciones electromagnéticas con longitudes de 10 picómetros (*pm*) a 10 nanómetros (*nm*).

Los rayos X provenientes del sol y el espacio exterior también son interceptados en su gran mayoría por la alta atmósfera. Sin embargo su producción artificial por parte del hombre es mucho más intensiva que la de los rayos gama. Entre sus campos de aplicación más conocidos se encuentra la radiología, una disciplina médica especializada en la generación de imágenes del interior del cuerpo humano. Entre otros recursos, la radiología aprovecha la capacidad de los rayos X para atravesar los tejidos del cuerpo humano y generar impresiones sobre películas fotográficas. Sin embargo los rayos X también tienen una amplia aplicación en otros campos científicos y tecnológicos. La manera más frecuente de producirlos es mediante un dispositivo llamado precisamente tubo de rayos X.

Si bien no son tan potentes como los rayos gama, los rayos X también pueden ser muy dañinos para el ser humano, sobre todo en los rangos de frecuencias más altas. En el campo de la radiología en realidad se suelen aplicar rayos X de intensidad relativamente baja, pero estos también pueden ser peligrosos si su exposición es prolongada. Por ello las salas de rayos X se suelen proteger mediante láminas de plomo de 0.1 a 5.0 centímetros de espesor (dependiendo de la intensidad de la radiación generada).



d.1.7.4 Radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta (UV) comprende longitudes de onda entre 10 *nm* y 380 *nm*. Se le denomina así porque sus longitudes de onda son más cortas que las de la luz violeta (que a su vez se ubica en el extremo de la luz visible). En algunos estudios se diferencia entre la radiación ultravioleta extrema, con longitudes de onda de 10 *nm* a 200 *nm*, y la radiación ultravioleta cercana, a la que se le asignan longitudes de onda entre 200*nm* y 380 *nm*.

Aunque una pequeña cantidad de radiación UV es necesaria tanto para el ser humano como para las plantas, se ha demostrado que una exposición excesiva, e incluso relativamente moderada, puede resultar perjudicial. Además de generar daños visibles en la piel (pérdida de elasticidad, manchas y arrugas) la radiación UV es capaz de producir mutaciones en las células, llegando a provocar cáncer. Por otro lado, la radiación ultravioleta se ha identificado como una de las principales causas de degradación de algunos materiales empleados en la edificación.

d.1.7.5 Espectro visible

El espectro visible comprende las radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda entre 380 *nm* y 780 *nm*. Se le llama así porque representa el estrecho rango de radiaciones que el ojo, o mejor dicho el cerebro humano es capaz de interpretar como luz y color, si bien la mayoría de las personas solo puede percibir las longitudes comprendidas entre 400*nm* y 700 *nm*.

Dentro de ese rango de radiaciones es posible establecer diversas clasificaciones relacionadas con los colores que reconocemos más fácilmente, aunque en realidad los límites entre un color y otro resulta bastante difuso. Una clasificación basada en los colores que conocemos como primarios y secundarios, más o menos aceptada, es la siguiente:

Violeta: 380 – 450 *nm*

Azul: 450 – 495 *nm*

Verde: 495 – 570 *nm*

Amarillo: 570 – 590 *nm*



Naranja: 590 – 620 *nm*

Rojo: 620 – 780*nm*

La radiación solar nos proporciona el espectro visible más limpio y eficiente. Aunque desde hace más de 100 años somos capaces de producir luz de manera artificial (sin contar la luz generada por el fuego), aun los dispositivos más eficientes generan más calor por unidad de intensidad lumínica que la luz solar.

d.1.7.6 Radiación infrarroja

Justo después del espectro visible se ubica la radiación infrarroja, llamada así precisamente porque se encuentra más allá del rango asociado con el color rojo. Esta parte del espectro abarca longitudes de onda comprendidas entre 780 nanómetros (*nm*) y 1.0 milímetros (*mm*), aunque suele subdividirse en tres categorías:

Infrarrojo cercano: 780 *nm* a 2.5 micrómetros (μm)

Infrarrojo medio: 2.5 μm a 50 μm

Infrarrojo lejano: 50 μm a 1*mm*

Además del espectro visible, los infrarrojos representan el tipo de radiación electromagnética que más fácilmente podemos “percibir”, aunque en este caso lo hacemos a través de los sensores térmicos de nuestra piel. Por ejemplo, percibimos los infrarrojos cercanos cuando nos exponemos directamente a los rayos del sol y cuando nos encontramos cerca del fuego o de un objeto con una elevada temperatura. Los infrarrojos medios y lejanos, por otro lado, son emitidos por cualquier objeto a temperatura terrestre (aproximadamente entre $-10^{\circ}C$ y $100^{\circ}C$). Los infrarrojos lejanos pueden ser emitidos por cualquier objeto con una temperatura superior al cero absoluto ($-273^{\circ}C$).

La radiación infrarroja juega un papel fundamental en el comportamiento térmico de los edificios. Al recibir la radiación solar, los cerramientos aumentan su temperatura y emiten radiación infrarroja con mayor intensidad, contribuyendo a incrementar nuestra sensación de calor. Por otro lado, el fenómeno conocido como “invernadero” está relacionado con la radiación solar de onda corta que ingresa al espacio a través de superficies vidriadas, la cual hace que los elementos constructivos se calienten y emitan



radiación de onda larga (infrarrojos). Como estos últimos no pueden atravesar las superficies vidriadas con la misma facilidad que la radiación de onda corta, se genera un proceso de calentamiento paulatino del espacio interior.

d.1.7.7 Microondas

La radiación de microondas comprende un rango de longitudes de onda que van, de acuerdo a una de las clasificaciones más aceptadas, de 1mm a 30cm. Aunque en algunos estudios se considera parte del espectro de radiofrecuencia, por su importancia es cada vez más común que se les asigne una categoría propia.

Si bien son más débiles que la radiación infrarroja, los microondas tienen una importante peculiaridad: en ciertas longitudes de onda son capaces de hacer vibrar las moléculas de agua y con ello elevar significativamente su temperatura. Dado que la mayoría de los alimentos contienen agua en mayor o menor medida, estos pueden ser cocinados fácilmente por medio de radiación de microondas. No es de extrañar que el horno de microondas se haya convertido en uno de los electrodomésticos más populares. Sin embargo en la actualidad los microondas tienen un uso cada vez más extendido en el campo de las telecomunicaciones y la radiodifusión, gracias a que son capaces de atravesar la atmósfera con mayor facilidad que las radiaciones de onda más larga.

d.1.7.8 Ondas de radiofrecuencia

En el extremo menos energético del espectro electromagnético se encuentran las ondas de radiofrecuencia, que abarcan longitudes de onda superiores a 30cm (algunas de ellas alcanzan longitudes de onda de más de 100,000km). Estas incluyen las ondas de radio y de radar, aunque una clasificación un poco más detallada establece las siguientes categorías, de acuerdo a su longitud de onda:

Ultra alta frecuencia: de 30cm a 1m

Muy alta frecuencia: de 1m a 10m

Onda corta: de 10m a 180m

Onda media: de 180m a 650m



Onda larga: de 650m a 10km

Muy baja frecuencia: superiores a 10km

Es muy difícil enumerar y clasificar con precisión todas las aplicaciones de las radiofrecuencias. A manera de ejemplo, podemos mencionar las siguientes:

Las ondas de ultra alta frecuencia se suelen emplear en la transmisión de algunas señales de televisión, en la telefonía celular y en telecomunicaciones militares. Las de muy alta frecuencia se usan en la radio móvil, navegación aeronáutica y marina, televisión y radio FM. Las radiofrecuencias de onda corta se emplean en radiodifusión, comunicaciones gubernamentales y banda civil. Las de onda media y larga se emplean en la radio AM y en la navegación aeronáutica y marina. Las radiofrecuencias de onda de muy baja frecuencia se emplean principalmente en telecomunicaciones gubernamentales y militares. Los sistemas de radar emplean radiofrecuencias de onda corta, muy alta frecuencia y ultra alta frecuencia, aunque algunos hacen uso de ondas electromagnéticas que caen en la categoría de las microondas.”⁴

d.1.8 FACTORES QUE AFECTAN LA CANTIDAD DE RADIACIÓN SOLAR

Geográficos

- ♣ Latitud
- ♣ Exposición
- ♣ Inclinación del Suelo

Atmosféricos

- × Atmósfera (Nubosidad)
- × Partículas en Suspensión (naturales y antrópicas)

Otros

- ◆ Estación del Año

⁴EDWARD María., Energía Solar Pasiva. Ed. Gustavo Gili. México, 1985. Pág.54



◆ Hora del Día

El valor de la radiación solar para un cm cuadrado, expuesto perpendicularmente a los rayos solares en el límite superior de la atmósfera, es de dos calorías por minuto, aproximadamente. Este valor se llama Constante Solar.

d.1.9 VARIACIONES DE LA RADIACIÓN SOLAR

“No toda la radiación solar incidente en el límite de la atmósfera llega a la superficie terrestre; esto se debe a que la capa gaseosa actúa sobre ella produciendo distintos fenómenos.

d.1.10 ABSORCIÓN RADIACIÓN SOLAR

El flujo de radiación penetra en la atmósfera y transformada en energía térmica, aumenta su temperatura y la hace irradiar calor hacia la Tierra y el espacio interplanetario. Las radiaciones térmicas de la atmósfera que alcanzan la superficie terrestre atenúan el enfriamiento de la misma, especialmente durante la noche; este fenómeno se conoce como amparo térmico de la atmósfera.

d.1.11 REFLEXIÓN RADIACIÓN SOLAR

Se produce cuando parte de la radiación solar al incidir sobre un cuerpo es desviada o devuelta, sin modificar sus caracteres: la atmósfera refleja la radiación que incide sobre gases y partículas sólidas en suspensión; la que llega a la superficie de la tierra en parte se absorbe y en parte se refleja.

d.1.12 DISPERSIÓN RADIACIÓN SOLAR

Fenómeno similar a la reflexión, pero la radiación modifica sus caracteres al ser devuelta o desviada. En la alta atmósfera la radiación solar es dispersada por las moléculas de los gases del aire: los rayos luminosos de onda más corta (violeta y azul) son más fácilmente dispersados, dando el color azulado al cielo. Los demás, (rojo,



anaranjado, amarillo), llegan casi directamente al suelo, sin dispersarse; se dispersan cuando atraviesan capas atmosféricas de espesor considerable, como ocurre en los crepúsculos: en estos casos el cielo presenta un color que va del amarillo al rojo intenso. Reflexión y dispersión de los rayos solares dan como resultado la radiación solar difusa: a ella corresponden las primeras luces antes de la salida del Sol y gracias a su existencia el pasaje del día a la noche y viceversa se hace en forma gradual, en la figura 1 se muestra como se distribuye la Radiación Solar.

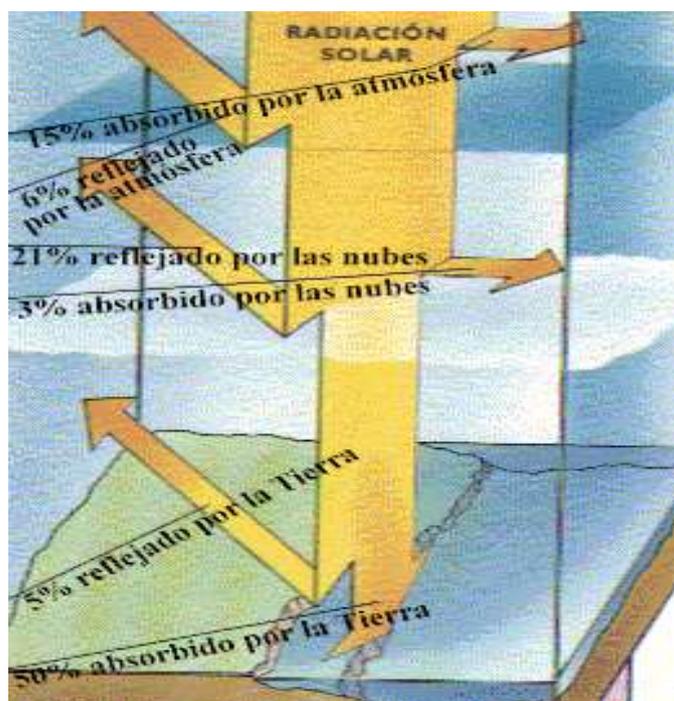


Figura 1.-Flujo de Radiación Solar

Fuente: Libro Energía Solar Pasiva de Mazria Edward

d.1.13 EFECTOS RADIACIÓN SOLAR

Los rayos del Sol resultan muy debilitados cuando se hallan cerca del horizonte porque para llegar a la superficie de la Tierra deben atravesar una capa atmosférica mayor que cuando caen perpendicularmente sobre nuestras cabezas.

La intensidad del calor recibida por una superficie horizontal depende de la inclinación con que llegan los rayos solares: La mayor intensidad corresponde a una superficie que recibe los rayos solares verticalmente; la menor intensidad, cuando los rayos solares llegan con mucha oblicuidad. A medida que esto sucede, la misma cantidad de radiación



se distribuye en una mayor superficie; por lo tanto, la energía recibida por centímetro cuadrado de superficie receptora disminuye, en la figura 2 se muestra como se recibe la intensidad de calor.”⁵

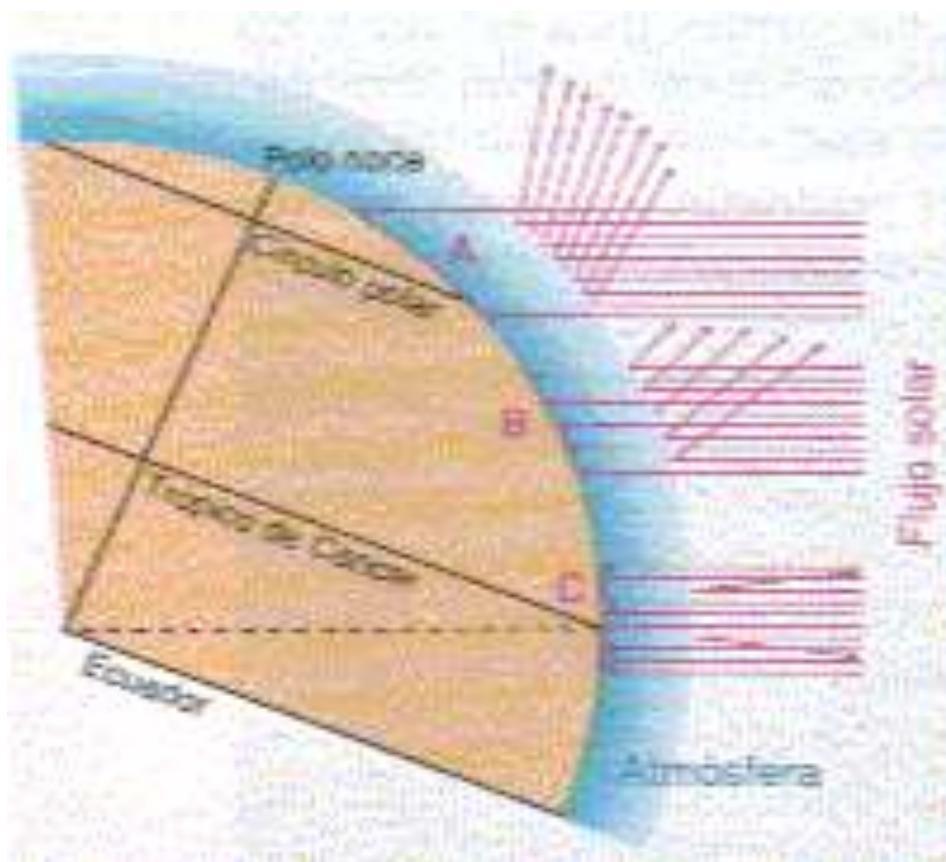


Figura 2.-Flujo Solar.

Fuente: Libro Energía Solar Pasiva de Mazria Edward

⁵www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi97/imagen/espinal/radiacion.html . Consultado el 1 de Junio del 2014



d.2 CAPÍTULO II: METEOROLOGÍA

d.2.1 HISTORIA DE LA METEOROLOGÍA

“El término "meteorología" proviene de Meteorológica, título del libro escrito alrededor del año 340 a. de C. por Aristóteles, quien presenta observaciones mixtas y especulaciones sobre el origen de los fenómenos atmosféricos y celestes.

Los progresos en este campo se centraron en la creación de instrumentos más precisos, como el termómetro creado por Galileo en 1607, seguido de la invención del barómetro por Evangelista Torricelli en 1643. El anemómetro fue construido en 1667 por Robert Hooke, mientras Horace de Saussure completa el elenco del desarrollo de los más importantes instrumentos meteorológicos en 1780 con el higrómetro a cabello, que mide la humedad del aire. A inicios del siglo XX, se da la creación de la moderna previsión del tiempo calculada en base matemática.

La primera previsión del tiempo realizada con computador se realiza en la década de 1950. En 1960, el lanzamiento del TIROS-1, significó el inicio de una era de difusión global de las informaciones climáticas. En los años recientes, se han estado desarrollando modelos climáticos usados para estudiar los cambios climáticos a largo plazo.”⁶

d.2.2 CONCEPTO

“La meteorología es la ciencia que se ocupa de los fenómenos que ocurren a corto plazo en las capas bajas de la atmósfera, o sea, donde se desarrolla la vida de plantas y animales.

La meteorología estudia los cambios atmosféricos que se producen a cada momento, utilizando parámetros como la temperatura del aire, su humedad, la presión atmosférica, el viento o las precipitaciones. El objetivo de la meteorología es predecir el tiempo que

⁶RODRIGUEZ Rosa María. BENITO CAPA Águeda, Meteorología y Climatología, Primera edición, pág. 6



va a hacer en 24 o 48 horas y, en menor medida, elaborar un pronóstico del tiempo a medio plazo.

d.2.3 EQUIPOS E INSTRUMENTOS METEOROLÓGICOS

La meteorología utiliza instrumentos esenciales, como el barómetro, el termómetro y el higrómetro, para determinar los valores absolutos, medios y extremos de los factores climáticos. Para el trazado de mapas y la elaboración de predicciones es fundamental la recogida coordinada de datos en amplias zonas, lo que se realiza con la ayuda de los satélites meteorológicos.”⁷

d.2.4 ALGUNAS RAMAS DE LA METEOROLOGÍA

“Meteorología teórica.- se ocupa del estudio de los fenómenos meteorológicos a través de teorías científicas.

- ♣ **Meteorología física.-** se interesa en el estudio de las propiedades físicas de la atmósfera.
- ♣ **Meteorología Dinámica.-** estudia la atmósfera desde el punto de vista de las leyes dinámicas que gobiernan los sistemas meteorológicos.
- ♣ **Meteorología experimental.-** estudia los fenómenos y procesos meteorológicos en laboratorios y campos de experimentación.
- ♣ **Meteorología aplicada.-** en su aplicación a todas las actividades sociales, económicas y, en general, a todas las actividades humanas.
- ♣ **Meteorología Sinóptica.-** se ocupa de los fenómenos atmosféricos sobre la base de análisis de cartas en la que previamente se han asentado observaciones sinópticas con el propósito de hacer un diagnóstico o un pronóstico de condiciones meteorológicas.
- ♣ **Meteorología Aeronáutica.-** estudia el efecto que los fenómenos meteorológicos tienen sobre las aeronaves y todo lo concerniente a la aeronavegación.
- ♣ **Hidrometeorología.** Rama de la Meteorología que se relaciona con Hidrología.

⁷LEDESMA Manuel Principios de Meteorología y Climatología, Primera Edición, Editorial Paraninfo Pag.10



- ♣ **Meteorología Agrícola (Agrometeorología).**- se ocupa del estudio del impacto de los fenómenos meteorológicos sobre todo lo que se relaciona con la agricultura.
- ♣ **Meteorología Marítima.**- que consta a su vez de dos áreas:
 - ✓ **Meteorología oceánica.**- estudia la interacción entre la atmósfera y el mar.
 - ✓ **Estrictamente Meteorología marítima.**- se ocupa de suministrar servicios, desde el punto de vista meteorológico, a todas las actividades marinas.
- ♣ **Meteorología Médica.**- Meteorología relacionada con la salud humana.
- ♣ **Micrometeorología.**- estudia las condiciones meteorológicas a pequeña escala. Este tipo de estudio normalmente implica mediciones de parámetros meteorológicos y estudios cuidadosos de cerca de superficie en períodos cortos de tiempo.
- ♣ **Mesometeorología.**- estudia las condiciones meteorológicas a escala media. El tamaño del área que cubren estos fenómenos es desde algunos km² hasta decenas de km²
- ♣ **Macrometeorología.**- estudia las condiciones meteorológicas a gran escala. El área que ocupan estos fenómenos meteorológicos se relaciona con amplias regiones geográficas, tales como parte de un continente, un continente completo, incluso, el planeta entero.

d.2.5 ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Una estación meteorológica es un lugar escogido adecuadamente para colocar los diferentes instrumentos que permiten medir las distintas variables que afectan al estado de la atmósfera. Es decir, es un lugar que nos permite la observación de los fenómenos atmosféricos y donde hay aparatos que miden las variables atmosféricas. Muchos de estos han de estar al aire libre, pero otros, aunque también han de estar al aire libre, deben estar protegidos de las radiaciones solares para que estas no les alteren los datos,



el aire debe circular por dicho interior. Los que han de estar protegidos de las inclemencias del tiempo, se encuentran dentro de una garita meteorológica.

Una garita meteorológica es una casilla donde se instalan los aparatos del observatorio meteorológico que se deben proteger. Ha de ser una especie de casilla elevada un metro y medio del suelo (como mínimo elevada 120 *cm*) y con paredes en forma de persiana; éstas han de estar colocadas de manera que priven la entrada de los rayos solares en el interior para que no se altere la temperatura y la humedad. La puerta de la garita ha de estar orientada al norte y la teja debe estar ligeramente inclinada. En su interior están los instrumentos que han de estar protegidos como he dicho antes por aparatos registradores.

d.2.5.1 CÓMO OPERA UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

De acuerdo a lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), las estaciones meteorológicas se clasifican de la siguiente manera:

Tabla 1. Clasificación de las Estaciones Meteorológicas

SEGÚN SU FINALIDAD	CLASIFICACIÓN
Sinopsis	Climatología Agrícolas Especiales Aeroneumáticas Satélites
De acuerdo a la magnitud de las observaciones	Principales Ordinarias Auxiliares o adicionales
Por el nivel de observación:	Superficie Altitud
Según el lugar de observación	Terrestre Aéreas Marítimas

Fuente: El Autor

Como se puede observar una estación meteorológica puede tener diferentes fines, dependiendo de los propósitos para los cuales fue instalada. La información se utiliza en varias aplicaciones u observaciones adicionales que le dan sus características. Por



consiguiente, en una estación meteorológica pueden conjugarse dos o más categorías simultáneamente"⁸

d.2.5.1 CÓMO FUNCIONA UNA ESTACIÓN METEOROLÓGICA

“La mayor parte de la estación meteorológica está automatizada requiriendo un mantenimiento ocasional. Existen observatorios meteorológicos sinópticos, que cuentan con personal (observadores), de forma que además de los datos anteriormente señalados se pueden recoger aquellos relativos a nubes, visibilidad y tiempo presente y pasado. La recogida de estos datos se denomina observaciones sinópticas.

Para la medida de variables en mares y océanos se utilizan sistemas dispuestos en boyas meteorológicas.

Otras instalaciones meteorológicas menos comunes disponen de instrumental de sondeo remoto como radar meteorológico para medir la turbulencia atmosférica y la actividad de tormentas. Estas y otras variables pueden obtenerse mediante el uso de globos sonda.

d.2.5.2 INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

- ✓ Termómetro
- ✓ Barómetro
- ✓ Pluviómetro
- ✓ Psicrómetro
- ✓ Piranometro
- ✓ Heliógrafo
- ✓ Anemómetro
- ✓ Cielómetro
- ✓ Bolometro
- ✓ Radar meteorológico
- ✓ Manga
- ✓ Heliómetro
- ✓ Veleta

⁸La Meteorología(en español)(pdf)(2001). Consultado el 2 de Junio del 2014



✓ Piranometro

d.2.5.3 VARIABLES DE MEDIDA

- ♣ Termómetro: medidas de temperaturas en horarios determinados del día.
- ♣ Termómetro de máxima y mínima;
- ♣ Termómetro de subsuelo: para medir la temperatura a 5,10, 20 50 y 100cm de profundidad.
- ♣ Termómetro de mínima junto al suelo: mide la temperatura mínima a una distancia de 15cm sobre el suelo.
- ♣ Barómetro: medida de la presión atmosférica en superficie.
- ♣ Pluviómetro: medida de la cantidad de precipitación.
- ♣ Psicrómetro: medida de la humedad relativa del aire y la temperatura del punto de rocío.
- ♣ Piranometro: medida de la insolación solar.
- ♣ Heliógrafo: medida de las horas del sol.
- ♣ Anemómetro: medida de la velocidad del viento.
- ♣ Veleta: para registrar la dirección del viento
- ♣ Cielómetro: medida de la altura de las nubes en el punto donde éste se encuentre colorado.”⁹

⁹<http://nimbus.com.uy/aprendiendo.html>. Consultado el 3 de Junio del 2014



d.3 CAPÍTULO III: LOS SATÉLITES METEOROLÓGICOS

d.3.1 GENERALIDADES:

“El satélite Explorer 8, fue en 1959, el primero que llevó un instrumento para la observación de la atmósfera desde el espacio a través de un radiómetro de radiación global. Los primeros satélites específicamente meteorológicos fueron los TIROS, en los primeros años 60, que permitieron una visión global de los sistemas nubosos.

Los satélites pueden "ver", gracias a los radiómetros. La radiación que la superficie de la tierra refleja se concentra en el espectro visible de la radiación, mientras que la propia emitida es principalmente del tipo infrarroja (IR). A ésta última se la denomina también emisión de cuerpo negro.

Los Satélites Meteorológicos constituyen el Subsistema Espacial del Sistema Mundial de Observación y su principal objetivo es completar la información facilitada por el Subsistema de Superficie de una forma económicamente viable.

d.3.2 LAS ÓRBITAS DE LOS SATÉLITES

Los satélites artificiales giran en torno a la Tierra conforme a la ley de gravitación universal descrita por Newton y descriptivamente cumplen con las Leyes de Kepler:

- La Ley de Gravitación Universal nos dice que la fuerza de atracción de dos cuerpos está relacionada con la masa y distancia entre los mismos. A mayor masa y menor distancia, mayor atracción.
- La primera ley de Kepler dice que las órbitas de los planetas son "elipses" y que el Sol ocupa uno de sus focos. La segunda, relaciona el recorrido (órbita) del planeta con el tiempo que tarda en recorrerlo y dice que un planeta barre áreas iguales en tiempos iguales. La tercera relaciona el tiempo que tarda un planeta en recorrer su órbita con la distancia media al Sol, manifestando que el tiempo de recorrido es mayor cuanto mayor sea la distancia Planeta-Sol. A pesar de estar hablando de planetas, estas leyes rigen para cualquier cuerpo que orbite entorno a otro en el espacio, por ejemplo los satélites artificiales y la Tierra.



d.3.3 CLASIFICACIÓN, UTILIDAD Y OBJETIVOS:

Los satélites meteorológicos pueden clasificarse en dos grandes grupos, de órbita polar o heliosincrónicos (significa que están sincronizados con el Sol) que como su nombre lo indica orbitan la Tierra de polo a polo y lo constituyen principalmente la serie TIROS de la agencia NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) de origen norteamericano y los Meteor de origen ruso. El segundo grupo se compone de los satélites Geoestacionarios o Geosincrónicos (significa que están sincronizados con el movimiento de rotación de la Tierra), que orbitan a mayor altura y se encuentran sobre o muy cercanos a la línea del Ecuador.

La utilidad de los satélites meteorológicos es la de poder visualizar el conjunto Tierra-atmósfera, y extraer la máxima información posible a través de distintas técnicas y procesos para obtener los productos cuyo objetivo se basa en el análisis cualitativo y cuantitativo de las imágenes obtenidas. Las imágenes de los satélites meteorológicos se utilizan principalmente para la visualización de nubes, clasificación, observación del vapor de agua existente en la alta y media atmósfera, temperaturas de la superficie de tierra y temperatura superficial del mar.

d.3.3.1 Tipos de órbitas de los satélites

De acuerdo a la acción que el satélite deba realizar en el espacio se pueden clasificar cuatro tipos fundamentales de órbitas:

- **Hiperbólica o abierta**, que se utiliza en el lanzamiento del satélite y le permite escapar del suelo mediante una velocidad inicial.
- **Heliosíncrona o cerrada**, en la que el plano de translación del satélite contiene siempre al Sol y compensa la translación de la tierra independientemente de su rotación.
- **Geosíncrona**, también cerrada, en la que la velocidad de translación del satélite es igual a la de rotación de la tierra.
- **De gran excentricidad**, que se utilizan como órbitas de transferencia, para saltar a la órbita cerrada.



d.3.3.2 Los elementos o parámetros orbitales

Son datos numéricos que se utilizan para representar matemáticamente las órbitas de los satélites y saber en qué posición se encuentran. Estos se utilizan generalmente para los polares en donde se deberá conocer su horario de paso y posición para lograr el seguimiento. Los elementos orbitales de los TIROS se envían en partes denominados TBUS y se deben actualizar cada cierto tiempo ya que las órbitas no son perfectas, sufren de anomalías que provocan pequeños desplazamientos de los satélites. Existen fuerzas que modifican los parámetros orbitales y son el efecto de achatamiento e irregularidades de la tierra, las atracciones del sol y la luna, el roce y empuje de la atmósfera, la presión y empuje del viento solar, imprecisiones de la puesta en órbita, etc.

d.3.3.3 Predicción del paso y posición de un satélite

Mediante programas de ordenadores se calculan con los elementos, las órbitas y se pueden predecir los pasos de los satélites en futuras épocas. Para cada época existen elementos nuevos y éstos son obtenidos y distribuidos por las entidades (como la NASA) que siguen minuciosamente el recorrido del satélite detectando sus anomalías para aplicarlas a los nuevos elementos.¹⁰

d.3.4 SATÉLITES DE ÓRBITA POLAR:

“Los satélites TIROS, cuyos nombres figuran como NOAA seguido de un número (NOAA-14, NOAA-15, etc.) y los METEOR (METEOR-2, METEOR 3-5, etc.) son los más utilizados. Actualmente se encuentran en operatividad el NOAA-14, NOAA-15 y el METEOR 3-5. Se alimentan de energía mediante paneles solares que le suministran unos 200 watts de potencia.

¹⁰ www.ea1uro.com/meteosats.htm. Consultado el 4 de Junio del 2104



d.3.4.1 Características más importantes son:

- ✘ Órbita polar o heliosíncrona, es decir que orbitan de polo a polo, con frecuencia establecida o sincronizada.
- ✘ Orbitan a una altura entre 800 y 900 kilómetros.
- ✘ Orbitan quietos (sin rotar sobre un eje) y poseen un radiómetro (sensor) llamado AVHRR que barre línea por línea la superficie de la tierra a medida que el satélite avanza.
- ✘ Pasan dos veces al día por el mismo punto.
- ✘ Al ser de órbita baja permiten altas resoluciones. Operan en dos modos, uno de baja resolución APT (Automatic Picture Transmission) y otro de alta HRPT (High Resolution Picture Transmission).
- ✘ Transmiten sus datos en dos frecuencias, una para cada modo.
- ✘ Los TIROS trabajan en cinco bandas, dos en visible y tres en IR (infrarroja).
- ✘ Tienen un tiempo de operatividad de aproximadamente dos años.

d.3.4.2 Los Satélites NOAA

Son satélites americanos de órbita polar, poseídos y operados por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Los NOAA 14 y NOAA 15, lanzados respectivamente el 29 de mayo de 1994 y el 13 de mayo de 1998, vuelan a una altitud de 850 kilómetros, en una órbita inclinada con 99 grados comparados al plano ecuatorial. Cada órbita completa alrededor de la tierra toma 102 minutos y alcanza 14 órbitas por día. Estas órbitas son sol-síncronas, es decir las cruces del satélite a cierto punto siempre en la misma hora del día. Los 2 satélites son fuera de fase; sobrevolando una misma área por lo menos 4 veces por día con un intervalo de aproximadamente 6 horas.

Están equipado con un radiómetro (Advanced Very High Resolution Radiometer) que permite una muy alta resolución (1.1 kilómetros a la vertical del satélite). Este instrumento explora una banda de 3000 kilómetros de ancho.



d.3.4.3 El Satélite QuikSCAT

El QuikSCAT es un satélite americano de órbita polar, poseído y operado por la NASA. Fue lanzado el 19 de junio de 1999, vuela a una altitud de 850 kilómetros, en una órbita inclinada con 98.6 grados comparados al plano ecuatorial. Cada órbita completa alrededor de la tierra toma 102 minutos y alcanza 14 órbitas por día en pasos ascendentes y descendentes. Estas órbitas son sol-síncronas.

El QuikSCAT está equipado con un scatterometer, que es un radar de alta frecuencia de la microonda (de 13.4 gigahertz) diseñado específicamente para medir la velocidad y la dirección del viento próximas a la superficie del océano. El instrumento recoge datos en una banda continua de 1800 kilómetros de ancho, haciendo aproximadamente 400.000 medidas y cubriendo 90% de la superficie de la tierra en un día. La resolución es 25 kilómetros.

d.3.4.4 El Satélite Meteor-3

El Meteor-3 es un satélite ruso de órbita polar cuyo operador es SRC PLANETA. La altitud del satélite es cerca de 1200 km.

Los satélites METEOR tienen como objetivo tomar medidas de la temperatura del agua y a varios niveles de la atmósfera, proporcionando un perfil vertical de la temperatura hasta una altitud de 40 km y medición de la intensidad de la radiación emitida por la Tierra. Puede proporcionar dos veces al día información sobre la distribución de las nubes y la nieve, con imágenes en la banda visible y en la de infrarrojo; información global sobre la distribución de la temperatura, altura de las nubes y temperatura del agua del mar, dos veces al día; y tres veces al día imágenes de TV a las estaciones locales con un sistema análogo al usado en los satélites norteamericanos.

d.3.4.5 Los Satélites FY-1

Los FY-1 son satélites chinos de órbita polar. El operador es el centro meteorológico nacional de los satélites (NSMC). Vuelan a una altitud de 870 kilómetros.



Cada órbita completa alrededor de la tierra toma 100 minutos y alcanza 14 órbitas por día. Estas órbitas son sol-síncronas.

Los FY-1 están equipados con un radiómetro MVISR (Multichannel Visible and IRN ScanRadiometer). Este instrumento explora una banda de 3000 kilómetros de ancho.

d.3.5 SATÉLITES DE ÓRBITA GEOESTACIONARIA:

Este tipo de satélites giran en torno a la Tierra sincronizados con su velocidad de rotación, es decir que acompañan a la Tierra y por consiguiente se encuentran situados siempre en un mismo punto sobre la superficie terrestre.

Actualmente se encuentran en operatividad:

- ▲ Estados Unidos: GOES-8 (0° N, 75° W), GOES-9 (0° N, 135° W)
- ▲ Europa: Meteosat-7 (Operativo en posición 0° N, 0° E), Meteosat-6 (Redundante en stand-by en posición 0° N, 9° W), Meteosat-5 (Programa INDOEX en posición 0° N, 63° E)
- ▲ Rusia: GOMS (0° N, 76° E)
- ▲ India: INSAT (0° N, 93° E)
- ▲ China: FY-2 (0° N, 105° E) y
- ▲ Japón: GMS (0° N, 140° E).

d.3.5.1 Algunas características principales de este grupo son:

- ☆ Altura desde la superficie de la tierra de 36000 Km aproximadamente
- ☆ Giran en torno a un eje casi paralelo al eje N-S terrestre.
- ☆ Velocidad de giro de 100 RPM (Revoluciones por minuto).
- ☆ Operan en dos modos uno de alta HRI (High Resolution Image) y otro de baja resolución WEFAX (Weather Facsimile).
- ☆ Transmiten sus datos en dos frecuencias, una para cada modo.



d.3.5.2 Los Satélites METEOSAT

Los Meteosat son satélites geoestacionarios Europeos cuyo operador es EUMETSAT. La altitud de los satélites es cerca de 35800 kilómetros. El punto fijo a la vertical del satélite está en el ecuador. Los Meteosat ven siempre la misma porción del globo (42% de la superficie de la tierra).

El Meteosat 7 está situado en el meridiano de Greenwich incluido Europa y África y Meteosat 5 está situado en 63° al este incluido el Océano Índico.

Los Meteosat están equipados con un radiómetro que explora la tierra línea por línea; cada línea consiste en una serie de elementos de imagen o de píxeles. Para cada píxel el radiómetro mide la energía radiada de las diversas gamas espectrales. Esta medida digital se cifra y se transmite a la estación de tierra para procesada antes de ser entregada a la comunidad para su utilización. Este radiómetro es un instrumento de 3 canales: el canal visible es 0.45-1.00 μm , el canal infrarrojo es 10.5-12.5 μm y el canal vapor de agua es 5.7-7.1 μm .

Las imágenes se toman a cada 30 minutos. El canal visible explora 5000 líneas, cada línea que consiste en 5000 píxeles; los canales infrarrojos exploran 2500 líneas, cada línea que consiste en 2500 píxeles. Esto equivale a una resolución de 2,5 kilómetros y de 5 kilómetros, respectivamente, en la punta del subsatélite. Debido a la curvatura de la tierra que esta resolución disminuye hacia los bordes externos de la imagen (e.g. aproximadamente 4,5 kilómetros en el canal visible incluido Europa).

d.3.5.3 Los Satélites GOES

Los GOES (Geostationary Operational Environmental Satélites) son los satélites geoestacionarios americanos, poseídos y operados por NOAA. La altitud de los satélites es cerca de 35800kilómetros. El punto fijo a la vertical del satélite está en el ecuador. Cada satélite ve siempre la misma porción del globo (42% de la superficie de la tierra).

Las imágenes del globo se toman a cada 30 minutos y las de los Estados Unidos se toman a cada 15 minutos. Es posible explorar áreas terrestres con intervalos más



frecuentes (por ejemplo cinco minutos, incluso un minuto) para la ayuda a los programas del alarma de NOAA.

Los GOES están equipados con un radiómetro que explora la tierra línea por línea que consisten en una serie de elementos de imagen o de píxeles, para cada píxel el radiómetro mide la energía radiada de las diversas gamas espectrales.

El GOES Imager es un dispositivo de 5 canales: el canal visible es 0,55-0,75 μm , los canales infrarrojo son 3.8-4.0 μm , 10.2-11.2 μm , 11.5-12.5 μm y el canal vapor de agua es 6.5-7.0 μm . En el canal visible, la resolución es 1 Km. En los canales infrarrojos, la resolución es 4 kilómetros. En el canal vapor de agua, la resolución es 8 Km.

Esta medida digital se cifra y se transmite a la estación de tierra para procesarla antes de ser entregada a la comunidad para su utilización. Los datos son distribuidos por el NESDIS a una variedad de utilizadores.

d.3.5.4 Los Satélites GMS

El GMS (Geosynchronous Meteorological Satellite) es un satélite geoestacionario japonés cuyo operador es el centro meteorológico de Japón.

La altitud de los satélites es cerca de 35800 kilómetros. El punto fijo a la vertical del satélite está en el ecuador en 140° al este. GMS ve siempre la misma porción del globo (42% de la superficie de la tierra). Está equipado con un VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer). El radiómetro explora la tierra línea por línea y consiste en una serie de elementos de imagen o de píxeles. Para cada píxel el radiómetro mide la energía radiada de las diversas gamas espectrales.

Esta medida digital se cifra y se transmite a la estación de tierra para ser procesada antes de ser entregada a la comunidad para su utilización. El VISSR es un instrumento de 3 canales: el canal visible es 0,55-1,05 μm , el canal infrarrojo es 10,5-12,5 μm y el canal vapor de agua es 6,2-7,6 μm . En el canal visible, la resolución es 1.25 kilómetros. En el canal infrarrojo y vapor de agua, la resolución es 5 kilómetros.



d.3.5.5 El Satélite FY-2B

El FY-2B es un satélite geostacionario chino cuyo operador es el centro meteorológico nacional de los satélites (NSMC). El satélite fue lanzado el 25 de junio del 2000. La altitud del satélite es cerca de 35800 kilómetros. El punto fijo a la vertical del satélite está en el ecuador en 105° al este. Meteosat ve siempre la misma porción del globo (42% de la superficie de la tierra).

Este satélite, está equipado con un VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer). El radiómetro explora la tierra línea por línea; consistente en una serie de elementos de imagen o de píxeles. Para cada pixel el radiómetro mide la energía radiada de las diversas gamas espectrales. Esta medida digital se cifra y se transmite a la estación de tierra para procesada antes de ser entregada a la comunidad para su utilización.

VISSR es un instrumento de 3 canales: el canal visible es $0,55-1,05 \mu m$, el canal infrarrojo es $10,5-12,5 \mu m$ y el canal vapor de agua es $6,2-7,6 \mu m$. En el canal visible, la resolución es 1.25 kilómetros. En los canales infrarrojos y vapor de agua, la resolución es 5 kilómetros.

d.3.5.6 El Satélite GOMS

El GOMS (Geostationary Operational Meteorological Satellite) es un satélite geostacionario ruso cuyo operador es SRC PLANETA. El satélite fue lanzado el 31 de octubre de 1994.

La altitud del satélite es cerca de 35800 kilómetros. El punto fijo a la vertical del satélite está en el ecuador en $76^{\circ}50'$ al este. GOMS ve siempre la misma porción del globo (42% de la superficie de la tierra).

El GOMS está equipado con un radiómetro STR. El radiómetro explora la tierra línea por línea; consistente consiste en una serie de elementos de imagen o de píxeles, para cada cual el radiómetro mide la energía radiada de las diversas gamas espectrales. Esta



medida digital se cifra y se transmite a la estación de tierra para procesada antes de ser entregada a la comunidad para su utilización.

El STR es un instrumento de 3 canales: el canal visible es 0,46-0,7 μm , el canal infrarrojo es 10,5-12,5 μm y el canal vapor de agua es 6,0-7,0 μm . En el canal visible, la resolución es 1.25 kilómetros. En los canales infrarrojos y vapor de agua, la resolución es 6,25 kilómetros.

d.3.5.7 El Satélite INSAT-2E

El INSAT-2E está equipado con un VISSR (Visible and Infrared Spin Scan Radiometer). El radiómetro explora la tierra línea por línea; consistente en una serie de elementos de imagen o de píxeles, para cada cual el radiómetro mide la energía radiada de las diversas gamas espectrales. Esta medida digital se cifra y se transmite a la estación de tierra para procesada antes de ser difundida para su utilización.

Este satélite INSAT-2E, es un satélite geoestacionario indio y su altitud es cerca de 35800 kilómetros. El punto fijo a la vertical del satélite está en el ecuador en 74° al este y ve siempre la misma porción del globo (42% de la superficie de la tierra). El VISSR es un instrumento de 3 canales: el canal visible es 0,47-0,7 μm , el canal infrarrojo es 10,5-12,5 μm y el canal vapor de agua es 5,7-7,1 μm . En el canal visible, la resolución es 2 kilómetros. En los canales infrarrojos y vapor de agua, la resolución es 8 kilómetros.

d.3.6 PRODUCTOS DE LOS SATÉLITES METEOROLÓGICOS

d.3.6.1 Utilidad de las imágenes de alta y baja resolución

Al ser las imágenes de los canales APT y WEFAX de menor resolución y de datos que carecen de calibraciones precisas, sólo son útiles a los fines observacionales y en meteorología sinóptica, para análisis de nubes, formas, frentes, estimaciones globales, etc. Las imágenes cuantitativas en cambio, que contienen gran cantidad de información porque son de alta resolución y las componentes de la imagen están sumamente procesadas, pueden utilizarse para la observación, análisis y estudio más exacto de la



atmósfera y el suelo.

d.3.6.2 Imágenes en el espectro visible (VIS)

Alrededor de la mitad de la energía radiada por el Sol pertenece a las longitudes de onda visible y los radiómetros de los satélites miden la radiación solar reflejada en ese intervalo, entonces la radiación detectada en la banda visible es una medida de la reflectividad de la Tierra.

Las zonas de alta reflectividad aparecen blancas y las de menor más oscuras hasta el negro. A esta radiación se la asocia un albedo de 1 a 100 y las componentes de una imagen HRI o HRPT se expresan en albedos relacionados con un tono de gris.

Mediante la utilización de los contrastes es posible definir la forma de los objetos en estas imágenes principalmente las nubes por lo que la banda visible es útil especialmente en la meteorología sinóptica.

d.3.6.3 Imágenes en el espectro infrarrojo (IR)

La Tierra y la atmósfera emiten radiación térmica confinada dentro del intervalo espectral 3 a 100 μm , donde se encuentra la banda infrarroja media (3 a 30 μm). En estas longitudes de onda la reflectividad es virtualmente nula y la radiación solar despreciable, por eso se considera como radiación de cuerpo negro y se relaciona con la temperatura, medida en grados Kelvin.

En los productos HRI y HRPT los componentes de las imágenes IR se expresan en K y se le relaciona un tono de gris. Las imágenes en IR, se utilizan principalmente para la observación de las estructuras cuando no hay radiación solar, es decir de noche y en donde, los puntos cálidos aparecen oscuros y los fríos blancos.

d.3.6.4 Imágenes de vapor de agua (WV)

Las imágenes en visible e infrarrojo térmico, utilizan las bandas del espectro electromagnético donde la absorción por los gases atmosféricos es pequeña, sin



embargo son de interés también los intervalos espectrales donde la radiación infrarroja emitida por la Tierra es absorbida por el vapor de agua de la atmósfera.

Las imágenes en WA son en su mayoría representativas de la humedad de la media y alta tropósfera. En definitiva el canal de WA se utiliza en la banda de absorción de $6\mu\text{m}$ dentro de la radiación IR y en general las imágenes representan la humedad media de la tropósfera.

d.3.6.5 Otros tipos de Imágenes

Imágenes RAINSAT en las que se puede obtener mediante diversas técnicas de comparación de bandas y aplicación de matrices (obtenidas por combinación de datos de satélite y radar) y algoritmos, zonas de intensidad de lluvia y zonas de probabilidad de precipitaciones. A través de otras técnicas de comparación de bandas, filtrados, etc. es posible obtener productos relacionados con la temperatura del mar, del suelo o índices de vegetación, entre otros.

d.3.7 INSTALACIÓN ADECUADA DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

Se debe recordar instalar la estación meteorológica en un lugar relativamente abierto, como un jardín lejos de árboles y edificios. A continuación se muestran las imágenes de cómo quedarían ubicadas las Estaciones Meteorológicas.”¹¹



Figura 3.- Estación Meteorológica.

Fuente: Libro Meteorología de José Manuel Guevara.



Figura 4.- Estación Meteorológica

Fuente: Libro Meteorología de José Manuel Guevara.

¹¹GUEVARA José Manuel, Meteorología, Primera edición pág. 53-63



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR



Figura 5.- Estación Meteorológica.

Fuente: Libro Meteorología de José Manuel Guevara.



Figura 6.- Partes básicas de una Estación.

Fuente: Libro Meteorología de José Manuel Guevara.



d.4 CAPÍTULO IV: SATÉLITE GOES

d.4.1 CONCEPTO

“Los satélites ambientales operacionales geostacionarios de la serie GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) son esenciales para la observación continua del entorno del planeta Tierra y juegan un papel fundamental en las operaciones de observación, emisión de alertas y pronóstico del tiempo, no sólo en los Estados Unidos, sino en todo el hemisferio occidental. Las naves espaciales trabajan con el equipo de apoyo en tierra para cumplir la misión del programa GOES, que consiste en proveer datos e imágenes al público en general y a distintas comunidades de usuarios: comerciales, docentes y científicos. En la figura 7 se muestra una imagen esquematizada de cómo funciona el Sistema de Observación Integrado del GOES.



Figura 7.- Los satélites ambientales y los distintos sistemas de observación terrestres y atmosféricos que comprenden el sistema integrado de observación GOES.

Fuente: Libro SchwerdtfegerdeCooperativeInstituteforMeteorologicalSatelliteStudies, Universidad de Wisconsin-Madison.

Se prevé que la misión GOES-R mejorará la calidad y frecuencia de la información y aumentará la seguridad del público, protegiendo en mayor medida sus vidas, sus bienes y el medio ambiente, fortaleciendo la seguridad económica y fomentando la educación e investigación científica.



NOAA opera dos satélites GOES activos cuyas observaciones abarcan la mayor parte del hemisferio occidental. Hay un tercer satélite en órbita, de reserva, en caso de que se produzca alguna avería inesperada. En la figura 8 se muestra el rango de alcance del satélite en órbita.

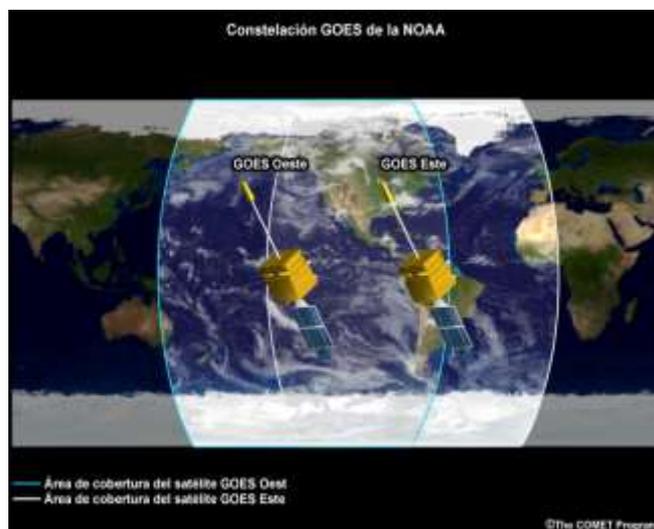


Figura 8.- Cobertura geográfica de los satélites GOES Oeste y GOES Este.

Fuente: Libro Schwerdtfeger de Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, Universidad de Wisconsin–Madison.

d.4.2 MISIÓN DEL PROGRAMA GOES–R

Los satélites de próxima generación GOES–R marcarán el comienzo de una nueva etapa en la teledetección ambiental desde satélites geostacionarios para los EE.UU. Con el lanzamiento del primer satélite, programado para el año 2015, comenzará un período de servicio previsto de diez años durante el cual el programa GOES–R se dedicará a mejorar la calidad y oportunidad de las observaciones meteorológicas y ambientales.

Al igual que los satélites en órbita polar, los satélites geostacionarios ofrecen ciertas ventajas de observación particulares; ambos también tienen sus propias limitaciones. Veamos brevemente en qué consiste la diferencia entre las órbitas polares y las geosincrónicas.

d.4.2.1 Satélites en órbita polar

La perspectiva de observación de los satélites en órbita polar es completamente distinta, ya que mantienen una altitud mucho más baja que sus análogos geostacionarios



(normalmente vuelan a 850 km, o 530 millas, de altitud sobre la superficie terrestre) y siguen una trayectoria que pasa cerca de los polos terrestres, como se observa en la figura 9.

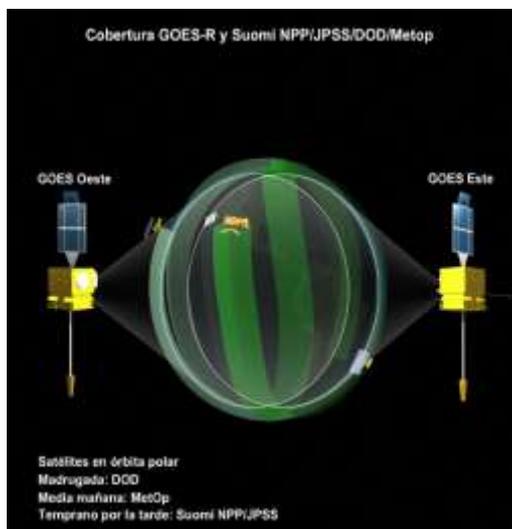


Figura 9.- Cobertura Satélite GOES.

Fuente: Libro SchwerdtfegerdeCooperativeInstituteforMeteorologicalSatelliteStudies, Universidad de Wisconsin-Madison.

Un solo satélite en órbita polar tarda 12 horas en observar la totalidad del globo terráqueo, de modo que sobrevuela la mayoría de los lugares al menos dos veces al día. Debido al solapamiento de las órbitas consecutivas, la cobertura de los satélites polares es más frecuente en latitudes altas, pero es relativamente infrecuente en comparación con la de los satélites geoestacionarios, de modo que resulta más difícil utilizarlos para observar los eventos de rápido desarrollo. Sin embargo, debido a su cobertura mundial, estos datos son de enorme utilidad cuando se utilizan con los modelos numéricos que nos ayudan a pronosticar el tiempo y las variaciones climáticas.

En la tabla 2 se compara brevemente algunos aspectos importantes de los satélites geoestacionarios y polares.



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR

Tabla 2. Tabla de comparación de las características los satélites en órbitas geoestacionarias y polares.

Satélites Geoestacionarios (Serie GOES)	Satélites en Órbita Polar (Órbita Terrestre Baja)
Repite la cobertura en (15min o menos)	Repite la cobertura 2 veces al día (cada 12 h en las regiones tropicales y de latitudes medias, más frecuentemente en latitudes más altas)
Observa los procesos atmosféricos de escalas temporales más cortas (movimiento, evolución de sistemas meteorológicos, crecimiento y disipación de tormentas)	Observa los cambios que ocurren a plazos mayores (hora y días)
Disco terrestre completo (hemisferiooccidental) cada 3h (GOES-R: 15min) Vistas del territorio continental de EE.UU. (48 estados contiguos): cada 15min (GOES-R: 5min)	Cobertura mundial cada 12 horas
Mejores vistas: Regiones tropicales y latitudes medias	Mejores vistas: polos
Ángulo de observación constante	Ángulo de observación variable
Cambios en la iluminación solar	Siempre la misma iluminación solar (órbita heliosincrónica)
Observación repetida de la misma región permite obtener un campo visual despejado para sondeos	Instrumentos de microondas ayudan a obtener sondeos en condiciones nubladas
Vientos atmosféricos (vapor de agua y movimiento de las nubes)	Vientos en la superficie oceánica, vientos atmosféricos (regiones polares: derivados del movimientos de las nubes)
Tendencias de precipitación a corto plazo	Estimaciones cuantitativas de la precipitación (los canales de microondas ayudan a observar el interior de las nubes)
Clima local y clima diurno	Patrones y ciclos climáticos mundiales
Información de tendencias para precipitación a corto plazo	Temperatura y humedad vertical detallada en 3D para predicción numérica del tiempo
Canales visibles, IR cercano e IR	Canales visibles, IR cercano, IR y microondas
Canales visibles, IR cercano e IR	Sondeos atmosféricos: se aproxima a una resolución vertical de 1km con metop y el futuro future NPP/NPOESS
Observación solar directa y observación directa del ambiente espacial	Observación directa del ambiente espacial

Fuente: Libro SchwerdtfegerdeCooperativeInstituteforMeteorologicalSatelliteStudies, Universidad de Wisconsin-Madison.

d.4.3 INSTRUMENTOS DE LOS SATÉLITES GOES-R

Los instrumentos a bordo de los satélites de la serie GOES-R generarán más de 50 veces la cantidad de información que nos brindan los satélites actuales del sistema GOES y ofrecerán una amplia gama de tipos de observaciones medioambientales, con un énfasis particular en la detección de las condiciones propicias para tiempo peligroso en el hemisferio occidental y los impactos del tiempo espacial.



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR

Además, los sistemas de comunicaciones mejorados a bordo de los satélites GOES–R ampliarán la capacidad de transmisión de datos, para asegurar el flujo continuo y confiable de los productos de teledetección, así como la retransmisión de otra información de interés para los servicios ambientales y de emergencia, que es esencial para muchos usuarios e intereses, en la figura 10 se muestra el flujo de datos de Teledetección.

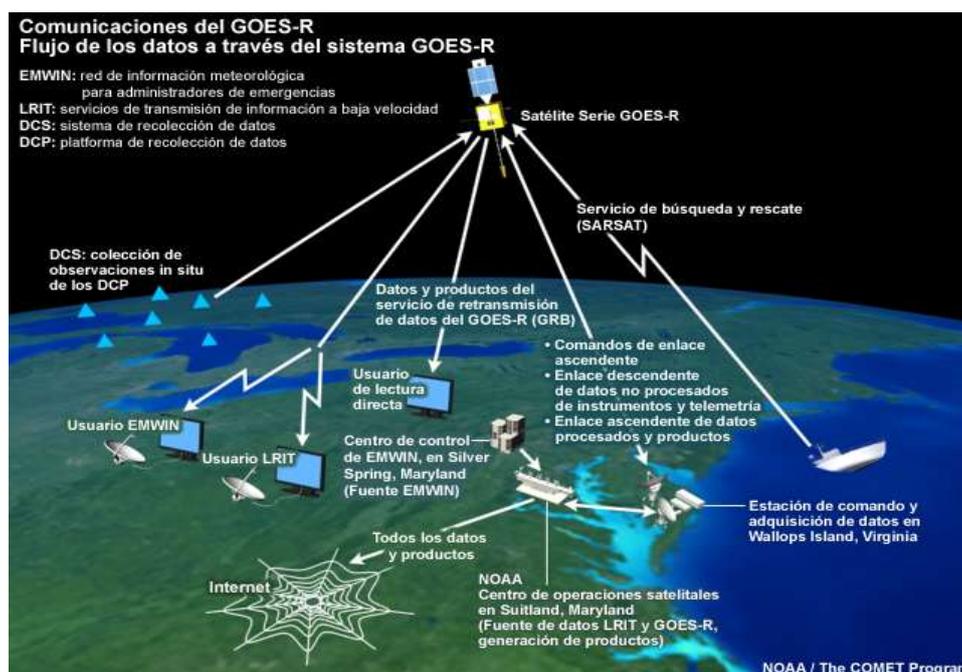


Figura 10.–Diagrama relacional de los distintos elementos de comunicaciones del programa GOES-R, incluido los segmentos espacial y terrestre.

Fuente: Libro Schwerdtfeger de Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, Universidad de Wisconsin–Madison.

- El paquete de instrumentos a bordo de los satélites GOES–R comprenderá:
- El generador avanzado de imágenes de base (Advanced Baseline Imager, ABI) de 16 canales, diseñado para observar las nubes, la atmósfera y la superficie terrestre;
- el sensor de rayos geoestacionario (Geostationary Lightning Mapper, GLM), que permitirá observar las descargas eléctricas en el hemisferio;
- Los sensores de irradiancia en el ultravioleta extremo y rayos X (Extreme ultraviolet and X–ray Irradiance Sensors, EXIS), que miden las partículas solares, y el



generador de imágenes solares ultravioletas (Solar Ultra Violet Imager, SUVI), que generará imágenes del Sol;

- El conjunto de instrumentos de observación del ambiente espacial, que incluye la suite de sensores del ambiente espacial (Space Environment In-Situ Suite, SEISS) y el magnetómetro (MAG), para observar el entorno espacial terrestre y las tormentas geomagnéticas; y
- La suite de servicios exclusivos de carga útil (Unique Payload Services), que incluye:
 - El servicio de retransmisión de datos del GOES (GOES Re-Broadcast, GRB), que transmitirá los productos de datos instantáneamente a los usuarios;
 - El servicio de transmisión de información a baja velocidad (Low Rate Information Transmission, LRIT), que permitirá facilitar a los usuarios los datos de distintos satélites y otros datos ambientales;
 - La red de información meteorológica para administradores de emergencias (Emergency Managers Weather Information Network, EMWIN), que contendrá datos pensados específicamente para satisfacer las necesidades de los administradores de emergencias;
 - El sistema de recolección de datos (Data Collection System, DCS), que reenviará los datos ambientales de plataformas en lugares remotos; y
 - El servicio de rastreo asistido por satélite para búsqueda y rescate (Search And RescueSatellite-Aided Tracking, SARSAT), que ayudará a localizar a navegantes, aviadores y otras personas en peligro.

d.4.4 GENERADOR DE IMÁGENES

El generador avanzado de imágenes de base (Advanced Baseline Imager, ABI), que cuenta con 16 canales, generará productos más aptos para las tareas de predicción, la emisión de avisos de tiempo severo, la predicción numérica del tiempo y las observaciones ambientales y climáticas. El ABI constituye una mejora respecto del generador de imágenes a bordo de los satélites GOES actuales (los números 8 a 12 de la serie, incluidos los N, O y P), ya que cuenta con una resolución espacial 4 veces mayor, una velocidad de captación de imágenes 5 veces más rápida, una mayor cobertura



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR

espectral (cuenta con 3.2 veces más canales) y la capacidad de obtener mediciones más exactas, que permitirán observar estructuras elusivas.

En la tabla 3 se compara las características del actual generador de imágenes del GOES y del futuro ABI del GOES-R.

Tabla 3.-Tabla de comparación de las características del actual generador de imágenes del GOES y el futuro generador avanzado de imágenes de base (AdvancedBaselineImager, ABI) del GOES-R.

	Generador de Imágenes Actual del GOES	Generador de Imágenes Future del GOES-R (ABI)	Observaciones
Cobertura Espectral	5 bandas 1 visible 0 IR cercano 4 IR	16 bandas 2 visible 4 IR cercano 10 IR	ABI cobertura espectral 3.2 veces mayor Nubes y aerosoles de día, vientos derivados del movimiento de las nubes, cubierta de nieve y hielo, vegetación, zonas quemadas, otras estructuras de superficie durante el día Cirros durante el día, fase de las nubes y tamaño de las partículas, nubes bajas y niebla, aerosoles, vegetación, cubierta de nieve y hielo, otras propiedades del suelo Superficie de nubes, niebla por la noche, vientos, lluvia, incendios, polvo, cenizas, vapor de agua, altura y cantidad de nubes, ozono, SO ₂ , temperatura de la superficie del mar (TSM)
Resolución espacial Otro canal visible/IR cercano Otro canal visible/IR cercano IR (>2um)	≈1 km No disponible ≈4 a 8 km	0.5 km 1 km 2 km	ABI resolución espacial 4 veces mayor Resolución en el punto subsatélite sobre el ecuador
Cobertura Disco terrestre completo 48 estados del territorio continental de EE.UU. Mesoescala (≈1000X1000km)	Cada 3 horas ≈15 min No disponible	Cada 15 min Cada 5 min Cada 30 seg	ABI velocidad de barrido 5 veces mayor Cobertura simultánea en los distintos modo de barrido

Fuente: Libro Schwerdtfeger de CooperativeInstituteforMeteorologicalSatelliteStudies, Universidad de Wisconsin–Madison.

El sistema permitirá generar imágenes en bandas del espectro visible, infrarrojo e infrarrojo cercano, y los productos asociados, con una frecuencia de 15 minutos para la mayor parte del hemisferio occidental, en comparación con el intervalo de tres horas del sistema actual. Para el territorio continental de Estados Unidos, el intervalo de visualización actual de 15 minutos se reducirá a una frecuencia de 5 minutos; en condiciones de tiempo severo y durante otras emergencias ambientales, será posible obtener imágenes y un subconjunto de productos para un área reducida y seleccionable con una frecuencia de 30 segundos. Como permite apreciar esta simulación de dos horas



del ABI, los tres modos de captación de imágenes generarán un conjunto de productos simultáneos, como se muestra en la figura 11.

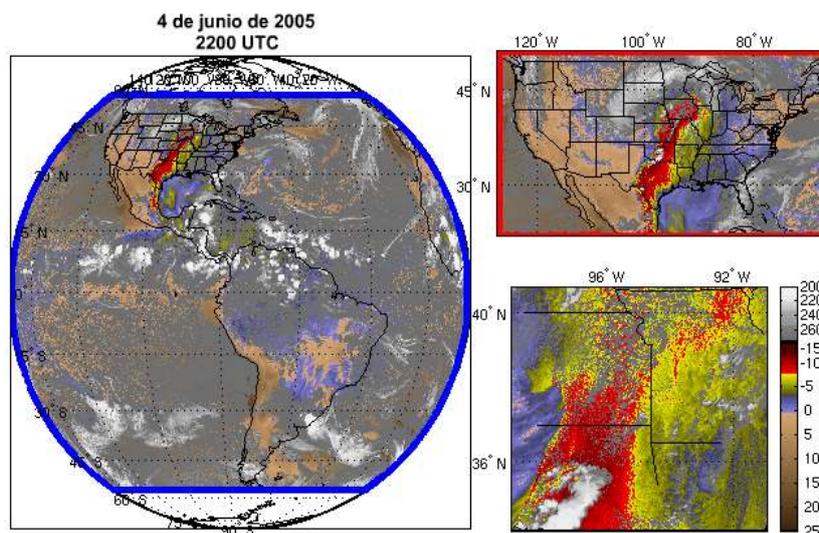


Figura 11.- Simulación del producto índice de elevación del GOES Julio 2005.

Fuente: Libro Schwerdtfeger de Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, Universidad de Wisconsin–Madison.

Simulación de imágenes de producto derivado del índice de ascenso del GOES-R que comparan la cobertura de disco completo, de territorio continental de los EE.UU. y de sector de meso escala y las frecuencias de actualización para un período de dos horas el 4 de junio de 2005.

Algunos estudios han estimado el valor económico de los posibles beneficios del ABI en comparación con los generadores de imágenes actuales en más de cuatro mil millones de dólares estadounidenses.

d.4.5 SISTEMA Y SERVICIOS SATÉLITALES

d.4.5.1 Sistema GOES–R

El sistema de satélites GOES–R se basa en una arquitectura integral que asegura a todos los usuarios la disponibilidad coherente y oportuna de las observaciones y los productos. Los instrumentos satelitales, la nave espacial y los sistemas de comunicación de a bordo componen el segmento espacial, cuyo funcionamiento se coordina estrechamente con los sistemas terrestres.



El segmento terrestre del GOES–R mantiene los sistemas de la nave espacial en buen estado de funcionamiento, convierte las observaciones en productos, archiva los datos y asegura el acceso confiable a los productos ambientales, como se muestra en la figura 12.

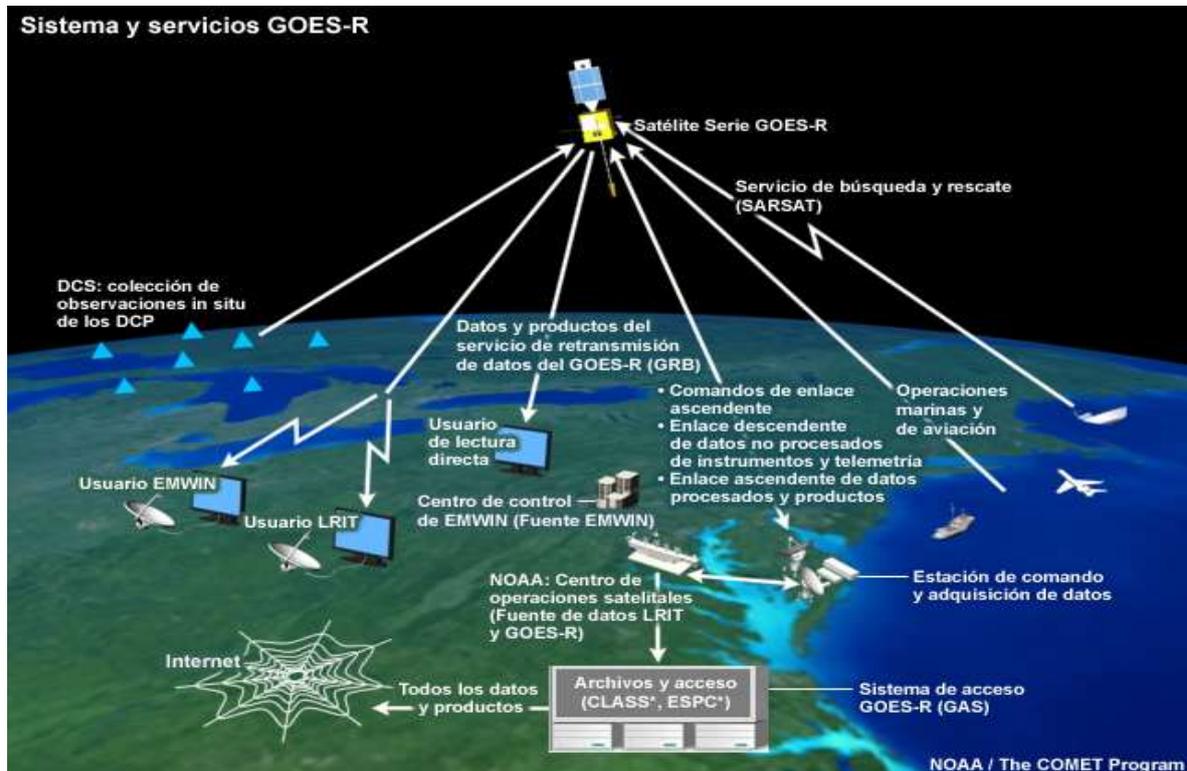


Figura 12.- Diagrama relacional de los servicios del programa GOES-R para recibir, procesar, distribuir y archivar datos y productos.

Fuente: Libro Schwerdtfegerde CooperativeInstituteforMeteorologicalSatelliteStudies, Universidad de Wisconsin–Madison.

Los siguientes servicios de nave espacial y terrestre son esenciales para el éxito de la misión del programa GOES–R:

- Retransmisión de los productos GOES–R a los usuarios con sistemas de lectura directa mediante el servicio de retransmisión de datos del GOES (GOES Re–Broadcast, GRB) del GOES–R;
- Disponibilidad del conjunto completo de productos GOES–R (en tiempo real y archivados) a través del sistema de acceso del GOES–R (GOES–R Access System, GAS);



- Diseminación de conjuntos de datos meteorológicos y ambientales, así como de ciertas imágenes de los satélites GOES y en órbita polar, y de otros satélites meteorológicos de los Estados Unidos y otros países, a través del servicio digital de transmisión de información a baja velocidad (Low Rate Information Transmission, LRIT);
- Difusión de productos especializados a los administradores de emergencias a través de la red de información meteorológica para administradores de emergencias (Emergency Managers Weather Information Network, EMWIN);
- Recolección y reenvío de datos de plataformas ambientales remotas a través del sistema de recolección de datos (Data Collection System, DCS);
- Apoyo a servicios de búsqueda y rescate para localizar navegantes, aviadores y otras personas en peligro a través del servicio de rastreo asistido por satélite para búsqueda y rescate (Search And RescueSatellite–Aided Tracking, SARSAT);
- Servicios de comunicación diseñados específicamente para la NOAA y otras operaciones marinas y de aviación civiles.”¹²

¹²(Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies), Universidad de Wisconsin–Madison, Schwerdtfeger Library.[Se puede obtener a través de este enlace: <http://library.ssec.wisc.edu/recursos/goesr/goesr.php>.]



d.5 CAPÍTULO V: SOFTWARE STATGRAPHICS

d.5.1 CONCEPTO

“Este programa es apropiado para todas aquellas personas que necesitan analizar estadísticamente datos provenientes de mediciones y/o experimentos industriales, como sería Ingenieros de Proceso o de Calidad, personal de Investigación y Desarrollo, de Validación de Métodos Analíticos, etc. STATGRAPHICS realiza todas las rutinas estadísticas que normalmente requieren las industrias, desde estadística básica (con un excelente módulo de estadística descriptiva y de análisis exploratorio de datos) hasta análisis complejos como diseño de experimentos y métodos multivariados, pasando por módulos de control de calidad, regresión avanzada y series de tiempo.

Entre las funciones principales del software Statgraphics para procesar datos tenemos:

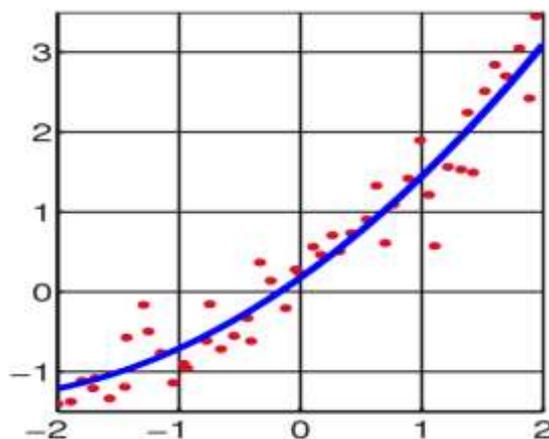
La desviación estándar o típica es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio. Dicho de otra manera, la desviación estándar es simplemente el "promedio" o variación esperada con respecto a la media aritmética.

Por ejemplo, las tres muestras (0, 0, 14, 14), (0, 6, 8, 14) y (6, 6, 8, 8) cada una tiene una media de 7. Sus desviaciones estándar muestrales son 7, 5 y 1 respectivamente. La tercera muestra tiene una desviación mucho menor que las otras dos porque sus valores están más cerca de 7.

La desviación estándar puede ser interpretada como una medida de incertidumbre. La desviación estándar de un grupo repetido de medidas nos da la precisión de éstas. Cuando se va a determinar si un grupo de medidas está de acuerdo con el modelo teórico, la desviación estándar de esas medidas es de vital importancia: si la media de las medidas está demasiado alejada de la predicción (con la distancia medida en desviaciones estándar), entonces consideramos que las medidas contradicen la teoría. Esto es coherente, ya que las mediciones caen fuera del rango de valores en el cual sería razonable esperar que ocurrieran si el modelo teórico fuera correcto. La desviación estándar es uno de tres parámetros de ubicación central; muestra la agrupación de los datos alrededor de un valor central (la media o promedio).



Mínimos cuadrados es una técnica de análisis numérico enmarcada dentro de la optimización matemática, en la que, dados un conjunto de pares ordenados: variable independiente, variable dependiente, y una familia de funciones, se intenta encontrar la función continua, dentro de dicha familia, que mejor se aproxime a los datos (un "mejor ajuste"), de acuerdo con el criterio de mínimo error cuadrático.



En su forma más simple, intenta minimizar la suma de cuadrados de las diferencias en las ordenadas (llamadas residuos) entre los puntos generados por la función elegida y los correspondientes valores en los datos. Específicamente, se llama mínimos cuadrados promedio cuando el número de datos medidos es 1 y se usa el método de descenso por gradiente para minimizar el residuo cuadrado. Se puede demostrar que los mínimos cuadrados promedio minimiza el residuo cuadrado esperado, con el mínimo de operaciones (por iteración), pero requiere un gran número de iteraciones para converger.

d.5.2 CARACTERÍSTICA

“Este software nació siendo diseñado para usarse en una PC, en contraste con otros sistemas que fueron desarrollados originalmente para "mainframe" y luego compactados para correr en una PC. Además, su ambiente gráfico e interactivo hace de STATGRAPHICS el paquete más rápido, fácil y poderoso del mercado.”¹³

¹³ <http://www.tec-quest.com/statgraphics.htm>



d.5.2 VENTANAS DEL STAGRAPHICS

“El Statgraphics presenta las siguientes ventanas: de aplicación, comentarios, datos, análisis, asesoría (StatAdvisor), galerías (StatGallery), reportes, y vista previa.

d.5.2.1 Ventana de Aplicación

Es la ventana inicial que aparece cuando se activa el programa, y se puede considerar que es la principal, ya que contiene los diferentes menús (opciones), las barras de aplicaciones y de tareas, los diferentes íconos y a través de ella se puede acceder a las demás ventanas. En esta ventana se muestran las siguientes opciones:

- Título
- Menú
- Barra de aplicaciones
- Barra de tareas
- Comentarios
- Ventana de datos Botón de datos no titulado
- El StatAdvisor
- StatGallery
- StatReport

d.5.2.2 Ventana de los Comentarios

La ventana de Comentarios aparece cuando se pulsa el botón el Untitled Comments. Esta ventana se usa para registrar información de interés sobre los Stat Folios y como una libreta de apuntes para hacer las anotaciones que se consideren necesarias sobre el trabajo o los análisis que se estén realizando.



d.5.2.3 Ventana de datos (Spreadsheetwindows)

Para accederla se presiona el botón Untitled data task bar o se la selecciona a través del menú “Windows”. Esta ventana se usa para crear nuevas hojas de datos, modificar hojas de datos existentes, y para modificar datos mediante el comando de edición.

d.5.2.4 Ventana de análisis

La ventana de Análisis aparece después de que se selecciona un gráfico o un análisis estadístico de la barra de menú y se ha suministrado la información apropiada en el gráfico o en la caja de diálogo del análisis de interés. La ventana de análisis contiene los siguientes componentes:

- Barra de título
- Iconos
- Barra de herramientas de análisis
- Paneles de texto
- Gráficos

d.5.2.5 Ventana de asesoría (StatAdvisor)

Esta ventana aparece cuando hay disponible una interpretación de un análisis o de un gráfico.

d.5.2.6 Ventana del StatGallery

Se usa para organizar texto y gráficos que posteriormente se imprimirán o serán usados para organizar un documento

d.5.2.7 Ventana de StatReporter

Esta ventana aparece cuando se pulsa el botón de StatReporter y permite crear un reporte personalizado.



Usar esta ventana es cómo usar un procesador de textos. Se pueden crear informes personalizados copiando y pegando paneles de texto y/o de gráficos, agregando su propio texto, cambiando el estilo de los textos, su forma de presentación, etc.

Cuando en un análisis se hacen cambios a los gráficos, los cambios son automáticamente actualizados en el StatReporter. Además, se permite realizar anotaciones, copiar items, y trabajar alternativamente entre el procesador de texto y el Statgraphics.

El StatReporter tiene su propia barra de herramientas. Sus items permiten seleccionar la fuente, cambiar el tamaño de las palabras, o la forma de las letras, alinear el texto, agregar datos, y buscar palabras o texto en el documento que se está creando.

d.5.2.8 Ventana de Vista previa

Se usa cuando se desee saber cómo quedará la impresión final de un estudio. Se activa a través del menú de Archivo (Files) o presionando el botón derecho del mouse y escogiendo la opción “vista previa”(PrintPreview).

d.5.2.9 Datos para los análisis (Variables)

Sin tener en cuenta el tipo de análisis estadístico que se planea realizar, lo primero que se debe hacer es organizar los datos. Organizar los datos incluye recogerlos, clasificarlos y tabularlos.

En Statgraphics, los datos se almacenan en variables que se guardan en Hojas de Datos. Una variable se define como una característica o propiedad de una unidad individual de la población. Una variable describe cualquier hallazgo (un atributo o una característica), que puede cambiar, puede variar, o puede expresarse por más de un conjunto de datos, o en varios valores o categorías. Una variable contiene las observaciones o valores de los datos, que miden cierta característica de una población.

Es sumamente importante conocer el tipo de datos o el significado de la información específica que se está trabajando porque, aunque se pueden procesar varios tipos de



datos en los análisis del Statgraphics, los resultados pueden carecer parcial o totalmente de sentido si los análisis no son apropiados para el tipo particular de datos.”¹⁴

¹⁴ CALDERÓN C Bernardo A.. Conceptos básicos del Statgraphics” pág. 2-8



d.6 CAPÍTULO VI: GEOREFERENCIACIÓN Y NIVELES DIGITALES

d.6.1 PIXELES O LÍNEAS PERDIDAS

“Si se ha perdido el valor de algún pixel la solución más simple sería estimarlo como la media de los valores del mismo pixel en las líneas anterior y posterior (no es recomendable utilizar los pixeles contiguos de la misma línea por que han sido captados por el mismo detector que ha dado el fallo, por tanto son poco fiables).

No hay que olvidar sin embargo que las diferentes bandas de una imagen están altamente correlacionadas y además los detectores de dos bandas diferentes no son los mismos. Por tanto podría utilizarse el valor del pixel faltante en una banda diferente para mejorar la estimación.

En caso de que la imagen abarque un territorio amplio y cambiante resulta recomendable calcular los coeficientes de correlación y las desviaciones típicas (sk y sr) en un entorno cercano al pixel perdido.

Para detectar líneas perdidas se compara la media del nivel de pixeles de una línea con las medias de las líneas anterior y posterior, para detectar pixeles perdidos se compara el valor de un pixel con los de los 8 pixeles vecinos mediante algún procedimiento de filtrado.

d.6.2 BANDEADO

El fenómeno del bandeo se debe a una mala calibración entre detectores y resulta especialmente visible en las zonas de baja radiación (zonas marinas por ejemplo). El resultado es la aparición periódica de una banda más clara u oscura que las demás.

Para corregir el bandeo se asume que, en caso de no haber error, los histogramas obtenidos por cada uno de los detectores serían similares entre sí y similares al histograma global de la imagen que se toma como referencia.



d.6.3 GEORREFERENCIACIÓN Y CORRECCIÓN GEOMÉTRICA DE IMÁGENES DEL SATÉLITE

Una imagen de satélite, al igual que las fotografías aéreas, no proporciona información georreferenciada; cada pixel se ubica en un sistema de coordenadas arbitrario de tipo fila-columna como los que manejan los programas de tratamiento digital de imágenes. El proceso de georreferenciación consiste en dar a cada pixel su localización en un sistema de coordenadas estándar (UTM, lambert, coordenadas geográficas) para poder, de este modo, combinar la imagen de satélite con otro tipo de capas en un entorno SIG. Tras la georreferenciación se obtiene una nueva capa en la que cada columna corresponde con un valor de longitud y cada fila con un valor de latitud. En caso de que la imagen no hubiese sufrido ningún tipo de distorsión, el procedimiento sería bastante sencillo, sin embargo una imagen puede sufrir diversos tipos de distorsiones

Las correcciones necesarias para transformar en cada punto de la imagen sus coordenadas arbitrarias (fila-columna) en coordenadas reales (X e Y UTM por ejemplo)

La forma y parámetros de estas funciones dependen fundamentalmente del tipo de enfoque que se escoja para realizar la georreferenciación. Existen fundamentalmente dos métodos. El primero, la corrección orbital, modeliza las fuentes de error y su influencia. Para ello es necesario conocer con precisión tanto las características de la órbita del satélite como las del sensor. El segundo es un enfoque empírico que modeliza la distribución de errores en la imagen utilizando puntos de control.

El primero es más automático conociendo la información necesaria y las ecuaciones de transformación, aunque falla cuando aparecen errores aleatorios; es el que se suele suministrar cuando los datos se piden georreferenciados. El segundo es más simple en cuanto a su formulación y corrige mejor los errores aleatorios, su inconveniente es que es más trabajoso. El método de los puntos de control no deja de ser un procedimiento de regresión.

En general, en los métodos de regresión se dispone del valor de dos variables, X e Y, medidas en una serie de casos y, a partir de ellos, se obtiene una ecuación que permite estimar Y a partir de nuevos valores de X. A la variable X se le denomina independiente y a Y variable dependiente.



En el caso de la georreferenciación las variables independientes son c y f , es decir la columna y fila en que se ubica un pixel en la imagen original; mientras que X e Y , las coordenadas correspondientes a un sistema estandar, son las dependientes.

Lo primero que hay que decidir es el tipo de ecuaciones que se van a utilizar. Normalmente se trabaja con ecuaciones polinómicas que permiten modificar de forma flexible las coordenadas de la imagen. El orden del polinomio determina la flexibilidad del ajuste y de la transformación, normalmente se emplean transformaciones de tipo lineal (polinomio de grado 1), cuadrático (polinomio de grado 2) o cúbico (polinomio de grado 3).

Los casos más habituales son la transformación lineal y la transformación cuadrática, la transformación cúbica es más compleja, las ecuaciones son similares a las lineales y cuadráticas pero incluyendo términos elevados al cubo.

Es importante determinar cuál es el tipo de transformación más adecuada en función del tipo de distorsiones que se supone que aparecen en la imagen y de la cantidad y calidad de los puntos de control. Es necesario tener en cuenta que cuanto mayor sea el grado de los polinomios implicados, más sensible será la transformación a errores en la selección de los puntos de control.

Empleando el procedimiento de los mínimos cuadrados, se pueden calcular los valores de los coeficientes a partir de las coordenadas de un conjunto de puntos de control. Se trata de puntos en los que se conoce tanto la fila y la columna como las coordenadas reales. Como regla general, el número de puntos de control debería ser mayor que el número de parámetros que se van a calcular, 6 en la transformación lineal, 12 en la cuadrática y 24 en la cúbica.

La transformación lineal es la más sencilla asume que no hay distorsión en la imagen y simplemente se requiere una traslación, cambio de escala y rotación de la imagen.

Casi todos los programas de SIG disponen de algunos procedimientos para realizar una transformación de coordenadas. Resultan además muy útiles para incorporar mapas escaneados. En general se basan en una serie de etapas básicas:

1. Se busca una serie de puntos de control (generalmente lugares muy destacados y



visibles) y se averiguan las coordenadas de cada uno de ellos en los dos sistemas de coordenadas, (X; Y) y (f; c). El número de puntos de control debe ser suficiente, mayor cuanto más grande sea la imagen, y mayor cuanto más abrupto sea el relieve. Además deben estar adecuadamente repartidos por toda la imagen para evitar que las distorsiones locales adquieran demasiado peso en las ecuaciones finales. Deben ser objetos perfectamente identificables y preferentemente artificiales ya que tienen menor movilidad. Las coordenadas reales pueden obtenerse a partir de un GPS, mapas en los que puedan identificarse o de otra imagen previamente georreferenciada.

2. Determinación del tipo de transformación más adecuada en función del tipo de datos de partida y del número de puntos de control que hayan podido encontrarse. Normalmente, para imágenes de satélite la opción preferible es una ecuación cuadrática.

3. Mediante mínimos cuadrados se obtienen los valores de los coeficientes de regresión A; B; C; D; E; F; :::, estos coeficientes así calculados permiten realizar una medicación del sistema de coordenadas con el mínimo grado de error. Se obtiene además una estimación del error cuadrático medio (ECM) que resulta muy útil para determinar si es necesario ampliar el número de puntos de control.

4. Se aplican las ecuaciones anteriores, con los valores calculados de los coeficientes, a todas las coordenadas iniciales para obtener así sus nuevos valores en el sistema de referencia final.

Es necesario aplicar un procedimiento para transferir la información de los píxeles originales a los píxeles resultantes del proceso de transformación ya que con estas funciones de transformación va a crearse una nueva matriz correctamente posicionada, pero vacía. El llenado de esta matriz es, precisamente, el objetivo de la última fase de la transformación de coordenadas.

El problema resulta más complejo de lo que pudiera pensarse a primera vista. Idealmente, cada píxel de la capa transformada debería corresponderse a un solo píxel en la original. Lo normal, sin embargo, es que el píxel de la nueva imagen se sitúe entre varios de la original (rotación), incluso puede variar el tamaño de los píxeles.



El trasvase de valores de la capa original a la transformada puede abordarse por tres métodos dependiendo de la complejidad de la transformación realizada y del tipo de datos.”¹⁵

d.6.4 APLICACIONES EN DISTINTAS LONGITUDES DE ONDA

AZUL VISIBLE: Cartografía de aguas someras. Diferenciación de suelo y vegetación.

VERDE VISIBLE: Diferenciación de la vegetación por su salud.

ROJO VISIBLE: Diferenciación de la vegetación por especies.

INFRARROJO CERCANO: Cartografía de la vegetación Cartografía del vigor/salud de la vegetación Diferenciación de la vegetación por especies.

INFRARROJO MEDIO: Diferenciación de los tipos de rocas por composición. Detección de humedad en la vegetación y suelo Cartografía de la estructura geológica Trazado de límites tierra/agua.

d.6.5 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

“Otros formatos gráficos comúnmente usados en el almacenamiento de imágenes digitales.

d.6.5.1 Formato PCX

Es el formato original de los programas Paint brush. Puede tener hasta 24 bits de profundidad de color, aunque también hay versiones de 8 y 4 bits.

d.6.5.2 Formato BMP.

Este el formato que utiliza Windows para su fondo de pantalla. Puede usar un máximo de 24 bits de profundidad de color. Su cabecera describe las dimensiones y los colores, y el resto del fichero contiene los bytes que definen propiamente la imagen. Acabada esta cabecera comienza la tabla de definición de colores. Estos colores se definen por

¹⁵ <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema07.pdf>. Consultado 4 de Junio del 2014



medio de intensidades relativas de cada uno de los colores fundamentales (RGB), utilizando un byte para cada uno de ellos y otro que queda reservado.

d.6.5.3 Formato GIF.

GIF (Graphic Interchange Format) es el formato propuesto por CompuServe para el intercambio y transmisión de información gráfica. Tras la cabecera comienza la tabla global de colores, que es donde se almacenan los valores de los colores que se usarán en la imagen, cada uno de los cuales vendrá definido por una combinación RGB de 3 bytes. A continuación viene la descripción de la imagen, que a su vez contiene la propia descripción, una tabla de color global (opcional) y los datos propiamente dichos.

d.6.5.4 Formato TIF.

El formato TIF (TagImage File Format) nació como una mejora de los PCX ya existentes, y se caracteriza principalmente por estar orientado al intercambio de ficheros entre diferentes entornos. Es un fichero bitmap (raster). La lectura general de un fichero TIF se puede dividir en tres partes bien diferenciadas:

- La cabecera.
- La IFD (Image File Directory).
- La imagen propiamente dicha.

Es uno de los formatos gráficos más usuales en fotogrametría debido a su carácter compacto y al mismo tiempo abierto para añadir información.

d.6.5.5 Formato TGA.

Este es el formato de los ficheros Targa de TrueVision permitiendo el almacenamiento de imágenes monocromáticas o en color de 24 o 32 bits de profundidad.

d.6.5.6 Compresión de imágenes digitales.

La compresión de las imágenes digitales es una necesidad para la mayoría de las aplicaciones, en las que un número considerable de imágenes de gran tamaño deben de ser almacenadas en un espacio limitado o bien cuando éstas deben de ser transmitidas desde un sistema a otro. La idea básica de la compresión es la eliminación de la



redundancia de la imagen original. Esto se realiza mediante la transformación de la imagen en una serie de coeficientes que serán posteriormente codificados.

Si consideramos el tamaño de la escena de una imagen, expresada en kilómetros equivalentes de superficie terrestre; el número de bandas espectrales, la resolución radiométrica y la resolución espacial, quedará determinado el volumen de datos provisto por un sensor.

A modo de ejemplo consideremos una imagen Landsat TM, que tiene siete bandas, con una resolución radiométrica de 8 bits. Seis bandas tienen una resolución espacial de 30 metros y la otra tiene 120 metros (banda térmica). La escena de una imagen cubre una superficie de 185 kilómetros por 185 kilómetros. Por lo tanto tenemos 2.37 millones de píxeles para la banda térmica y 38 millones para cada uno del resto de las bandas. A 8 bits por píxel, para las 7 bandas se tiene un volumen de datos de 1.848.109 bits ó 1.848 Gbits. Corrientemente la cantidad de datos se expresa en Bytes, donde 1 byte equivale 8 bits, dando como resultado un total de 231 Mbytes. Es decir que una imagen Landsat TM completa requiere de 231 Mbyte para ser almacenada

En la actualidad los métodos más utilizados para la compresión de imágenes están basados en una transformación de coseno discreto, en la cuantificación del vector y en el uso de pirámides de imágenes.

El objetivo final de la compresión es la reducción del número de bits requeridos para representar una imagen, eliminando las redundancias existentes en la misma. La tasa de compresión (o ratio de compresión) se define como la relación entre el número de bits de la imagen original dividido por el número de bits de la imagen comprimida.

En las imágenes digitales nos podemos encontrar con tres tipos básicos de redundancias:

- Redundancia espacial, debida a la correlación entre el nivel de gris de un píxel y el correspondiente de los vecinos próximos.
- Redundancia espectral, debida a la correlación entre el nivel digital correspondientes a las diferentes bandas (imágenes multiespectrales).
- Redundancia temporal, debida a la correlación entre imágenes tomadas en distintos momentos (imágenes de vídeo).



Existen varios métodos de compresión, siendo la de los formatos TIFF y el uso de ficheros JPEG los más utilizados. Actualmente ha aparecido otro tipo de formato el MrSID.

d.6.5.7 Formato TIFF.

Se basa en cambiar la definición de cada uno de los valores de la celda por una suma de valores iguales.

Ejemplo. Supongamos la siguiente matriz:

```
2 2 2 1 1
1 1 1 1 2
2 2 2 4 5
6 7 2 2 2
```

Sin compresión: 2, 2, 2, 1, 1, 2, 2, 1, 1, 1, 2, 2, 2, 4, 6, 5, 3, 2, 2, 6

Con compresión: 3, 2, 6, 1, 4, 2, 1, 4, 5, 6, 7, 3, 2

El inconveniente de esta compresión es que llega a un máximo de 1/3 de tamaño original (tasa de compresión máxima 3:1). La ventaja reside en la nula pérdida de información.

d.6.5.8 Formato JPEG.

Es el formato de compresión más extendido y debido a la cada vez mayor necesidad de comprimir las imágenes puede convertirse en otro estándar, junto con el TIFF, dentro de Fotogrametría. Se basa en dividir la imagen en bloques de 8×8 (pixel) donde toman un valor mediante una transformación bidimensional discreta de cosenos (DCT) produciendo 64 coeficientes de salida. La media de los valores se registra y los otros 63 se expresan relativamente respecto al valor base. Esto hace reducir la magnitud de los valores e incrementan el número de ceros en los coeficientes. Los datos son entonces compactados usando la codificación Huffman la cual genera códigos más cortos para símbolos más frecuentes (la descompresión de las imágenes es al revés).

Con este tipo de se puede llegar a una reducción de entre 10 y 15 veces (tasa de compresión 1:10, 1:15) sin causar significantes cambios en la geometría de la imagen.



La compresión se regula por un parámetro Q función de la calidad de la compresión y que establece el usuario.

La compresión no afecta solo al tamaño de los ficheros, sino a los tiempos invertidos en las operaciones, no de los ficheros en la memoria del ordenador que son los mismos, sino de lectura y grabación de las fotografías.

El estándar JPEG define 3 diferentes sistemas de codificación:

1. Sistema de codificación de base de pérdida, el cual se basa en una transformación discreta de cosenos (DCT) adecuada a la mayor parte de las aplicaciones.
2. Sistema de codificación extendida para aplicaciones de mayor compresión, mayor precisión o reconstrucción progresiva.
3. Sistema de codificación independiente de pérdidas para definir la reversibilidad de la compresión.

El sistema de codificación de base de pérdidas frecuentemente llamado, sistema secuencial de base, tiene el límite de 8 bits tanto en la entrada como en la salida de los datos. La compresión se realiza en 3 pasos:

- a) Cálculo de la DCT.
- b) Medición.
- c) Asignación de variables longitud a los códigos.

Una vez dividida la imagen en bloques procesados de izquierda a derecha y de arriba abajo, se aplica la transformación bidimensional discreta de cosenos y reordenando la matriz solución de forma que mediante un patrón zigzag se forma una secuencia unidimensional de coeficientes.

d.6.5.8 Compresión jerárquica predictiva (HPC).

Este sistema de compresión de imágenes surge como un sistema de compresión para imágenes de vídeo. El algoritmo comienza con la creación de una representación a escala a distintos niveles de la imagen original (pirámides de imágenes). Por ejemplo, una imagen de un tamaño de, 1024×1024 píxeles se descompone en cinco imágenes correspondientes a cinco niveles de escala: 512×512 , 256×256 , 128×128 y 64×64 . La



pirámide se crea mediante la convolución de las imágenes de mayor resolución mediante la aplicación de un operador gaussiano y el aumento del tamaño del pixel al doble.

Se calculan las imágenes diferencia entre los diferentes niveles. Estas diferencias representan los componentes de alta frecuencia del nivel previo de la pirámide. La imagen original puede ser reconstruida a partir de su representación en el nivel de menor resolución (64×64 píxeles) y de las imágenes diferencia. Los valores de pixel de las imágenes diferencia son normalmente pequeños y pueden ser codificados y almacenados en un número reducido de bits, de forma que se alcanza una compresión sin pérdida de información, no obstante para obtener mayor tasa de compresión se utiliza la cuantización, que produce degradación de la imagen y una compresión más eficaz pero con pérdida de calidad.

El algoritmo de la HPC consta de los siguientes pasos

- Se crea una, pirámide de imágenes mediante un operador gaussiano de tamaño 3×3 . De este forma, por ejemplo, una imagen de tamaño 1024×1024 , da lugar a una sucesión de imágenes 512×512 , 256×256 , 128×128 y 64×64 .
- Se calculan las imágenes diferencia de todos los niveles, obteniendo en el ejemplo anterior 4 imágenes diferencia ($1024-512$), ($512-256$), ($256-128$) y ($128-64$).

La clave del método consiste en el modo de almacenamiento de las imágenes:

- ❖ Los valores de la imagen del nivel más alto (64×64) y la primera imagen diferencia (128×128) es almacenada como enteros de 8bits.
- ❖ Los valores de la imagen diferencia $256/128$ son almacenados como enteros de 5 bits.
- ❖ Los valores de la imagen diferencia de $512/256$ son almacenados como enteros de 3 bits.
- ❖ Los valores de la imagen diferencia $1024/512$ son almacenados como enteros de 1 bits.



Mediante este sistema (HPC-8.5.3.1) se alcanza una tasa de compresión de 3.6. Para obtener tasas más elevadas las imágenes diferencia deben, ser almacenados en un número más pequeño de bits. Sin embargo, esto supone una mayor degradación de la imagen así con un esquema (8.3.3.1) se alcanza una tasa de compresión de 4.5.

Puede decirse que la compresión es más eficiente que las imágenes piramidales en cuanto a reducción de tamaño se refieren. En compresión se pueden reducir más el tamaño de las imágenes, sin embargo las imágenes piramidales tienen un potencial mayor en el análisis de las mismas y en su cálculo.

Entre las ventajas de este tipo de imágenes cabe destacar:

- Los niveles se pueden incrementar, ya que estas imágenes se forman a partir de la imagen original.
- Existen unos valores iniciales para niveles piramidales bajos que nos pueden orientar sobre los valores de las imágenes.
- La velocidad de cálculo puede ser mejorada dependiendo del nivel piramidal.
- Se pueden encontrar cálculos erróneos con valores promediados.
- La ventaja más clara es la disminución de tamaño y consiguiente velocidad.

Una ventaja adicional del sistema HPC es la posibilidad de disponer de un conjunto de imágenes a diferentes resoluciones que permite la resolución del problema fotogramétrico, partiendo de una imagen generalizada (de escaso volumen pero que refleja los elementos más relevantes de la imagen) y refinando los resultados al descender de nivel utilizando los resultados de nivel superior como valores de partida.

d.6.5.9 Formato MrSID.

Este tipo de compresión se basa en la utilización de una transformación local, basándose en la transformada de wavelet discretizada, de manera que tiene una resolución uniforme y una calidad superior en toda la imagen. Otra ventaja de este tipo de formato es que lleva a cabo una transformación multiresolución, generando múltiples resoluciones en un archivo, de forma que cuando se realiza un zoom, la imagen aumenta en calidad. Esta característica hace que la visualización sea mucho mejor a todas las



escalas de trabajo, especialmente las pequeñas y medianas así como favorece una velocidad de transmisión de datos superior. La descompresión que realiza es selectiva, es decir, únicamente descomprime la porción de la imagen visualizada, cosa que, junto con la multiresolución, permite visualizar y trabajar con imágenes de gran tamaño con gran agilidad.

Este tipo de formato mantiene una perfecta calidad de la imagen hasta tasas de compresión de 20:1 para imágenes a color (RGB) y de 12:1 para escala de grises (B/N).”

16

¹⁶ PINILLA RUIZ Carlos. Elementos de Teledetección. Año 1995, pág. 20



e. MATERIALES Y MÉTODOS.

e.1 Materiales

Material Bibliográfico:

- ∞ Libros.
- ∞ Internet
- ∞ Folletos
- ∞ Revistas

Equipo de Computación y Software:

- ♣ Computadora
- ♣ Impresiones
- ♣ Fotocopias
- ♣ Disco externo de 1TB.
- ♣ Datos de Estaciones Meteorológicas Automáticas
- ♣ Software ENVI 4.7
- ♣ Software Microsoft Office
- ♣ Software Statgraphics

Útiles de Oficina

- ❖ Resmas de papel bond
- ❖ Carpetas
- ❖ Esferográficos, lápiz y borrador
- ❖ Calculadora



e.2 Métodos

Para el presente proyecto será tomado en cuenta los siguientes métodos:

Método deductivo.- nos permitirá hacer un enfoque del conocimiento general, para llegar al conocimiento particular. Puesto que de las generalidades llegamos a particularizar algunos conceptos, definiciones y clasificaciones que se relacionan con la radiación solar.

Método inductivo.- parte de algunos o varios casos particulares para de ellos obtener una conclusión general, ayudándonos así al desarrollo del presente proyecto.

Métodos analítico y sintético.- los mismos que serán empleados para analizar e interpretar la información obtenida y realizar el estudio de radiación, permitiendo formular las conclusiones y recomendaciones en dirección de los objetivos planteados

Método descriptivo.- refiriéndose a las condiciones necesarias para el estudio de radiación. Este método será el sustento para la descripción de la situación organizativa y estructural del proyecto, manejo de las operaciones y en sí en el proceso del estudio sobre radiación hasta llegar a la construcción del proyecto como producto final del trabajo.



f. RESULTADOS

A continuación se describe los pasos de la Metodología para calcularla Radiación Solar a través de fotografías satelitales.

1. Establecer la Localización y determinar las características de la zona de estudio.

Para cumplir con este requerimiento es necesario los siguientes datos

- ✓ Localización de la zona de estudio.
- ✓ Características de la zona de estudio.
- ✓ Obtención de datos geofísicos para la confección del Modelo Digital de Terreno (MDT).

2. Obtención y organización de las imágenes Visibles e Infrarrojas de los satélites GOES.

La descarga de imágenes se realiza gracias a la información que proporciona el satélite GOES en la web. A continuación se detalla el proceso:

- ✓ Ubicamos el sitio web (<http://rammb.cira.colostate.edu/ramsdisk/online/rmtc.asp>) y seleccionamos el sector 3, según esta distribución sería el sector en donde se encuentra ubicado Ecuador, como se muestra en la figura 13.

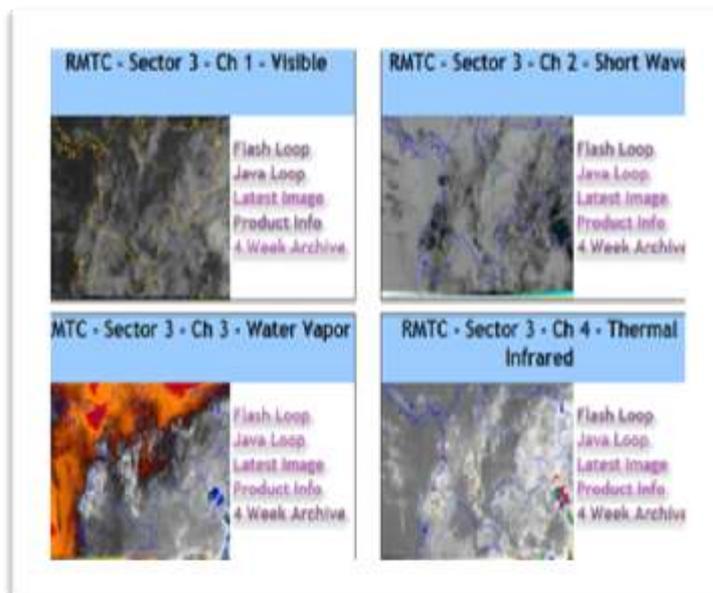


Figura 13.- Sector Tres.

- ✓ Luego se selecciona el tipo de imágenes que se desea descargar (visible o infrarroja).

Para el presente caso de estudio se escogió el sector tres que corresponde a las fotografías satelitales de Ecuador, sean estas visibles o infrarrojas.

Cabe recalcar que la información que nos proporciona el satélite GOES en la web solo será de las últimas cuatro semanas, como se muestra en las figuras 14 y 15.

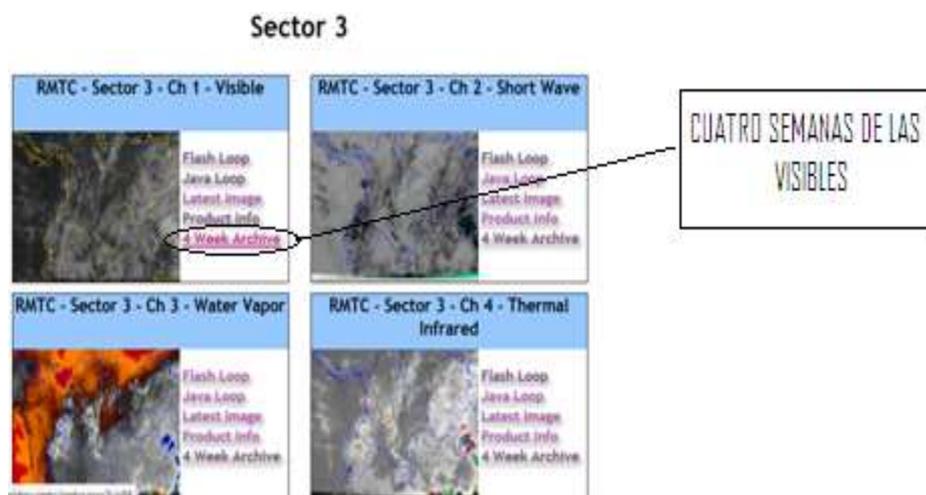


Figura 14.- Selección imágenes visibles.

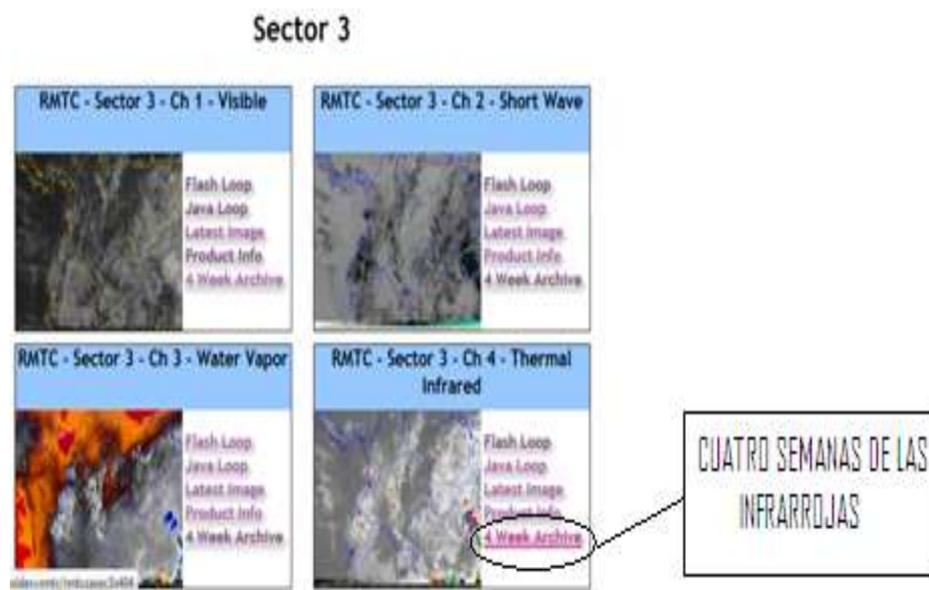


Figura 15.- Selección imágenes infrarrojas.

- ✓ El siguiente paso será el de descargar las imágenes a partir de las 11:15 hasta las 23:15, en la hora local sería desde las 6:15 hasta las 18:15.

Según la selección que escojamos en la ubicación anterior (<http://rammb.cira.colostate.edu/ramsd/online/rmtc.asp>), visibles o infrarrojas, se desplegarán las fotografías de las últimas 4 semanas, como se muestra en la figura 16.



Figura 16.- Descarga de fotografías.



- ✓ Se abrirá las fotografías una por una a partir de la hora antes mencionada y luego se hace clic derecho en la fotografía abierta y se selecciona “guardar imagen como”, se guarda la imagen en nuestro lugar de preferencia. Se recomienda guardarlas por días, como se muestra en la figura 17.

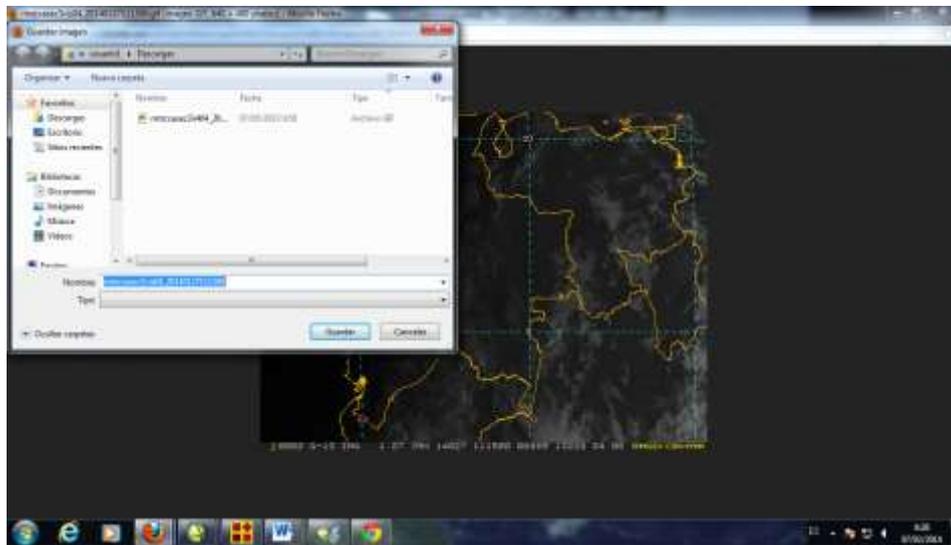


Figura 17.-Fotografía descargada, para archivar.

- ✓ Con esto se concluye la descarga de fotografías, el tipo de archivo con el que se guardara las fotografías será .GIF.

3. Conversión de Fotografías de Extensión .GIF a .JPG.

Una vez realizada la descarga de fotografías se procederá a convertir el formato de extensión .GIF a .JPG, se lo realiza con la ayuda del programa Paint.

Para esto se realiza el siguiente proceso:

- ✓ Se abre el programa Paint y paralelamente la carpeta donde estarán ubicadas las fotografías, como se muestra en la figura 18.



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR

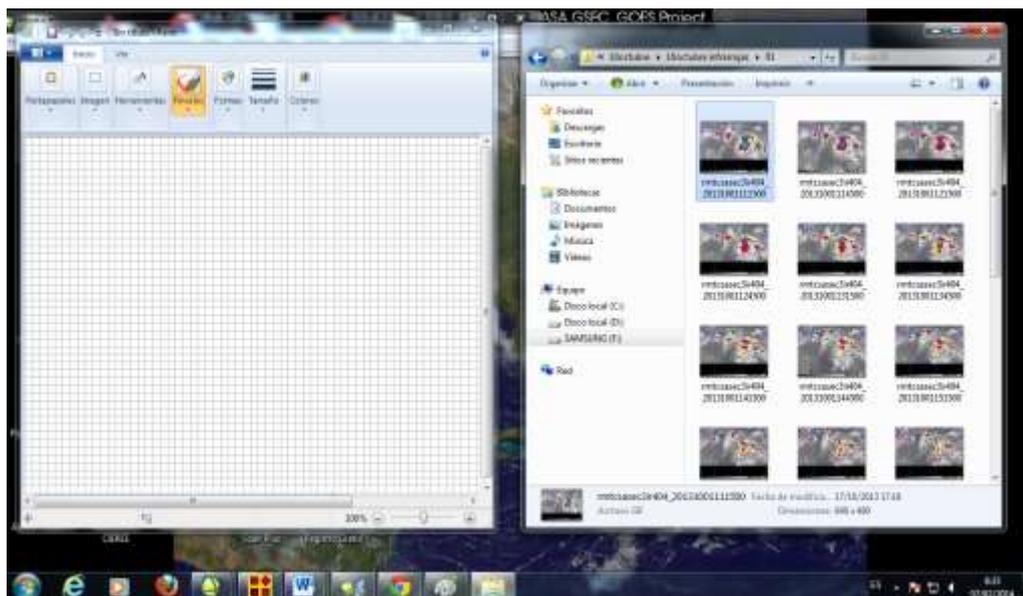


Figura 18.-Modelo de cómo ubicar el programa Paint y la carpeta contenedora de las imágenes a convertir.

- ✓ Después se arrastra la fotografía desde la carpeta de las imágenes hacia el programa de Paint para proceder a convertir, aunque estén incompletas es necesario convertirlas para tener evidencia de que esa imagen está cortada, como se muestra en la figura 19.

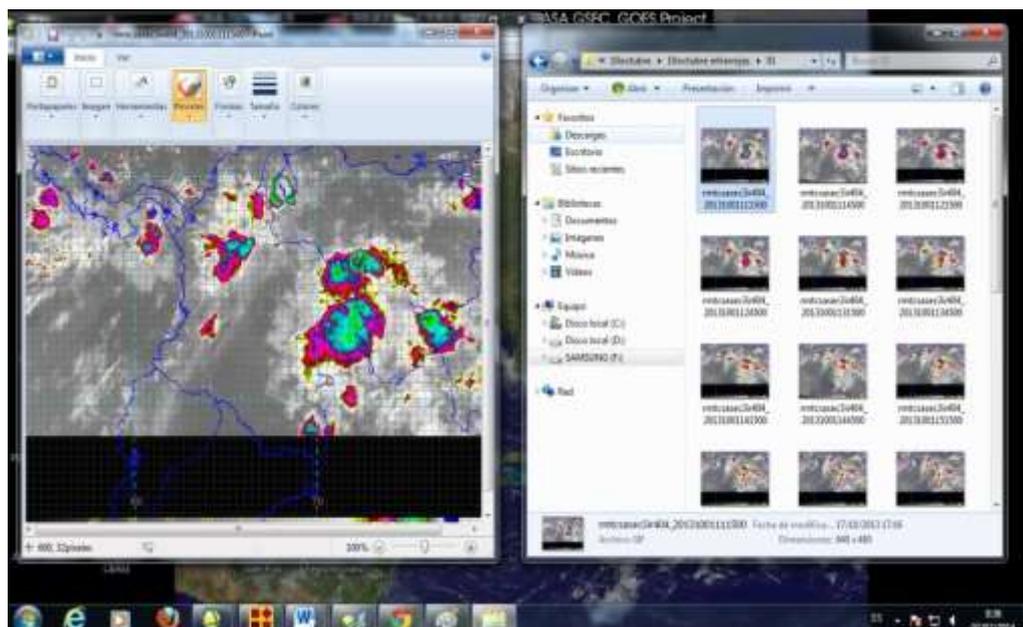


Figura 19.-Fotografía arrastrada y lista para ser archivada.



- ✓ Luego se procede a guardar la fotografía que está en Paint en una carpeta de preferencia, con la extensión .JPG, como se muestra en la figura 20.

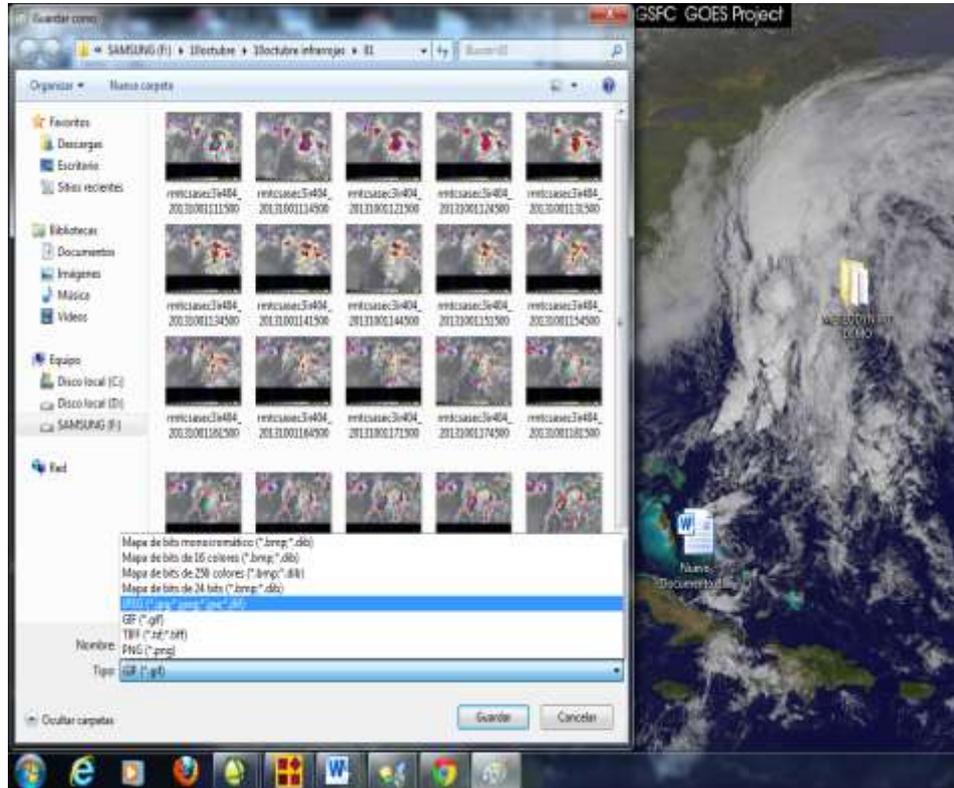


Figura 20.-Escogiendo el tipo de extensión con que la fotografía será guardada.

Las Fotografías archivadas quedarán listas para poderlas usarlas posteriormente.

4. Introducción en un Sistema de Información Geográfica, georreferenciación y corte de las imágenes a la zona de estudio.

Este proceso se realiza con la ayuda del programa ENVI-4.7 que sirve para cortar las fotografías y mejorar la calidad de las mismas, de la siguiente manera:

- ✓ Se abre el programa ENVI-4.7 y a su vez la fotografía que procederemos a procesar (esta fotografía será de extensión .JPG que es compatible con ENVI-4.7).

La fotografía será abierta a través del siguiente proceso:



Escogemos la opción “File/Open External File/GenericFormats/JPGE” y seleccionamos la fotografía en la que se vaya a trabajar, como se muestra en la figura 21.



Figura 21.-Escogiendo la fotografía para Georeferenciar.

- ✓ Luego se hace la lectura de RGB que son los valores digitales que nos servirán posteriormente, para ello se hace clic en “RGB” como nos muestra la figura 22 y 23.



Figura 22.-Lectura de valores digitales.



Figura 23.-Fotografía lista para Georeferenciar.

- ✓ De ahí seleccionamos la opción “MAP” en la barra de herramientas, luego “REGISTRATION” y después la opción “SELECT GCPs: Image to map”, para iniciar el proceso de georeferenciación, como se muestra en la figura 24.



Figura 24.-Georeferenciando.

- ✓ Luego se escoge la opción “GEOGRAPHIC lat/lon”, lo cual indica que estamos trabajando con coordenadas geográficas, como se muestra en la figura 25.



Figura 25.-Georeferenciando.

- ✓ A continuación se procede a la selección del sector que se necesita georeferenciar, seguido se detallará este proceso:
 - En el cuadro (Ground Control Points Selection) que aparece seleccionamos “File/RestoreGCPsfrom ASCII.../geo-4.pts” el archivo geo-4.pts se lo encontrará en la carpeta GEORREF que contiene una serie de archivos que servirán para asistir al programa ENVI-4.7.
 - Luego escogemos la opción “Options/Warp File...”, seleccionamos la imagen con la opción “SpatialSubset/Image”, cortaremos la imagen de acuerdo a nuestra conveniencia luego la opción “OK/OK/Ok/Choose”, de ahí se guarda el archivo con el nombre que desee, adjuntando la extensión .IMG y en la carpeta de preferencia y finalmente la opción Ok.

Con esto se concluye la operación de georreferenciación, esperamos unos minutos para que ENVI 4.7 termine el proceso de cortado y georreferenciada de la fotografía, tal como se muestra en la figura 26.



Figura 26.-Archivando la Fotografía Georreferenciada.

5. Obtención de los niveles digitales de las Fotografías Visibles e Infrarrojas correspondientes a la localización de las estaciones meteorológicas automáticas.

Esto se realizó a través del programa ENVI-4.7 de la siguiente manera:

- ✓ De las fotografías georeferenciadas se obtienen los niveles digitales fotografía por fotografía y para cada Estación Meteorológica automática, la ubicación de las estaciones meteorológicas están dadas en longitud y latitud pero para facilitar el proceso de extracción de niveles digitales hemos usado un vector que no es más que un sub-mapa que comprende la provincia de El Oro, Loja y Zamora Chinchipe y es donde se encuentran ubicadas las 5 estaciones meteorológicas, las cuales se describirán a continuación en la tabla 4.



Tabla 4.- Descripción de las Estaciones Meteorológicas Automáticas.

ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS DE LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR UTILIZADAS EN EL PRESENTE TRABAJO INVESTIGATIVO.				
NOMBRE DE LA ESTACIÓN	N°	COORDENADAS		DATOS QUE MIDE
		Longitud	Latitud	
UNL	1	-79,199	-4,03	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Radiación Solar(w/m^2) ➤ Precipitación (mm) ➤ Velocidad del Viento (m/s) ➤ Dirección del Viento
ZAPOTEPAMBA	2	-79,733	-4,05	
CHAQUINO	3	-78,615	-3,74	
ZAPOTILLO O LIMONES	4	-80,354	-4,38	
PADMI	5	-80,342	-4,18	

- ✓ A continuación, desde ENVI 4.7 abrimos la fotografía georeferenciada para extraer los niveles digitales, con la opción “Open Image File”, de ahí procedemos a buscar y seleccionar la imagen georeferenciada que deseemos procesar, como se indica en la figura 27.



Figura 27.-Abriendo la Fotografía Georeferenciada.



- ✓ Ya buscada y seleccionada la fotografía georreferenciada (ésta puede ser visible o infrarroja), se leerá los valores de RGB, como se muestra en la figura 28 y 29.



Figura 28.-Leyendo los niveles digitales de la Fotografía Georreferenciada.

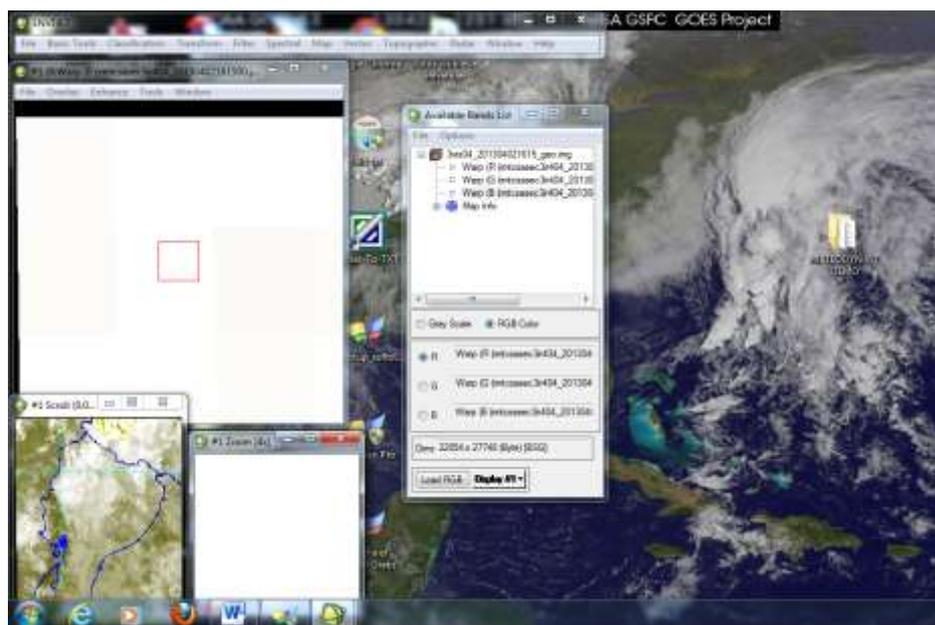


Figura 29.-Fotografía Georreferenciada lista para montar vector.

- ✓ El siguiente paso será el de montar el vector en la fotografía georreferenciada, para esto iremos a la opción “Vector/Open Vector File”, el vector que



seleccionaremos será ESTAUTPROY_LL.evf que se encuentra ubicado en la carpeta GEORREF (es la carpeta que sirve de asistencia al programa ENVI 4.7), a continuación se selecciona la opción “Load Selected”, luego se mostrará un cuadro de dialogo en el que se escoge el display donde se abrió la imagen (ejemplo Display 1) y terminamos el proceso de montar el vector haciendo clic en “OK”, el vector se ubica automáticamente en la fotografía georeferenciada, como se muestra en la figura 30.

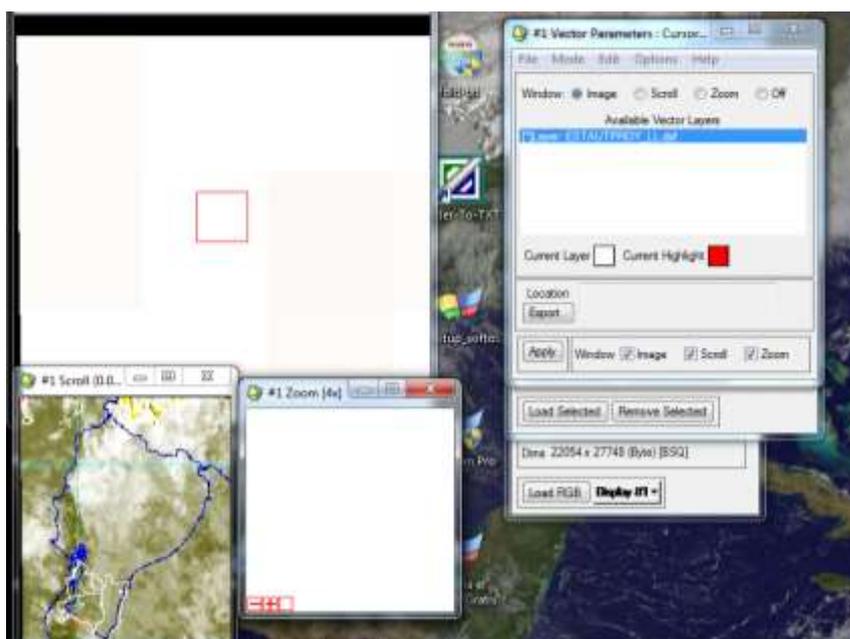


Figura 30.-Vector Montado en Fotografía Georeferenciada.

- ✓ Luego procedemos a abrir la ventana donde se mostrarán los valores digitales, esto lo haremos mediante la opción “Tools/Cursor LocationValue...”, se abre un cuadro con los valores digitales RGB, como se muestra en la figura 31

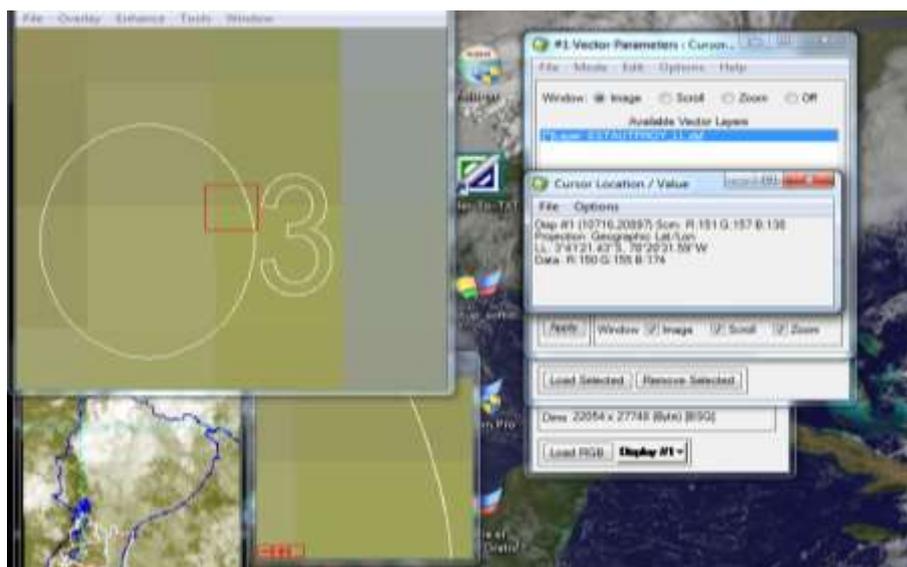


Figura 31.-Niveles digitales en estación 3.

- ✓ De ahí seleccionamos una por una las estaciones meteorológicas ubicadas en el vector y extraeremos los valores de RGB que serían los valores digitales, como se muestra en la figura 32.

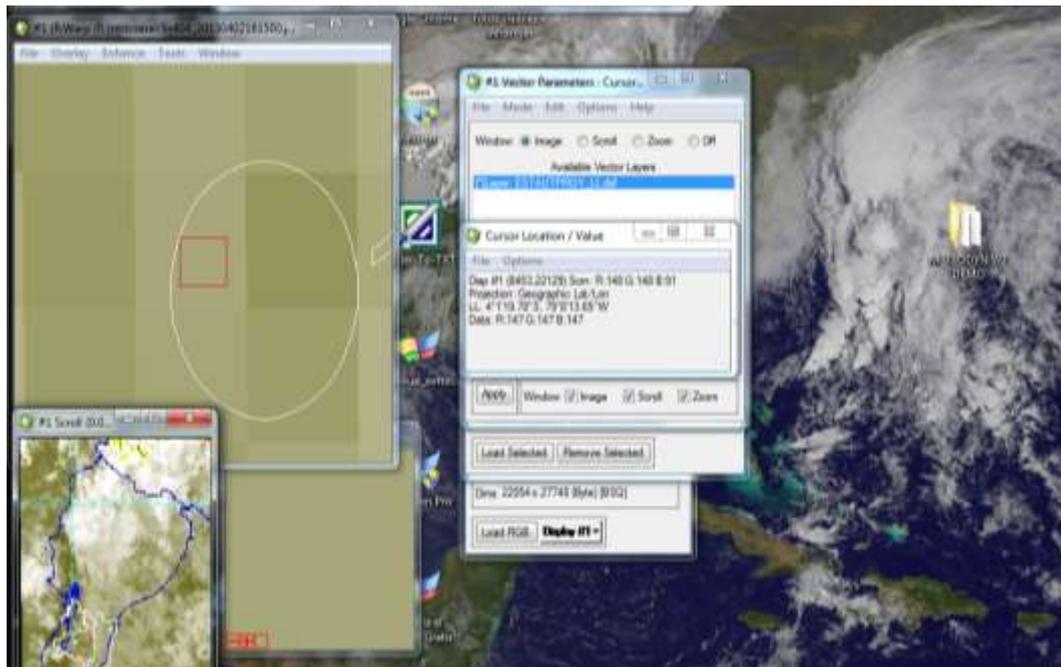


Figura 32.-Niveles digitales en estación 1.



- ✓ Una vez extraídos los datos de las estaciones meteorológicas procederemos a organizarlos en un cuadro de Excel, para luego utilizarlo en procesos posteriores. A continuación un ejemplo plasmado en la figura 33.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
3555	31-Aug-13	1	19:45	175	175	175	166	166	166						
3556	31-Aug-13	1	20:15	133	133	133	154	154	154						
3557	31-Aug-13	1	20:45	136	136	136	171	171	171						
3558	31-Aug-13	1	21:15	129	129	129	166	166	166						
3559	31-Aug-13	1	21:45	78	78	78	155	155	155						
3560	31-Aug-13	1	22:15	79	79	79	160	160	160						
3561	31-Aug-13	1	22:45	42	42	42	156	156	156						
3562	31-Aug-13	1	23:15	0	0	0	156	156	156						
3563															
3564	FECHA	ESTACIÓN		visibles			infrarrojos								
3565	31-Aug-13	2	11:15	0	2	0	138	143	137						
3566	31-Aug-13	2	11:45	21	26	20	138	143	137						
3567	31-Aug-13	2	12:15	26	31	25	129	134	128						
3568	31-Aug-13	2	12:45	37	42	36	122	127	121						
3569	31-Aug-13	2	13:15	39	44	38	118	123	117						
3570	31-Aug-13	2	13:45	47	52	46	120	125	119						
3571	31-Aug-13	2	14:15	50	55	49	103	108	102						
3572	31-Aug-13	2	14:45	54	59	53	105	110	104						

Figura 33.-Archivo Excel con los Niveles Digitales RGB, organizado por estación y visibles e infrarrojos.

6. Obtener los modelos de regresión múltiple para las diferentes horas, días y meses.

Los modelos de regresión múltiple se los obtiene gracias al programa Statgraphics.

- ✓ Con los datos o niveles digitales extraídos de las fotografías satelitales georeferenciadas, ingresaremos los datos y la información de radiación que nos proporcionen las estaciones meteorológicas a Statgraphics y nos quedaría de la siguiente manera, como se muestra en la figura 34.



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR

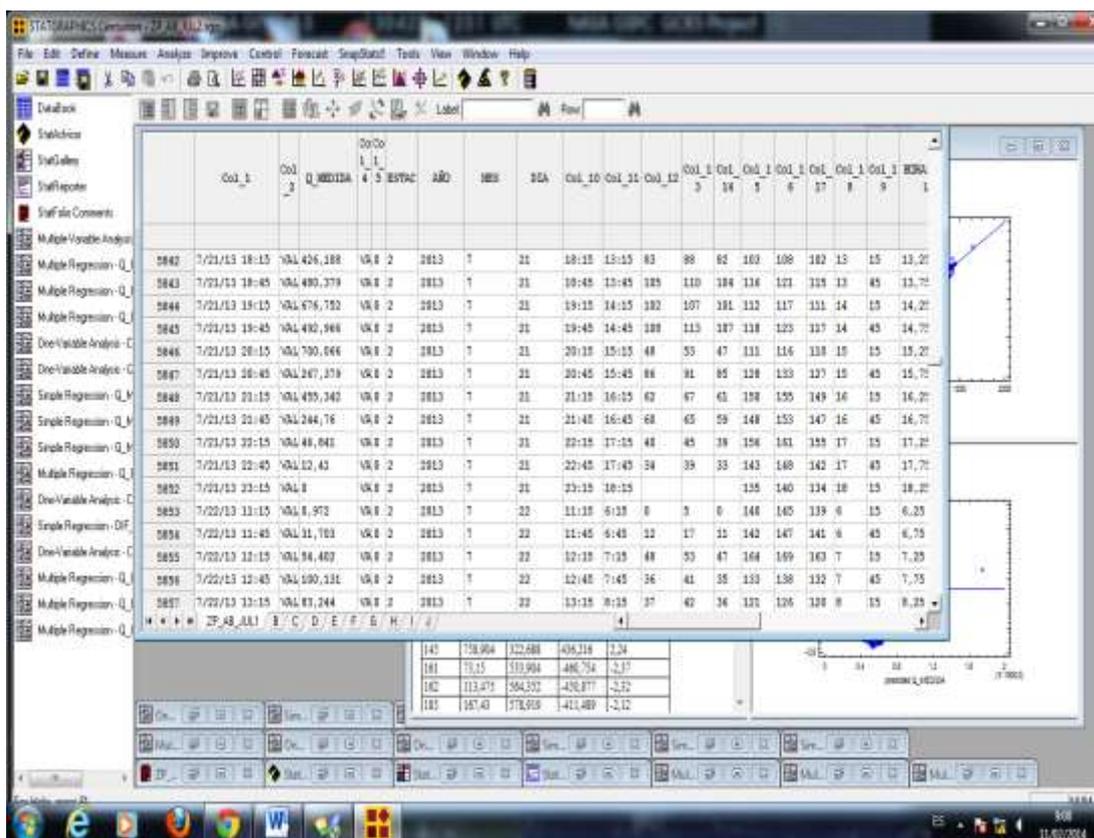


Figura 34.-Información organizada en Statgraphics.

Donde la columna Q_MEDIDA serían los datos de las estaciones y las otras columnas la fecha, hora y valores de RGB de las imágenes visibles e infrarrojas.

Los modelos de regresión van a estar dado en correlación entre el valor de R de las visibles (columna12) y el valor B de las infrarrojas (columna17) y variarían de acuerdo a la **Unusual Residuals** (que es una columna que estará ubicada en el cuadro de datos que genera en el informe de Multiple Regression-Q_MEDIDA), cuyo valor no puede exceder de 3 ni ser menores a -3 para que el modelo de Regresión Múltiple sea más óptimo.

El rango de la distribución de probabilidad que maneja el software statgraphics está dado por sus valor mínimo que es igual a el promedio menos 3 veces la desviación estándar y su valor máximo que es igual a el promedio más 3 veces la desviación estándar, el promedio y la desviación estándar son calculados con todos los datos de radiación solar medidos por las estaciones meteorológicas automáticas ingresados en el software statgraphics, como se muestra en la figura 34.



Para nuestro estudio se ha escogido un rango de distribución cuyo valor mínimo que es igual a el promedio menos 2.5 veces la desviación estándar y su valor máximo que es igual a el promedio más 2.5 veces la desviación, así el modelo de regresión múltiple será eficaz y su correlación mejorara.

El método de correlación que utiliza el software statgraphics es el de correlación lineal múltiple, porque es posible analizar la relación entre dos o más variables.

- ✓ A los valores excedidos de 2.5 se les disminuirá el valor mediante el proceso cambiar el valor de Q_MEDIDA con el valor que se genera en la columna **residual**.
- ✓ A los valores menores de -2.5 se les incrementara el valor mediante el proceso cambiar el valor de Q_MEDIDA con el valor que se genera en la columna **predicted**.
- ✓ Los valores que sean remplazados deben estar en la misma ubicación, es decir tiene que ser de la misma hora y fecha.
- ✓ A continuación se muestra el cuadro **Unusual Residuals** que se encuentra en el informe Multiple Regression-Q_MEDIDA, como se muestra en la figura 35.



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR

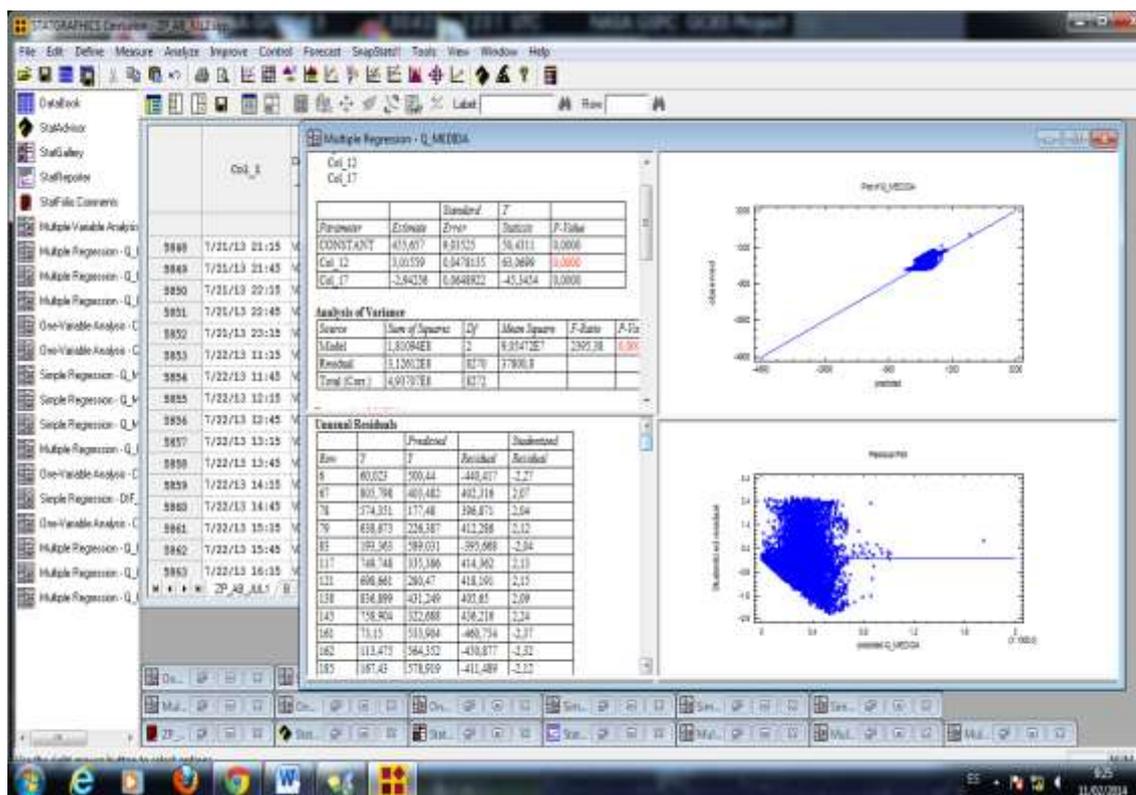


Figura 35.-Informe de Regresión Múltiple de Statgraphics.

- ✓ Luego de haber corregidos o reemplazado todos los valores de Q_MEDIDA ya se genera el modelo de Regresión Múltiple. El modelo esta antecedido por $Q_MEDIDA =$, como se muestra en la figura 36.

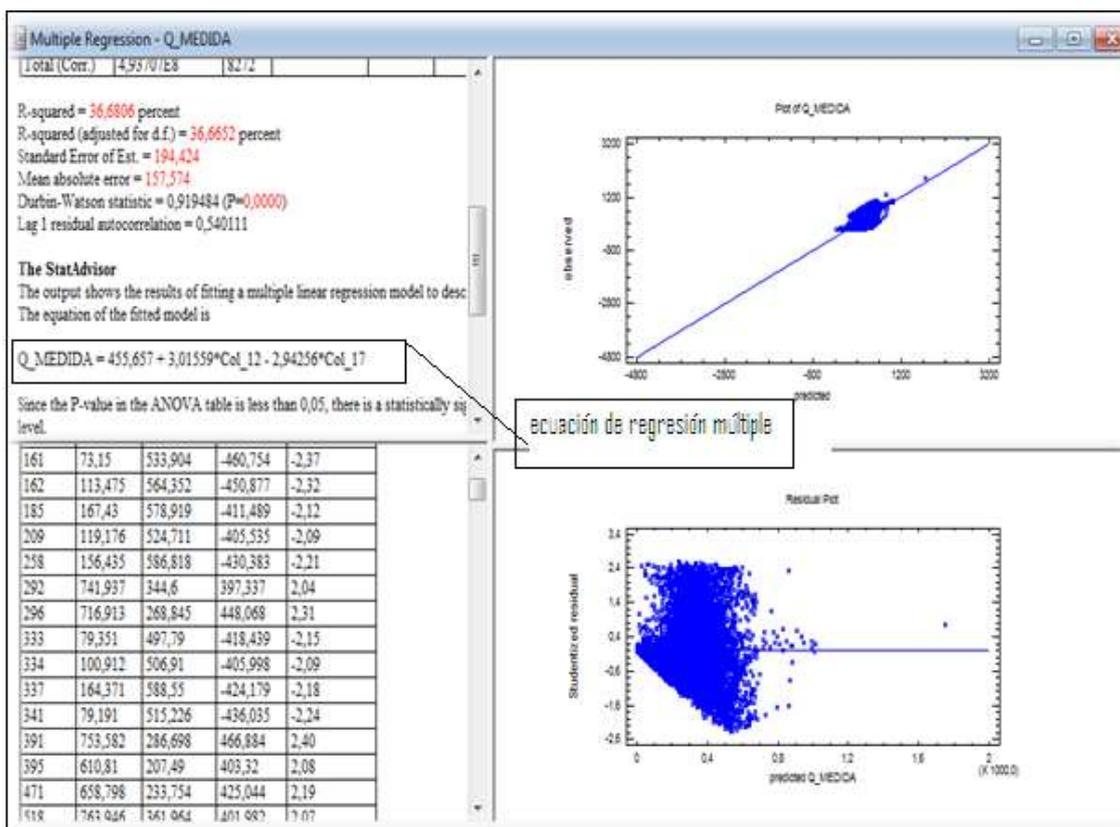


Figura 36.-Ecuación de Regresión Múltiple generada en Statgraphics.

7. Calcular, a partir de los modelos obtenidos, las marchas de radiación solar global para las estaciones seleccionadas y constatar que los resultados sean aproximados a los datos proporcionados por las Estaciones Meteorológicas.

El cálculo de Radiación Solar se lo realizará a través de la fórmula de Regresión Múltiple que es:

$$Q_MEDIDA = 455,657 + 3,01559*Col_12 - 2,94256*Col_17 \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde Col_12=G de las visibles y Col_17=B de las infrarrojas. Es decir que los datos anteriormente extraídos de las imágenes georeferenciadas nos servirán para poder calcular radiación solar.

A continuación se muestran las tablas 5, 6 y 7 en donde se compara los datos de radiación solar calculados a través de la metodología y los datos de radiación solar



Medidos (estaciones meteorológicas automáticas) de tres días del mes de Abril del 2013.

Las tablas 5,6 y 7 contienen una serie de columnas que a continuación describiré:

- ✱ La columna 1 contiene el número que se le ha designado a cada una de las estaciones, tal como se muestra en la tabla 4.
- ✱ La columna 2 contiene la hora satelital, es la hora con la que el satélite captura y archiva las fotografías en la web.
- ✱ La columna 3 contiene la hora local, es la hora real o la hora de la Región Sur del Ecuador con la que fue capturada la fotografía por el satélite.
- ✱ La columna 4, 5 y 6 contienen los datos de niveles digitales de cada una de las fotografías visibles cortadas y georeferenciadas, los cuales están dados por R, G y B (R=Red, G=Green y B=Blue).
- ✱ La columna 7, 8 y 9 contienen los datos de niveles digitales de cada una de las fotografías infrarrojas cortadas y georeferenciadas, los cuales están dados por R, G y B.
- ✱ La columna 10 contiene los datos de Radiación Solar calculados, usando la Ecuación (17) de Regresión Múltiple expuesta anteriormente, en W/m^2 .
- ✱ La columna 11 contiene los datos de Radiación Solar medidos por las Estaciones Meteorológicas, W/m^2 .



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR

Tabla 5.- DATOS DEL 5 DE ABRIL DE 2014 EN LAS 5 ESTACIONES.

ESTACIÓN	HORA UTM	HORA Local	VISIBLES			INFRARROJAS			Radiación S. CAL. (W/m ²)	Radiación S. MED. (W/m ²)
			R	G	B	R	G	B		
1	11:45	6:45	54	54	54	185	185	185	74,12526	18,893
1	14:15	9:15	144	144	144	204	204	204	289,6197	225,374
1	14:45	9:45	171	171	171	207	207	207	362,213	244,363
1	17:15	12:15	124	124	124	173	173	173	320,5273	389,724
1	17:45	12:45	115	115	115	142	142	142	384,6063	460,406
1	20:15	15:15	54	54	54	134	134	134	224,1958	256,874
1	20:45	15:45	59	59	59	120	120	120	280,4696	698,661
2	11:45	6:45	26	28	23	149	161	146	110,4798	17,196
2	14:15	9:15	146	148	143	189	191	186	354,6482	521,843
2	14:45	9:45	173	175	170	188	190	186	436,0691	319,605
2	17:15	12:15	145	147	142	202	204	199	313,3793	674,679
2	17:45	12:45	141	143	138	151	153	148	451,3875	613,072
2	20:15	15:15	155	157	152	137	139	134	534,8016	705,774
2	20:45	15:45	127	129	124	134	136	131	459,1928	591,341
3	11:45	6:45	40	47	40	172	173	168	103,0397	19,462
3	14:15	9:15	166	173	166	184	185	180	447,6933	345,582
3	14:45	9:45	162	169	162	185	186	181	432,6884	572,106
3	17:15	12:15	165	172	165	137	138	133	582,978	1.030,654
3	17:45	12:45	125	132	125	119	120	115	515,3205	1.083,728
3	20:15	15:15	102	109	102	128	129	124	419,4789	390,443
3	20:45	15:45	69	76	79	125	126	121	328,7921	258,363
4	11:45	6:45	52	58	56	178	184	182	95,0153	24,594
4	14:15	9:15	112	118	116	128	134	132	423,0787	310,333
4	14:45	9:45	136	142	140	128	134	132	495,4529	843,116
4	17:15	12:15	108	114	112	101	103	102	499,2931	898,993
4	17:45	12:45	98	104	102	111	117	115	430,884	944,1
4	20:15	15:15	112	118	116	132	138	136	411,3085	700,588
4	20:45	15:45	98	104	102	134	140	138	363,2051	653,258
5	11:45	6:45	48	52	51	199	200	204	12,18544	18,987
5	14:15	9:15	128	132	131	137	138	142	435,8714	222,137
5	14:45	9:45	146	150	149	133	134	138	501,9222	217,505
5	17:15	12:15	76	80	79	124	118	118	349,6821	890,064
5	17:45	12:45	76	80	79	116	117	121	340,8544	971,881
5	20:15	15:15	133	137	136	141	142	146	439,1791	647,089
5	20:45	15:45	123	127	126	140	141	145	411,9657	525,544



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR

Tabla 6.- DATOS DEL 6 DE ABRIL DE 2014 EN LAS 5 ESTACIONES

ESTACIÓN	HORA UTM	HORA Local	VISIBLES			INFRARROJAS			Radiación S. CAL. (W/m ²)	Radiación S. MED. (W/m ²)
			R	G	B	R	G	B		
1	11:45	6:45	29	29	29	143	143	143	122,323	15,52
1	14:15	9:15	47	47	47	129	129	129	217,7995	361,982
1	14:45	9:45	84	84	84	140	140	140	297,0082	153,512
1	17:15	12:15	99	99	99	128	128	128	377,5527	460,587
1	17:45	12:45	121	121	121	126	126	126	449,7808	454,941
1	20:15	15:15	73	73	73	123	123	120	322,6879	758,904
1	20:45	15:45	142	142	142	190	190	185	339,4972	207,428
2	11:45	6:45	25	27	22	138	140	135	139,8323	25,374
2	14:15	9:15	80	82	77	127	129	124	338,0579	629,617
2	14:45	9:45	65	64	69	122	124	119	298,4901	733,842
2	17:15	12:15	153	155	150	116	118	113	590,5642	987,478
2	17:45	12:45	183	185	180	121	123	118	666,3191	1.012,029
2	20:15	15:15	132	154	149	150	152	147	487,5015	408,394
2	20:45	15:45	133	135	130	142	147	143	441,9756	230,487
3	11:45	6:45	33	40	33	143	144	139	167,2648	32,11
3	14:15	9:15	97	104	97	125	126	121	413,2286	277,796
3	14:45	9:45	77	89	77	129	130	125	356,2245	549,125
3	17:15	12:15	197	204	197	240	233	217	432,3018	1.052,887
3	17:45	12:45	196	203	196	223	7	54	908,9235	722,238
3	20:15	15:15	125	132	125	193	192	190	294,6285	111,189
3	20:45	15:45	42	49	42	132	133	128	226,7732	134,356
4	11:45	6:45	45	51	49	236	242	240	-96,76231	20,331
4	14:15	9:15	130	136	134	219	225	223	209,5864	597,012
4	14:45	9:45	138	144	142	223	229	227	221,9408	697,757
4	17:15	12:15	70	76	74	79	85	83	440,6094	939,941
4	17:45	12:45	66	72	70	72	78	76	449,1449	441,348
4	20:15	15:15	48	54	52	84	90	88	359,5536	100,901
4	20:45	15:45	44	50	48	89	95	93	332,7784	32,107
5	11:45	6:45	51	55	54	238	239	243	-93,52763	29,197
5	14:15	9:15	90	94	93	179	180	184	197,6914	392,574
5	14:45	9:45	128	132	131	207	208	112	524,1482	414,453
5	17:15	12:15	54	58	57	98	99	103	327,4775	978,099
5	17:45	12:45	57	61	60	93	94	98	351,2371	744,796
5	20:15	15:15	49	53	52	107	108	112	285,9166	125,751
5	20:45	15:45	36	40	39	104	105	109	255,5416	158,694



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR

Tabla 7.- DATOS DEL 7 DE ABRIL DE 2014 EN LAS 5 ESTACIONES.

ESTACIÓN	HORA UTM	HORA Local	VISIBLES			INFRARROJAS			Radiación S. CAL. (W/m ²)	Radiación S. MED. (W/m ²)
			R	G	B	R	G	B		
1	11:45	6:45	53	53	53	222	221	226	-49,53529	24,409
1	14:15	9:15	143	143	143	160	160	160	416,0768	169,877
1	14:45	9:45	152	152	152	158	158	158	449,1022	144,18
1	17:15	12:15	124	124	124	142	142	142	411,7466	1.278,977
1	17:45	12:45	130	130	130	151	151	151	403,3571	123,932
1	20:15	15:15	117	117	117	146	146	146	378,8673	343,233
1	20:45	15:45	143	143	143	162	162	162	410,1917	207,942
2	11:45	6:45	53	55	50	188	190	185	77,14085	17,058
2	14:15	9:15	50	52	47	132	134	129	232,8774	652,586
2	14:45	9:45	101	103	98	140	142	137	363,1321	587,327
2	17:15	12:15	149	151	146	145	147	142	493,1676	1.366,845
2	17:45	12:45	138	140	135	147	149	144	454,111	515,695
2	20:15	15:15	155	157	152	135	137	132	540,6867	744,142
2	20:45	15:45	126	128	123	139	141	136	441,4644	276,748
3	11:45	6:45	57	64	57	241	240	236	-45,7894	11,74
3	14:15	9:15	168	175	168	179	180	175	468,4373	368,71
3	14:45	9:45	182	189	182	176	182	178	501,8278	224,032
3	17:15	12:15	159	166	159	154	155	150	514,8609	1.000,554
3	17:45	12:45	174	181	174	168	169	164	518,899	335,716
3	20:15	15:15	118	125	118	145	146	141	417,7048	382,315
3	20:45	15:45	120	127	120	143	144	139	429,6211	299,014
4	11:45	6:45	45	51	49	175	21	29	524,1179	16,263
4	14:15	9:15	148	159	152	241	242	239	231,864	489,781
4	14:45	9:45	79	85	83	139	145	143	291,1961	728,072
4	17:15	12:15								964,022
4	17:45	12:45	83	92	90	119	125	123	371,1564	985,723
4	20:15	15:15								534,203
4	20:45	15:45	95	101	99	112	118	136	360,0434	695,781
5	11:45	6:45	53	57	56	127	0	123	265,6108	18,34
5	14:15	9:15	156	160	159	251	250	222	284,9031	101,892
5	14:45	9:45	143	147	146	227	225	226	233,9302	56,087
5	17:15	12:15								672,503
5	17:45	12:45	124	128	127	119	120	124	476,7751	1.122,646
5	20:15	15:15								785,68
5	20:45	15:45	140	144	143	135	136	140	477,9436	151,503



Se elaboró una metodología que permitió estimar a partir de fotografías obtenidas de la página Web de la NASA y los valores reales medidos en puntos del territorio, los valores de radiación solar global horaria con un error de la radiación promedio inferior al 20 %, mediante la utilización de un método estadístico de correlación lineal múltiple.

En la tabla 8 se sustenta que el error de la radiación solar promedio es menor al 20%, excepto el error del día 5 de Abril 2014 porque los valores medidos en ciertas horas son superiores en aproximadamente un 50%, como se plasma en la tabla 5

Tabla 8.- Error de Radiación Solar promedio diaria

DIA	Promedio radiación solar calculada	Promedio radiación solar medida	Error de la radiación solar promedio (%)
5 de Abril 2014	363	494	26
6 de Abril 2014	344	428	19
7 de Abril 2014	372	433	14

A continuación en las figuras 37,38 y 39 se muestra fotografías de radiación solar, que proporciona el programa ENVI 4.7. Las figuras enseñan como la radiación solar se distribuye a través de la región sur del Ecuador, aumentando o disminuyendo su intensidad al transcurrir las horas del día, dependiendo de la nubosidad y la velocidad del viento que genera precipitaciones.

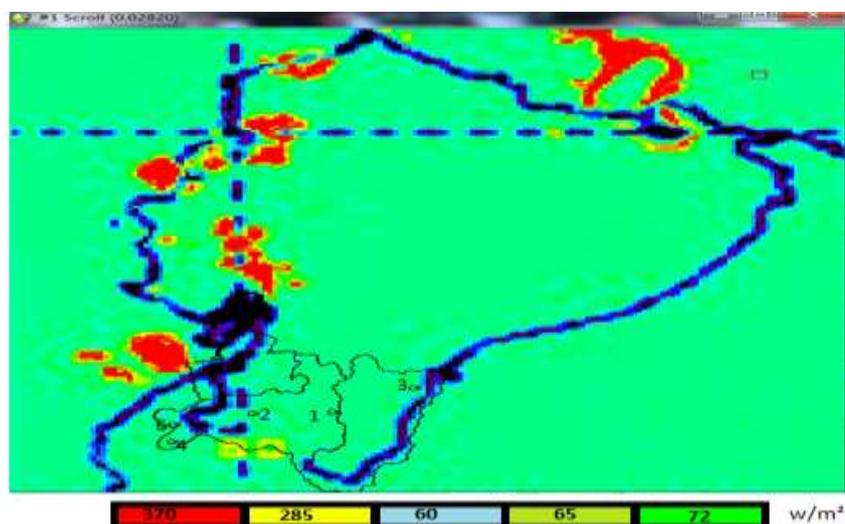


Figura 37.-Fotografía de Radiación Solar a las 06:45 del 5 de abril de 2013

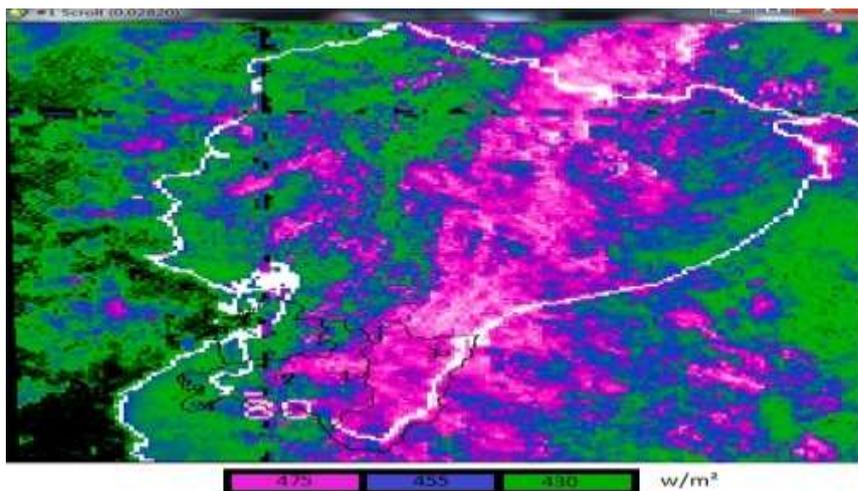


Figura 38.- Fotografía de Radiación Solar a las 09:45 del 5 de abril de 2013

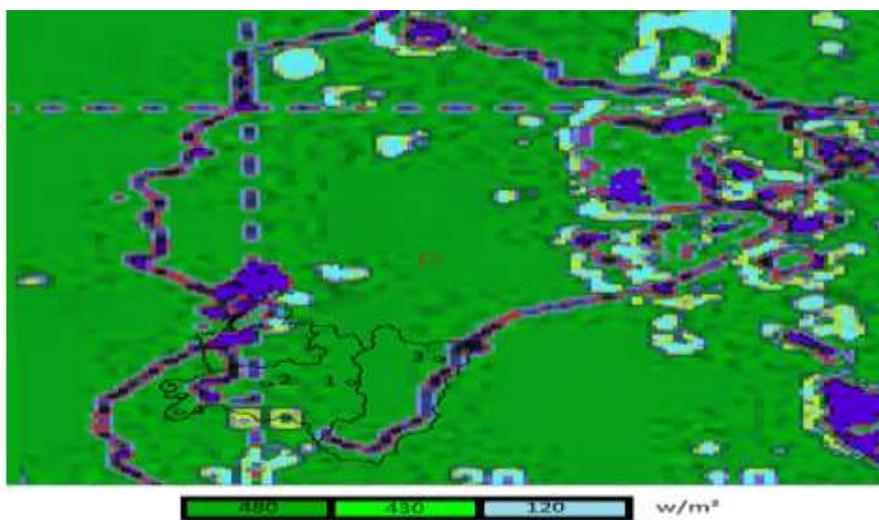


Figura 39.- Fotografía de Radiación Solar a las 15:45 del 5 de abril de 2013



g. DISCUSIÓN.

La presente Metodología para el cálculo de Radiación Solar a través de Fotografías Satelitales, tiene como propósito ofrecer a los estudiantes del Área de la Energía de la UNL, un instrumento idóneo de trabajo que les permita establecer una adecuada, ordenada, secuencial, y detallada organización y realizar al mismo tiempo una efectiva, ágil y eficiente toma de decisiones para el estudio de Radiación Solar.

Con el presente trabajo investigativo se busca encontrar explicaciones a situaciones específicas que afectan directamente a los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Energía de la UNL, cuyos problemas se radican en el ámbito económico, para ello fue imprescindible realizar una Metodología y propiciar una herramienta básica que permita la recolección de datos de radiación solar, que por lo común las proporcionan las estaciones meteorológicas.

Para ello, en primera instancia se realizó un estudio de Energía Solar y como se transmite a la tierra; luego se procedió a realizar una serie de métodos para la obtención de datos de radiación solar a través de fotografía satelitales y su posterior comparación con los datos que nos proporcionaron 5 estaciones meteorológicas ubicadas en nuestra zona de estudio. De ahí se obtuvo como resultado que la metodología para calcular radiación solar es confiable.

Con miras a presentar un trabajo que sirva de apoyo a los estudiantes o a una serie de Profesionales que necesitan obtener datos de radiación solar, se procedió a realizar una Metodología, tomando en cuenta que el estudio de cómo transmite energía el sol a la tierra, es un aporte al desarrollo de la tecnología que se encarga de producir energía ya sea esta eléctrica o térmica.

Para finalizar el trabajo investigativo se realizó un informe en el cual consta en forma detalla la metodología para el cálculo de radiación solar, así como también se recomendó algunas sugerencias a la serie de personas que utilizaran a esta Tesis para realizar investigaciones posteriores.



h. CONCLUSIONES.

Al finalizar el proceso investigativo se concluye que:

- Se sistematizó la información sobre captura y edición de fotografías satelitales de radiación solar, organizándolas por mes, día y hora de la captura y luego con la ayuda de programas informáticos se cambió de formato a extensión .jpg, para que sean compatibles con el software de georreferenciación.
- El desarrollo de este tipo de proyectos de investigación es factible, porque se puede obtener información sobre Meteorología sin tener que hacer una exhaustiva investigación de campo y con la ayuda de software especializado crear una metodología para calcular radiación solar.
- De poder contar con el software y antenas correspondientes para la obtención de las imágenes georreferenciadas y en tiempo real, el proceso puede ser más sencillo, menos laborioso y más preciso, debido a que en este caso las fotografías ya vendrían georreferenciadas, aunque considerando siempre modelos para zonas reducidas del territorio nacional de Ecuador (por ejemplo una provincia) y así poder validar los datos calculados a través de la metodología.



i. RECOMENDACIONES.

Se recomienda que:

- Se realicen evaluaciones posteriores en el presente trabajo investigativo, debido a que el modelo de cálculo de radiación solar a través de fotografías satelitales se lo puede mejorar.
- La organización de la información (imágenes, niveles digitales y valores del cálculo de radiación) del proyecto sea la más adecuada y ordenada, para poder utilizar la información en posteriores proyectos, y que si pudiera conseguir las fotografías georeferenciadas se economizaría tiempo y se tuvieran datos más confiables.
- De la tesis modelo de cálculo de radiación solar a través de fotografías satelitales expuesta se puede derivar otro proyecto investigativo que genere la elaboración de una nueva tesis de grado, la cual será la de automatizar la metodología desarrollada para su mejor manejo y procesamiento.
- De la tesis modelo de cálculo de radiación solar a través de fotografías satelitales expuesta se puede derivar otro proyecto investigativo que genere la elaboración de una nueva tesis de grado, la cual será la de desarrollar una curva de distribución de probabilidad para caracterizar la radiación en base a la información estadística lo cual sería un aporte significativo de este tipo de investigación.



j. BIBLIOGRAFÍA.

- ☞ Bernardo A. Calderón C. Conceptos básicos del Statgraphics.
- ☞ PINILLA RUIZ. Carlos Elementos de Teledetección. Año 1995.
- ☞ GUEVARA José Manuel, Meteorología, Primera edición
- ☞ LEDESMA Manuel Principios de Meteorología y Climatología, Primera Edición, Editorial Paraninfo.
- ☞ RODRIGUEZ Rosa María. BENITO CAPA Águeda, Meteorología y Climatología, Primera edición.
- ☞ PAREJA APARICIO Miguel, Radiación Solar y su aprovechamiento energético, Primera edición.
- ☞ MÉNDEZ MUÑIZ, Javier María; Cuervo García, Rafael; Bureau Veritas Formación 2010 *Energía Solar Térmica*. Fundación Confemetal.
- ☞ EDWARD Maria, Energía Solar Pasiva. Ed. Gustavo Gili. México.

Web-biografía

- ☞ (Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies), Universidad de Wisconsin–Madison, Schwerdtfeger Library. [Se puede obtener a través de este enlace: <http://library.ssec.wisc.edu/recursos/goestr/goestr.php>.]
- ☞ <http://www.tec-quest.com/statgraphics.htm>
- ☞ <http://www.um.es/geograf/sigmur/teledet/tema07.pdf>
- ☞ <http://nimbus.com.uy/aprendiendo.html>
- ☞ www.ealuro.com/meteosats.htm
- ☞ [Es.wikipedia.org/wiki/radiaciónsolar](http://es.wikipedia.org/wiki/radiaciónsolar)



k. ANEXOS.

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA ESPECÍFICA

PROBLEMA ESPECÍFICO 1: Desconocimiento de cómo descargar imágenes y como editarlas para poder usarlas.			
OBJETIVO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS	SISTEMA CATEGORIAL
Sistematizar la información sobre la captura y edición de Fotografías Satelitales.	Imágenes Satelitales.	Saber utilizar imágenes satelitales	Descarga y edición de imágenes satelitales.

PROBLEMA ESPECÍFICO 2: Falta de Metodologías para calcular Radiación Solar.			
OBJETIVO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS	SISTEMA CATEGORIAL
Elaborar la Metodología que permita estimar la Radiación Solar a través de Fotografías Satelitales.	Metodología (elaboración clara y concisa)	La Metodología una vez creada será de mucha ayuda para cualquier estudiante que desee hacer un estudio sobre radiación solar.	Diseño de la metodología.



PROBLEMA ESPECÍFICO 3: Desconocimiento de cómo calcular Radiación Solar a través de Fotografías Satelitales.

OBJETIVO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS	SISTEMA CATEGORIAL
Validar la Metodología implementada mediante los datos registrados en las Estaciones Meteorológicas disponibles en la Región Sur del Ecuador.	Caso Práctico en la Universidad Nacional de Loja.	El caso práctico ayudara a entender cómo se calcula y demostrara que tan confiables son los datos.	Caso Práctico.



METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DE RADIACIÓN SOLAR A TRAVÉS DE FOTOGRAFÍAS SATELITALES VISIBLES E INFRARROJAS, CASO PRÁCTICO EN LA REGIÓN SUR DEL ECUADOR

PROBLEMA ESPECÍFICO 3: Desconocimiento de cómo calcular Radiación Solar a través de Fotografías Satelitales.

OBJETIVO	UNIDAD DE OBSERVACION	HIPOTESIS	SISTEMA CATEGORIAL
Validar la Metodología implementada mediante los datos registrados en las Estaciones Meteorológicas disponibles en la Región Sur del Ecuador.	Caso Práctico en la Universidad Nacional de Loja.	El caso práctico ayudara a entender cómo se calcula y demostrara que tan confiables son los datos.	Caso Práctico.