

11821  
//



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE LA  
RADIACION SOLAR GLOBAL EN  
CUAUTITLAN IZCALLI, MEXICO.**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO AGRICOLA**  
P R E S E N T A :  
**ARTURO GODINEZ RAMIREZ**

**ASESORA: ING. GUSTAVO MERCADO MANCERA**

**CUAUTITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO**

**2003.**

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

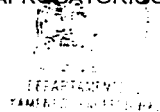
# **PAGINACIÓN DISCONTINUA**



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE ESTUDIOS  
 SUPERIORES J. C. 1974

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijangos  
 Jefe del Departamento de Exámenes  
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Estudio del comportamiento de la Radiación Solar Global en  
Cuautitlán Izcalli, México".

que presenta el pasante: Arturo Godínez Ramírez  
 con número de cuenta: 09301715-2 para obtener el título de :  
Ingeniero Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 21 de octubre de 2003

PRESIDENTE Ing. Eduardo García de la Rosa

VOCAL Ing. Adolfo José Manuel Ochoa Ibarra

SECRETARIO Ing. Gustavo Mercado Mancera

PRIMER SUPLENTE M.I. Carlos Gómez García

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Salvador del Castillo Rabadán

B

## **Dedicatorias.**

**A mis padres: Tomasa y Roberto,**

**Con todo cariño, gracias por todo su apoyo, esfuerzo y paciencia durante todos estos años, por lo cual he llegado a este momento tan importante.**

**A mis hermanos: Raúl, Luis R. y Oscar,**

**Mi motivación a ser mejor cada día, por todos los momentos que se han compartido y los que vendrán, cuando alguien persigue un objetivo y lucha por el siempre se alcanza.**

**A mi familia,**

**Gracias por todo su apoyo.**

**A mis amigos.**

**Por todo su apoyo y todos esos momentos que hemos compartido.**

## **Agradecimientos.**

A la UNAM,

Especialmente a la carrera de Ingeniería Agrícola, por permitirme formar parte de ella, y por toda la formación profesional y humana que en ella tuve.

A el Ing. Gustavo Mercado M.,

Gracias por todo el apoyo y las facilidades brindadas durante la realización de esta investigación.

A los profesores miembros del jurado.

Gracias por las observaciones, comentarios y sugerencias que sirvieron para el enriquecimiento del presente trabajo.

D

## Contenido.

	Pág.
Indice de Figuras. ....	i
Indice de Cuadros y Tablas. ....	ii
Indice de Gráficas y Diagramas. ....	iii
Resumen. ....	1
I. Introducción. ....	2
1.1 Objetivos. ....	4
II. Revisión de Literatura. ....	
2.1 Radiación Solar. ....	5
2.2 Composición de Radiación Solar. ....	5
2.2.1 Espectro Electromagnético. ....	6
2.3 Tipos de Radiación Solar. ....	8
2.4 Variación de la Radiación Solar. ....	8
2.5 Radiación Solar Terrestre. ....	12
2.5.1 Constante Solar. ....	12
2.5.2 Interacción de la Radiación con la Atmósfera. ....	12
2.6 Leyes de Radiación Solar. ....	16
2.7 Métodos de Medición de la Radiación Solar. ....	18
2.7.1 Métodos Directos. ....	19
2.7.2 Métodos Indirectos. ....	24
2.8 Importancia de la Radiación Solar en la Agricultura. ....	26
2.8.1 Procesos Fisiológicos. ....	26
2.8.2 Efecto de la Radiación Solar en los Cultivos. ....	32
2.8.3 Regulación de la Radiación Solar Recibida por los Cultivos. ....	33
2.8.4 Aplicaciones de la Radiación Solar en la Agricultura. ....	34
2.8.4.1 Colectores Solares. ....	36
2.8.4.2 Detoxificación Solar. ....	38
2.8.4.3 Desinfección del Suelo por Radiación Solar. ....	41
2.8.4.4 Secadores Solares. ....	43
2.8.4.5 Desalinización. ....	45

E

<b>III. Materiales y Métodos.</b>	
3.1 Descripción del Lugar de Estudio. ....	48
3.2 Caracterización de la Estación Almaraz. ....	48
3.2.1 Antecedentes de la Instalación y Manejo. ....	48
3.2.2 Instrumental con que cuenta la estación. ....	49
3.3 Metodología. ....	50
<b>IV. Resultados y Análisis.</b> .....	55
<b>V. Conclusiones y Recomendaciones.</b> .....	84
<b>VI. Bibliografía.</b> .....	86
<b>VII. Anexos.</b>	
7.1 Ubicación de la Estación Almaraz. ....	89
7.2 Duración Astronómica de la Insolación. ....	90
7.3 Valores de Angot - $R_A$ . ....	91
7.4 Resultados de la Regresión Lineal. ....	92
7.4.1 Radiación Solar Global (Promedio Diario). ....	92
7.4.2 Radiación Solar Global (Promedio Mensual). ....	95

F



## Índice de Figuras.

No.	Figura.	Pág.
1	Espectro electromagnético. ....	6
2	Radiación solar y visible. ....	7
3	Inclinación de la Tierra. ....	9
4	Incidencia de los rayos solares en el verano. ....	9
5	Ángulos de incidencia de los rayos solares. ....	9
6	Iluminación de la Tierra. ....	10
7	Estaciones del año. ....	11
8	Zonas térmicas. ....	11
9	Interacción de la radiación con la atmósfera. ....	12
10	Variación de la radiación solar a su paso por la atmósfera. ....	13
11	Dispersión. ....	14
12	Absorción. ....	15
13	Heliógrafo de Campbell-Stockes. ....	20
14	Heliográficas. ....	20
15	Piranómetro de Eppley. ....	21
16	Piranómetro Robitszch. ....	22
17	Pirheliómetro. ....	22
18	Solarímetro y albedómetro. ....	23
19	Pirgómetro. ....	24
20	Colector solar plano. ....	37
21	Desinfección del suelo por energía solar. ....	42
22	Tira de graficación. ....	51
23	Planímetro. ....	52
24	Determinación del área de registro. ....	52

## Indice de Cuadros y Tablas.

### Indice de Cuadros.

No.	Cuadro.	Pág.
1	Valores de Albedo. ....	16
2	Factores de Conversión de Unidades. ....	18
3	Eficiencia en la utilización de la radiación solar en la producción de materia seca para diferentes cultivos. ....	33

### Indice de Tablas.

No.	Tabla.	Pág.
1	Radiación Solar Global e Insolación. Datos Promedio Diario (1987-2002). ....	56
2	Radiación Solar Global e Insolación. Datos Promedio Mensual (1987-2002). ...	68
3	Distribución de la Radiación Solar a través del año. Método Planimétrico (1987-2002). ....	68
4	Distribución de la Radiación Solar a través del año. Método de Amgström (1987-2002). ....	69
5	Distribución de las Horas de Insolación a través del año (1987-2002). ....	69

## Índice de Gráficas y Diagramas.

### Índice de Gráficas.

No.	Gráfica.	Pág.
1	<b>Radiación Solar Global (Promedio Diario). Método Planimétrico, 1987-2002.</b>	70
2	<b>Radiación Solar Global (Promedio Diario). Método de Amgström, 1987-2002.</b>	71
3	<b>Radiación Solar Global (Promedio Diario). Método Planimétrico y de Amgström, 1987-2002. ....</b>	72
4	<b>Insolación (Promedio Diario), 1987-2002. ....</b>	74
5	<b>Radiación Solar Global (Promedio Mensual). Método Planimétrico, 1987-2002.</b>	75
6	<b>Radiación Solar Global (Promedio Mensual). Método de Amgström, 1987-2002. ....</b>	76
7	<b>Radiación Solar Global (Promedio Mensual). Método Planimétrico y de Amgström, 1987-2002. ....</b>	77
8	<b>Insolación (Promedio Mensual), 1987-2002. ....</b>	78
9	<b>Distribución de la Radiación Solar Global a través del año. Método Planimétrico, 1987-2002. ....</b>	79
10	<b>Distribución Porcentual de la Radiación Solar Global a través del año. Método Planimétrico, 1987-2002. ....</b>	79
11	<b>Distribución de la Radiación Solar Global a través del año. Método de Amgström, 1987-2002. ....</b>	80
12	<b>Distribución Porcentual de la Radiación Solar a través del año. Método de Amgström, 1987-2002. ....</b>	80
13	<b>Distribución de las Horas de Insolación a través del año, 1987-2002. ....</b>	81
14	<b>Distribución Porcentual de las Horas de Insolación a través del año, 1987-2002.</b>	82

### Índice de Diagramas.

No.	Diagrama.	Pág.
1	<b>Diagrama de Dispersión de Insolación contra Actinógrafo (Promedio Diario).</b>	73
2	<b>Diagrama de Dispersión de Insolación contra Actinógrafo (Promedio Mensual).</b>	77

## **Resumen.**

El presente trabajo consiste en una investigación de la Radiación Solar Global en Cuautitlán Izcalli, México. Al ser esta la fuente de energía más importante de nuestro planeta, ya que de ella dependen todas las formas de vida existentes y casi todos los fenómenos meteorológicos que se presentan en la atmósfera, su estudio es de gran importancia debido a que suministra la energía que las plantas requieren en sus funciones vitales. De tal manera que este estudio tiene los siguientes objetivos: Establecer el Comportamiento de la Radiación Solar Global en Cuautitlán Izcalli, México, con datos de la Estación Almaraz; Comparar los Datos de Radiación Solar Global obtenidos por Método de Amgström y por el Método Planimétrico e Indicar la Importancia de la Radiación Solar en la Agricultura.

La investigación se realizó con datos de la Estación Almaraz de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, localizada a  $99^{\circ}11'35''$  de longitud oeste y  $19^{\circ}41'35''$  de latitud norte, a 2274 msnm, en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México. Se obtuvieron las gráficas de registro de un piranógrafo tipo Robitsch y se calculó la radiación solar por el Método Planimétrico, empleando un planímetro compensado marca Kiosumi. Así también, utilizando los registros de insolación de un heliógrafo tipo Campbell-Stokes se determinó la radiación solar por el Método de Amgström, los datos consultados comprenden el periodo de 1987 al año 2002.

Se graficaron los comportamientos de la Radiación Solar Global: Promedio Diario y Mensual, donde se obtuvo que la menor intensidad corresponde a los últimos meses del año, y la mayor a la época de primavera. De tal manera se concluye que la Radiación Solar Global varía a lo largo del año: en Enero tiende a ser baja, de Febrero en adelante se incrementa hasta llegar a un valor máximo en los últimos días de Mayo y los primeros de Junio, disminuyendo paulatinamente después de este periodo y en los últimos tres meses del año tiende a entrar en un rango menor. Las horas de insolación son altas en el periodo de Febrero a Mayo y disminuyen en el verano a causa de la nubosidad propia de la época de lluvias, llegando a su nivel más bajo en Septiembre.

De acuerdo con los datos de la correlación, la fórmula de Amgström puede ser utilizada en aquellos lugares donde no se cuenta con el instrumental adecuado para obtener la Radiación Solar Global con datos de insolación, asimismo se ha generado información importante que puede tener distintas aplicaciones en diversas áreas.

## **I. Introducción.**

El Sol es una estrella formada por diversos elementos en estado gaseoso, principalmente hidrógeno, en unas condiciones tales que producen de forma espontánea e inintermittida un proceso de fusión nuclear. Este es el origen de la radiación solar, la cual constituye la única fuente de energía prácticamente ilimitada de que se dispone y es el origen de muchas otras fuentes de energía renovables o no que se utilizan a diario.

La radiación solar se define como el proceso físico mediante el cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas que se propagan en el espacio a la velocidad de la luz y en línea recta (De Fina y Ravelo, 1975).

La parte de esta energía que llega a la Tierra, aunque es muy pequeña, supera en unas 10,000 veces la potencia de todas las formas de energía que emplea el hombre. Sin embargo, toda esta energía no llega a la superficie de la Tierra, ya que al atravesar la atmósfera, la radiación solar pierde intensidad debido a diversos factores, tanto atmosféricos como geográficos. Con todo esto, la radiación que llega al suelo es de unos 900 [W/m<sup>2</sup>], valor que, a escala de todo el planeta, equivale a unas 2,000 veces el consumo energético mundial.

La recogida natural de la energía solar se produce en la atmósfera, los océanos y las plantas de la Tierra. Los procesos biológicos no serían posibles sin la radiación solar, sin esta la vida vegetal y por lo tanto la vida animal no existiría. La radiación influye en los siguientes aspectos de la vida de las plantas: germinación, fotosíntesis, respiración, transpiración y en general sobre el crecimiento vegetativo y reproductivo, por medio de la fotosíntesis las plantas asimilan casi el 3% de la radiación incidente, constituye el manantial de vida y energía que necesitan las plantas. Por otro lado, el diferente calentamiento unido a mecanismos muy complejos dan lugar a la circulación general de la atmósfera, formación de borrascas y anticiclones, nubosidad, precipitaciones, vientos, ríos, evaporación de los mares y en suma a los distintos climas de la Tierra.

La distribución de la producción agropecuaria sobre la superficie de la Tierra depende del clima. Lo mismo ocurre con la vegetación y la fauna. Las cosechas varían considerablemente año con año, según las condiciones meteorológicas. Además el clima tiene una acción directa sobre el hombre, sufrimos tanto el frío como el calor y la lluvia, todo esto muestra la enorme importancia del clima.

El hombre siempre se interesó por el clima, relacionó las estaciones del año con fenómenos astronómicos. Sin embargo es solamente en los últimos 200 años que este comenzó a medir el clima, registrando la temperatura, lluvia, humedad, etc., y solo recientemente estas mediciones se generalizaron, y esta falta de mediciones dificultó naturalmente el desarrollo de la climatología. Se hacen observaciones de radiación que antes no se hacían o se hacían muy poco, pero toda esta información esta en general sepultada en los servicios competentes, no se avanza en su interpretación y uso.

La irregular distribución de este flujo energético hace necesaria su medida experimental para obtener datos fiables para el diseño y construcción de los sistemas de captación. Actualmente se dispone de diferentes aparatos de medida de la radiación solar, que permiten elaborar los llamados "mapas solares", muy útiles en el cálculo de instalaciones de aprovechamiento de la energía solar.

Para cuantificar esta energía existen diferentes instrumentos de medición, conocidos como actinómetros y todos se basan en la propiedad que tienen los cuerpos oscuros de absorber la radiación convirtiéndola en calor, dando como resultado una lectura proporcional a la intensidad de la radiación.

El estudio de la radiación y su relación con las plantas cultivadas tiene varias aplicaciones prácticas, tales como la selección de especies y variedades, en el establecimiento de la fecha de siembra, para el control de las épocas de floración y aumentar el rendimiento por medio de iluminación artificial, entre otras tantas.

## **1.1 Objetivos.**

- 1.1.1 Establecer el comportamiento de la Radiación Solar Global en Cuautitlán Izcalli, México, con datos de la Estación Meteorológica Almaraz durante el periodo 1987-2002.**
- 1.1.2 Realizar la comparación de datos de Radiación Solar Global obtenida por el Método de Amgström y los datos del Actinógrafo en el periodo 1987-2002.**
- 1.1.3 Indicar la importancia de la Radiación Solar en las actividades agrícolas.**

## **II. Revisión de Literatura.**

### **2.1 Radiación Solar.**

El Sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los albores de la Historia, ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia. Es la fuente de energía mas importante e influye en las variaciones de temperatura, presión, corrientes oceánicas y masas de aire, etc. Asimismo, la energía proveniente del Sol que llega a la Tierra en forma de radiación solar es el origen de otras fuentes de energía renovables o no, que se utilizan a diario, además de servir para casi todos los procesos físicos y biológicos del planeta. Además, la energía solar y la fuerza de gravedad de la Tierra son los dos factores que constituyen el ciclo hidrológico.

De aquí la importancia de definir radiación solar: es el proceso físico mediante el cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas sin intervención de una materia intermedia ponderable como portadora de energía en línea recta y a una velocidad de 300,000 kilómetros por segundo (De Fina y Ravelo, 1975).

### **2.2 Composición de la Radiación Solar.**

La radiación solar se transmite como luz y calor en forma de ondas electromagnéticas, cuyas longitudes de onda corresponden a las distancias entre dos puntos de ondas adyacentes, y en frecuencias, que corresponden al número de ondas que pasan cada segundo por un punto determinado.

Los rayos que componen esta radiación se diferencian por sus longitudes de onda y son caloríficos, luminosos o actínicos. Los rayos caloríficos revisten especial importancia climatológica, pues la temperatura es la manifestación mas significativa de la energía solar, son invisibles al ojo humano y su longitud de onda varia de 0.76 a 4 micras, equivale al 50% de la radiación solar. Por otro lado, los rayos luminosos son visibles al ojo humano y es lo que propiamente se llama luz, su longitud de onda va de 0.36 a 0.76 micras, corresponde al 41% de la energía solar. Por ultimo, los rayos actínicos se encuentran formados por radiaciones de longitud de onda muy pequeña menor a 0.36 micras, entre ellas se encuentra la radiación ultravioleta, representan el 9% de la energía solar y son invisibles al ojo humano (Romo, 1989).



### 2.2.1 Espectro Electromagnético.

Las radiaciones que provienen del Sol y llegan a los diferentes puntos de la superficie de la Tierra son más complejas de lo que el sentido común dicta. Su naturaleza no se puede reducir simplemente a luz y calor, es mucho más diversa. No toda la radiación solar es luz (o es visible) o calor, ni toda participa en la fotosíntesis, así como no toda es nociva para los seres vivos, la ultravioleta sí, la cual no es visible ni puede ser percibida por los sentidos.

Las radiaciones que provienen del Sol tienen efectos específicos que dependen de la naturaleza de la interacción de cada componente energético con los diferentes materiales con los cuales entran en contacto, es decir, de la naturaleza espectral de cada tipo de interacción (Pinedo, 1998).

El espectro electromagnético, ver figura 1, se define como el espacio ocupado por el conjunto de ondas electromagnéticas emitidas por el Sol y esta representado por los tipos de rayos siguientes:

- a) Rayos Cósmicos. Tienen una frecuencia de diez mil trillones de ciclos por segundo, entendiéndose por ciclo a la formación de una onda completa.
- b) Rayos Gamma. Estos presentan una frecuencia de cien trillones de ciclos por segundo y se originan al desintegrarse los átomos.
- c) Rayos X. Tienen una frecuencia de un trillón de ciclos por segundo y también son de origen atómico (Castro, 1993).
- d) Luz Ultravioleta. Es la fracción más energética de la radiación solar que alcanza la Tierra (SIMA, 2001). Presentan una frecuencia de aproximadamente diez mil billones de ciclos por segundo, provienen del Sol. Es una fuente de la vitamina D, producen mutaciones genéticas en el ADN, propiciando la aparición de cáncer en la piel (Castro, 1993). La radiación solar UV es invisible, no se percibe con los ojos al estar más allá de los 400 nm (color violeta). Alcanza los niveles más altos antes y después del medio día. Las nubes, las lluvias y la

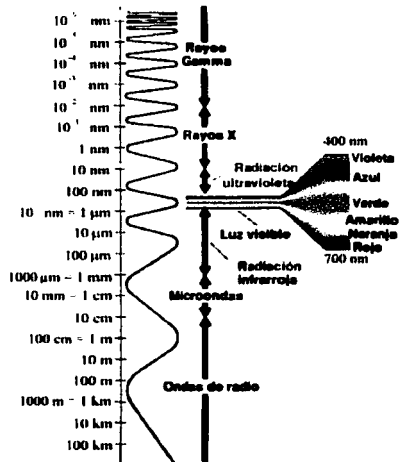


Figura 1. Espectro electromagnético.  
Fuente: Extracrew, 2003

contaminación atmosférica (partículas y ozono), absorben la UV y disminuyen su intensidad al nivel del suelo. Participa en la formación de reacciones fotoquímicas que llevan a la formación del ozono (Aboitiz, 2000).

- e) Luz Visible. Son ondas luminosas y las únicas que el ojo humano puede detectar. Tienen una frecuencia de aproximadamente 1000 billones de ciclos por segundo, provienen del Sol y otras estrellas. Consta de siete ondas de diferente frecuencia originando cada una un color diferente.
- f) Rayos Infrarrojos. Tienen una frecuencia de cien billones de ciclos por segundo, estos rayos los emiten todos los cuerpos terrestres en función de su temperatura.
- g) Microondas. Son de frecuencia de un billón de ciclos por segundo, generados artificialmente por el hombre, su uso más común es en: radares, satélites de comunicación y aparatos topográficos actuales.
- h) Radiofrecuencias. Son también son generadas artificialmente por el hombre y utilizadas en la comunicación por radio y televisión. Su frecuencia oscila desde 100 hasta 30,000 millones por segundo y su longitud de onda varía desde 1mm hasta 30 Km. (Castro, 1993).

En resumen, la energía radiante del Sol abarca un amplio campo del espectro electromagnético: desde los rayos cuya longitud de onda es muy corta (rayos gamma y rayos X) hasta los rayos cuya longitud de onda es muy larga (ondas largas de radiodifusión) aunque la mayor parte de la radiación solar pertenece a la banda visible (rojo, anaranjado, amarillo, verde, azul, añil, violeta), ver figura 2.

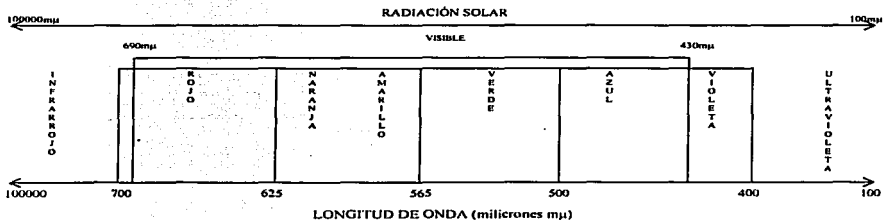


Figura 2. Radiación solar y visible.  
Fuente: Ledesma, 2000.

La energía irradiada de un cuerpo aumenta con la temperatura del cuerpo, mientras que la longitud de onda de los rayos irradiados es tanto mas pequeña cuanto mayor sea su temperatura, por este motivo los cuerpos calientes irradian mas calor que los cuerpos fríos y lo hacen con rayos cuya longitud de onda es mas pequeña (Fuentes y Yagüe, 1996).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### **2.3 Tipos de Radiación Solar.**

Dentro de la radiación solar se consideran varios tipos como son: la radiación solar directa, difusa, global y total.

La radiación solar directa es la porción de radiación solar que es transmitida íntegramente y se distingue por ser la que forma una sombra más nítida y llega a la superficie sin sufrir ninguna desviación, proviene del disco solar (Pinedo, 1998).

La radiación solar difusa es el resultado de la reflexión y dispersión de la radiación solar a esta corresponden las primeras y las últimas luces del amanecer y anochecer, respectivamente, así mismo es la de mayor presencia en los días nublados (Romo, 1989). Es decir, resulta del conjunto de interacciones entre la radiación y la atmósfera o proviene de toda la atmósfera con excepción del disco solar. A pesar de su importancia es relativamente poco estudiada, mediciones espectrales en permanente (un espectro cada hora durante las horas de luz del día) han permitido poner en evidencia que la composición de radiación ultravioleta en la radiación difusa anual es superior a la presente en la radiación directa. Esto significa que la radiación solar en un día de nublado medio es superior a la de un día completamente soleado.

La naturaleza espectral de las radiaciones directa y difusa difieren en densidad de energía y en composición, debido a que la radiación difusa es resultado del ensamble de dispersiones de los fotones primarios con las moléculas de la atmósfera, entre las cuales existe una transferencia de energía y por consecuencia de longitud de onda (Pinedo, 1993).

La radiación global es la suma de la radiación directa y difusa sobre una superficie horizontal que es la que se registra en las estaciones meteorológicas de primer orden.

Por último, la radiación total incluye la radiación de onda larga existente en el ambiente, característica que la distingue de la radiación global (Romo, 1989).

### **2.4 Variación de la Radiación Solar.**

Tanto la cantidad de energía como la composición espectral de la radiación electromagnética varían de un punto a otro de la superficie de la Tierra, dependiendo de la latitud y la altura sobre el nivel del mar, de la estación del año, etc.

Independientemente de las características físicas del lugar así como de la fecha y la hora en que se mide la radiación solar, algunas características generales de la Tierra que influyen en la cantidad de calor que esta puede absorber en un área determinada son:

1. Por la forma esférica e inclinación ( $23^{\circ}27'$ ) que presenta la Tierra (figura 3), los rayos solares inciden sobre la superficie terrestre con ángulos diferentes, según sea latitud y la época del año, en la figura 4 se puede observar la incidencia de los rayos solares en el verano.

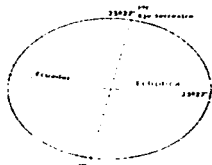


Figura 3: Inclinación de la Tierra.

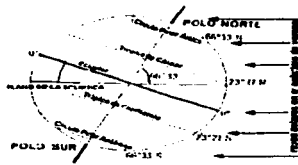
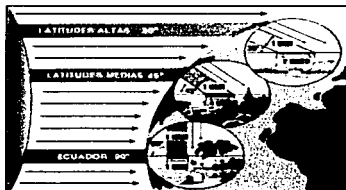


Figura 4: Incidencia de los rayos solares en el verano.  
Fuente: Extracrew, 2003

Habrà mayor calor en el Ecuador por ser ahí donde inciden perpendicularmente, al aumentar la latitud el calor disminuye ya que los rayos solares se alejan de la perpendicularidad formando ángulos menores y mayores áreas iluminadas, la radiación solar se distribuye en forma heterogénea en el planeta. De acuerdo a la latitud en que se encuentran las zonas geográficas, los ángulos de incidencia de los rayos solares son diferenciados, ver figura 5.



Latitudes altas - ángulo de  $30^{\circ}$   
 Latitudes medias - ángulo de  $45^{\circ}$   
 Ecuador - ángulo de  $90^{\circ}$

Figura 5: Ángulos de incidencia de los rayos solares.  
Fuente: Environment Canada, 2001.

**TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN**

Más lejos del Ecuador los rayos del Sol llegan cada vez menos verticales a la superficie de la Tierra, de tal manera que en los polos es prácticamente rasante. Eso hace que la intensidad se vea disminuida por efecto de la no verticalidad de incidencia de la radiación, y porque al atravesar la

atmósfera en forma oblicua (y no radial) se sigue un trayecto más grande, lo que implica que los rayos han sido más expuestos a la atenuación o dispersión con las moléculas de la atmósfera.

Esto explica parcialmente por qué la temperatura de la superficie en la Tierra es más elevada en el Ecuador y disminuye paulatinamente hacia los polos. La intensidad de la radiación no es la misma en el Ecuador que en los hemisferios, ni es la misma a nivel del mar que en altitud (digamos en el altiplano), el cielo se ve más azul en altitud, lo que significa que la composición en radiación de longitud de onda corta (ultravioleta) es más elevada (Pinedo, 1998).

2. Por su movimiento de rotación, el Sol únicamente ilumina la mitad de la Tierra que esta frente a él, mientras que la otra mitad permanece oscura, originándose así el día y la noche (figura 6). En este caso la cantidad de calor recibida depende de la duración del día que a su vez depende de la estación del año y de la latitud. Durante las estaciones del año se observa que el 21 de junio el día tiene mayor duración mientras que el 21 de diciembre se registra la noche mas larga y solo dos veces al año el 21 de marzo y el 23 de septiembre los días y las noches son de la misma duración. Con respecto a la latitud se sabe que de  $0^\circ$  a  $10^\circ$  la diferencia entre el día y la noche difieren en una hora 12 minutos mientras que de los  $23^\circ$  hasta los  $66^\circ$  las diferencias son de una a 24 horas y por arriba de los  $66^\circ$  son de 24 horas hasta los 6 meses al año.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Figura 6: Iluminación de la Tierra.  
Fuente: Theles, 2003.

3. El movimiento de traslación que realiza la Tierra alrededor del Sol describiendo una curva elíptica, tarda 365 días con 5 horas y 48 minutos a la velocidad de 30 km/seg. Por la trayectoria que sigue la Tierra durante este recorrido, la cantidad de calor que recibe depende principalmente de la distancia que tenga con respecto al Sol ya que no siempre es la misma; por lo tanto el calor recibido también es variable, originándose por esto las 4 estaciones del año (Castro, 1993), ver figura 7.

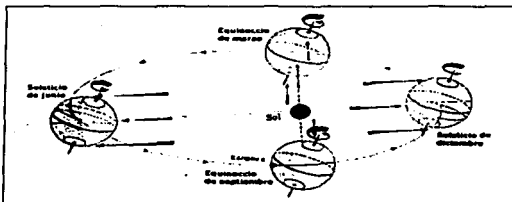


Figura 7. Estaciones del año.  
Fuente: Extracrew, 2003.

Estas diferencias de calor que aparecen en la superficie de la Tierra también originan las diferencias en la distribución de las temperaturas dando como resultado las diferentes zonas térmicas o climas astronómicos que existen en el mundo (figura 8), (Castro, 1993).

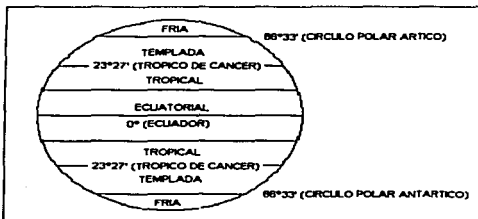


Figura 8. Zonas térmicas.  
Fuente: Castro, 1993.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Los factores que intervienen en la intensidad de la radiación solar e inciden de manera conjunta o por separado y causan la existencia de una mayor o menor intensidad en la radiación solar, se clasifican en cuatro grupos:

- a) Astronómicos: Espectro solar, magnitud de la constante solar, variación de la distancia entre la Tierra y el Sol, declinación solar y variación del ángulo horario.
- b) Geográficos: Latitud, longitud, altitud y orografía.
- c) Geométricos: Altura solar, azimut del Sol, inclinación y rumbo del plano receptor.
- d) Físicos: Contenido de agua en la atmósfera, turbidez de la atmósfera, contenido de gases permanentes, efectos de la nubosidad del cielo y efecto del albedo del suelo (Estrada y Fernández, 1985).

## 2.5 Radiación Solar Terrestre.

La energía solar es afectada por la atmósfera terrestre tanto en su dirección como en su intensidad.

### 2.5.1 Constante Solar.

A la cantidad de energía que se recibe por minuto en una superficie normal, a los rayos solares de un  $\text{cm}^2$  en el límite superior de la atmósfera y a la distancia media entre la Tierra y el Sol se le conoce con el nombre de constante solar "S". El valor de esta es de 1.94 calorías/min/cm<sup>2</sup>, y no es constante ya que se ha descubierto que varía en 1.5% en relación con la actividad que presenta el Sol y en un 3.5% en relación con la distancia que existe del Sol a la Tierra (Castro, 1993). De acuerdo con Román (2002), varía un 0.2% en un periodo de 30 años.

Esta energía corresponde a la radiación electromagnética formada por distintas longitudes de onda (espectro solar) agrupadas en tres bandas: ultravioleta (UV), visible e infrarrojo (IR). Cada banda transporta una cantidad de energía determinada, siendo a este respecto las más importantes el visible y el IR (Román, 2002).

### 2.5.2 Interacción de la Radiación con la Atmósfera.

La atmósfera es la capa gaseosa de la Tierra que se mantiene alrededor de ella por la acción de la fuerza gravitacional. La figura 9 muestra esquemáticamente los diferentes procesos que sufre la radiación en su interacción con la atmósfera.

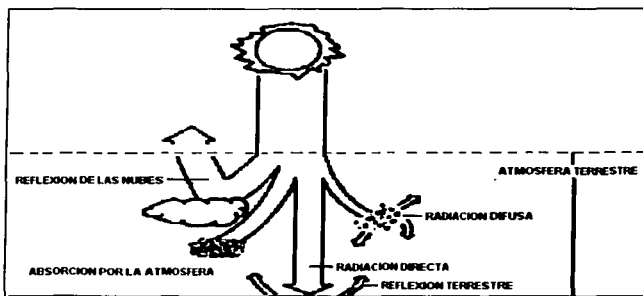
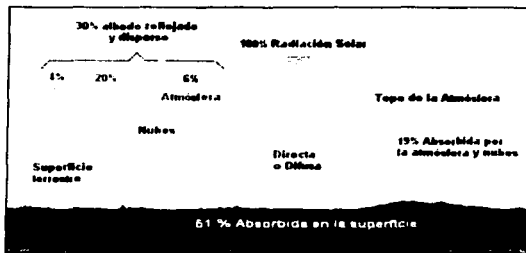


Figura 9. Interacción de la radiación con la atmósfera.  
Fuente: Rodríguez, 1992.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Si se considera como “S” al 100% de la radiación solar incidente en el límite superior de la atmósfera, se observa (figura 10), que no toda llega a la superficie (Castro, 1993), ya que cuando la radiación solar llega al límite de la atmósfera se producen fenómenos físicos que contribuyen a conservar la vida en el planeta (De Fina y Ravelo, 1975).



**energías CON  
FALLA DE ORIGEN**

Figura 10. Variación de la radiación solar a su paso por la atmósfera.  
Fuente: INM, 2003.

De acuerdo con la figura 10, se observa que de las 100 unidades de radiación solar que penetran en la atmósfera, 30 son devueltas al espacio por reflexión y dispersión, fenómenos que ocurren sobre las partículas gaseosas líquidas y sólidas; 19 son usadas para calentar la atmósfera y las 51 unidades restantes llegan a la Tierra y son absorbidas por la superficie terrestre.

La radiación solar al atravesar la atmósfera esta sometida a grandes modificaciones, siendo los principales procesos que intervienen los siguientes:

**a) Transmisión.**

Consiste en el paso directo de la radiación solar que llega desde el límite superior de la atmósfera hasta la superficie terrestre, sin que sea devuelta o desviada. El coeficiente de transmisión (T), indica la fracción de la radiación incidente que es transmitida; adopta valores de cero a uno (Castro, 1993).

**b) Dispersión.**

La atmósfera como cualquier otro gas, se compone de moléculas que dejan entre si espacios vacíos cuyo volumen es mucho mayor que el volumen ocupado por ellas (Fuentes y Yagüe, 1996). Además de las moléculas existen gran cantidad de partículas en suspensión tales como el polvo, humo,

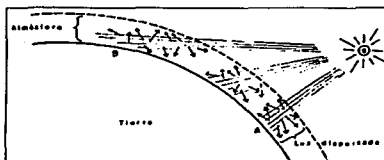


gotas de agua, etc., con diferentes índices de refracción que propagan la luz en todas las direcciones, dando lugar al fenómeno de dispersión (Ledesma, 2000).

Los rayos solares se propagan en línea recta, chocan contra estas moléculas y partículas que actúan como verdaderos obstáculos y modifican su trayectoria al ser devuelta o desviada en todas direcciones (Fuentes y Yagüe, 1996), ver figura 11. La pérdida de energía por dispersión es inversamente proporcional a la cuarta potencia de longitud de onda, la radiación de onda corta es difundida más intensamente que la larga (Ledesma, 2000).

Existen tres tipos básicos de dispersión:

1. Dispersión de Rayleigh: La producen los gases atmosféricos en la alta atmósfera (9-10 km). Es mayor cuanto menor es la longitud de onda, la luz azul se dispersa cuatro veces más que la roja y la ultravioleta 16 veces más que la roja.
2. Dispersión de Míe: Se produce en la baja atmósfera (0-5 km) debido a los aerosoles (polvo, polen, gotitas de agua), los aerosoles tienen un tamaño más o menos igual que la longitud de onda que dispersan, afecta especialmente a la luz visible.
3. Dispersión no selectiva: Se produce en la baja atmósfera, las partículas son mayores que la radiación incidente y no depende de la longitud de onda (Um, 2003)



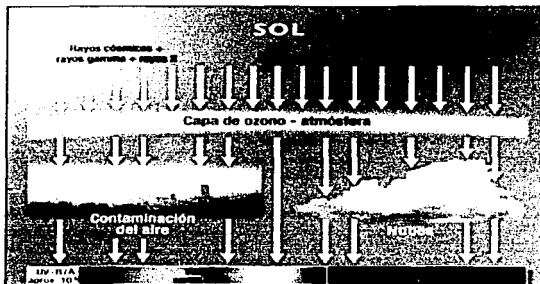
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 11: Dispersión.  
Fuente: Difusión lectura, 2003.

### e) Absorción.

Es el proceso por el cual cierta cantidad de radiación penetra en un cuerpo y se transforma en energía térmica, y aumenta la temperatura del mismo (Castro, 1993). La radiación solar es atenuada al pasar por la atmósfera, la luz es absorbida por ciertos componentes de la atmósfera (Ledesma, 2000). La variación de la absorción en una atmósfera sin nubes y sin polvo depende principalmente de la distribución del vapor de agua en la troposfera y el ozono en la atmósfera (Estrada, 1992). El vapor de agua absorbe en la infrarroja y la visible, el oxígeno en onda corta y en la roja, el bióxido de carbono  $\text{CO}_2$  en onda larga del infrarrojo y el ozono en gran parte del espectro (Ledesma, 2000). El  $\text{CO}_2$  y el  $\text{O}_2$

juntos son responsables del 1% de absorción de la atmósfera (Estrada, 1992). La atenuación es del 8% de la energía total si bien en un día claro la mayor parte de la energía pasa sin atenuarse. La absorción varía a lo largo del día según la elevación del Sol y según la latitud y época del año, siendo máxima en el espectro visible y en el infrarrojo, ver figura 12, (Ledesma, 2000).



TES CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 12: Absorción.  
Fuente: Eucerin, 2003

#### d) Reflexión.

Se produce cuando una radiación al incidir sobre un cuerpo es desviada o devuelta sin modificar sus caracteres (De Fina y Ravelo, 1975). La reflexión de la luz se produce principalmente desde las nubes y desde la Tierra siendo a su vez absorbida o difundida por la atmósfera e incluso regresa al espacio exterior (Ledesma, 2000); las nubes interceptan una buena parte de la radiación solar y la reflejan en todas direcciones, la mitad de esa radiación reflejada se dirige al espacio y la otra mitad hacia la Tierra donde es absorbida o reflejada (Fuentes y Yagüe, 1996).

Se denomina albedo a la relación en tanto por ciento de la radiación reflejada y la radiación solar incidente, este se refiere solamente a la radiación visible.

$$\text{Albedo} = \frac{\text{Radiación Reflejada}}{\text{Radiación Incidente}}$$

El albedo expresa la reflectividad de un cuerpo con respecto a la radiación solar, es un sinónimo del coeficiente de reflexión (Castro, 1993). Varía con la cantidad de nubes, distancia cenital, superficie de agua, vegetación, suelo seco o húmedo, etc. Cada sustancia tiene un albedo diferente, tal y como se puede observar en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Valores de Albedo.

Sustancia.	Albedo.
Nieve Fresca.	90%
Arena.	35%
Nubes.	34%
Citricos.	17%
Pradera.	25%
Cereales.	20%
Campo Arado.	15%
Océano.	12%
Bosques.	1-10%

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Fuente: Ledesma, 2000

Los rayos luminosos de onda más corta como el azul y el violeta se dispersan más fácilmente que otros y a ello se debe la coloración azul del cielo. Este fenómeno de dispersión unido al de reflexión da como resultado la radiación solar difusa prevaeciente en días nublados, el amanecer y atardecer (De Fina y Ravelo, 1975).

Un factor de la atmósfera que tiene gran influencia en la atenuación de la radiación solar es la nubosidad, ya que puede llegar a reducir la intensidad de la radiación hasta en un 80 o 90%. Las nubes absorben, dispersan y reflejan la radiación solar en mayor o menor grado dependiendo de su altitud, composición y tamaño; las nubes de poca altura reducen la intensidad de la radiación solar más que las nubes de gran altura, pues desde un punto de vista físico-químico, las nubes constituyen un aerosol con una fase de agua esparcida (sólida o líquida) y una concentración normal en una atmósfera sin nubes, por ello bajo condiciones de cielo parcialmente nublado, los valores instantáneos de la radiación muestran variaciones muy pronunciadas en periodos cortos de tiempo (minutos, horas) debido a la relación dinámica entre el Sol y los grupos de nubes (Estrada, 1992).

## 2.6 Leyes de la Radiación Solar.

En algunas ocasiones es necesario tener presente algunas leyes para apoyarse en ellas, de esta manera se tienen las siguientes:

### 1) Ley de Kirchoff

“Todo cuerpo a la misma temperatura absorbe exactamente la misma clase de rayos que emite”. El cuerpo que emite bien absorbe bien. El aire seco es totalmente transparente para toda clase de radiaciones, en cambio el aire húmedo, impregnado de vapor de agua, deja pasar la radiación de onda corta pero absorbe las ondas largas, es el caso de la atmósfera (Ledesma, 2000).

## 2) Ley de Planck.

La energía emitida por un cuerpo negro es una función de su temperatura y de la longitud de onda en que la radiación se procesa (Romo y Arteaga, 1989). De esta se deduce que la energía radiada aumenta con la temperatura, al mismo tiempo que disminuye la longitud de onda apropiada.

## 3) Ley de Wien.

Partiendo de las ideas de Planck, Wien dedujo que la energía emitida por un cuerpo negro a una cierta temperatura alcanza su máxima intensidad a cierta onda. Cuando más alta es la temperatura del cuerpo negro, más pequeña es la longitud de onda que corresponde a la máxima intensidad de radiación y mayor es la propia intensidad máxima (Ledezma, 2000), es decir, existe una relación inversamente proporcional entre la temperatura de un cuerpo negro y la longitud de onda del punto de máxima emisión de energía (Romo y Arteaga, 1989).

## 4) Ley de Stefan-Boltzman.

Esta ley establece que la cantidad de energía emitida por un cuerpo negro, en todas las longitudes de onda, es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta.

## 5) Ley de Bouger.

La intensidad calorífica de una radiación que atraviesa un medio transparente, decrece en progresión geométrica cuando la masa atravesada crece en progresión aritmética.

## 6) Ley del Coseno de la Oblicuidad.

La intensidad calorífica recibida varía proporcionalmente al coseno del ángulo que forman el plano considerado y el plano perpendicular a los rayos solares (Romo y Arteaga, 1989).

## 7) Ley de Beer.

La envoltura gaseosa atmosférica que rodea a la Tierra absorbe cantidades considerables de radiación solar. Esta atenuación es función de los componentes de la atmósfera, y debido a una absorción selectiva, ciertas longitudes de onda son más absorbidas que otras (Fuentes y Yagüe, 1996).

La Ley de Bouger y la Ley del Coseno de la Oblicuidad pueden sumar e intensificar sus efectos. Se consideran las mas importantes para la agricultura pues explican la diferente intensidad de la radiación solar a diferentes latitudes y con ello se determina la distribución geográfica de las plantas e incluso de algunos animales que viven en regiones específicas (Arenas, 1996).

## 2.7 Métodos de Medición de la Radiación Solar.

La cantidad de radiación que la Tierra recibe se mide en  $\text{cal/cm}^2/\text{min}$ , una caloría es la cantidad de calor que es necesario suministrar a un gramo de agua para elevar su temperatura de  $14.5^\circ\text{C}$  a  $15.5^\circ\text{C}$ . Otras unidades que se utilizan para expresar la radiación recibida por unidad de superficie son:

$$1 \text{ Langley (Ly)} = 1 \text{ cal/cm}^2.$$

$$1 \text{ watts/m}^2 = 0.0014327 \text{ cal/cm}^2/\text{min}.$$

$$1 \text{ cal/cm}^2/\text{min} = 698 \text{ W/m}^2.$$

Sin embargo existen otras unidades expresadas por Leyva (1990) quien propone un cuadro que contiene los factores de conversión de unidades en que generalmente se expresan los totales diarios de radiación global solar, ver Cuadro 2.

Cuadro 2. Factores de Conversión de Unidades.

Radiación Global	Cal/cm <sup>2</sup> /día	J/m <sup>2</sup> /día	WH/m <sup>2</sup> /día	MJ/m <sup>2</sup> /día	KWH/m <sup>2</sup> /día
Cal/cm <sup>2</sup> /día	1	4.187(4)	11.63	4.187(-2)	11.63(-3)
J/m <sup>2</sup> /día	2.388(-5)	1	2.778(-4)	1(-6)	2.778(-7)
WH/m <sup>2</sup> /día	0.86	3.6(3)	1	3.6(-3)	1(-3)
MJ/m <sup>2</sup> /día	2.338(+1)	1(6)	2.778(2)	1	2.778(-1)
KWH/m <sup>2</sup> /día	86	3.6(6)	1(3)	3.6	1

$N(n) = N \cdot 10^n$ , por ejemplo:  $2,778(-4) = 2.778 \cdot 10^{-4}$

Fuente: Leyva, 1990

### 2.7.1 Métodos Directos.

Para medir la cantidad de energía solar que incide sobre un determinado punto en la superficie terrestre se utilizan diversos tipos de dispositivos, los cuales tienen siempre como principio de funcionamiento la conversión de energía solar en algún otro tipo de energía, como pueden ser: energía eléctrica, energía calorífica, etc. Para lograr la conversión de energía se utilizan: celdas solares, uniones bimetalicas, efectos térmicos de cambio de propiedades de la materia y cualquier dispositivo sensible al calor o a la radiación, es susceptible de ser adaptado a un aparato medidor de la energía del Sol (López, 1990).

Los sensores de la radiación solar se clasifican en:

a) Térmicos (termomecánicos y termoelectrónicos).

Estos operan detectando el cambio de temperatura de algún material (sensor) expuesto al flujo radiacional que pretende medirse. Dentro de este tipo encontramos los termomecánicos, que detectan

los efectos mecánicos del cambio de temperatura y los termoelectrónicos que registran los efectos eléctricos, generalmente las corrientes eléctricas que se generan por el cambio de temperatura del material sensor.

**b) Fotovoltáicos.**

El principio de trabajo de estos sensores lo constituye la variación de la conductividad eléctrica de ciertos materiales, cuando varía la intensidad de la luz que incide sobre ellos. A diferencia de los sensores termoelectrónicos la sensibilidad de los fotovoltáicos tiene una mayor dependencia espectral (Mota, 1992).

De acuerdo con Castro (1993), los instrumentos disponibles para medir los componentes del balance de radiación se agrupan en:

**1. Pirheliómetros:**

- a) Pirheliómetro de Pouillet.
- b) Pirheliómetro de Abbot.
- c) Pirheliómetro de Gorczynsky.
- d) Pirheliómetro de Amgström.

**2. Piranómetros:**

- a) Piranómetro de Eppley.
- b) Piranómetro de Gorczynski.
- c) Piranómetro bimetálico de Robitszch o actinógrafo.
- d) Piranómetro de Dirnbirn.

**3. Solarímetros y albedómetro.**

**4. Heliógrafos:**

- a) Heliógrafo de Campbell-Stokes.
- b) Heliógrafo de Jordán.

**5. Radiógrafo.**

**6. Pirgeómetro.**

A continuación se describen algunos de estos instrumentos:

**a) Heliógrafos.**

Son instrumentos que registran la continuidad de horas de brillo solar. Los más comunes son:

### Heliógrafo de Jordán.

Los rayos solares entran por las perforaciones (una al este y otra al oeste) marcando la gráfica de papel fotosensible y dando un trazo delgado sobre ella, de longitud proporcional a la duración de los rayos solares. Consta de un cilindro de bronce provisto de una tapa, montado sobre una base por medio de un soporte con un perno en el que puede girar el cilindro, para darle la correcta colocación de la latitud por medio del índice y de la graduación del soporte. El cilindro tiene dos perforaciones que están localizadas sobre ambos lados del mismo. Su gráfica es de papel fotosensible y esta dividida en horas iguales alrededor de una superficie circular (Gomez, 1987).

### Heliógrafo de Campbell-Stokes.

Mide las horas brillo Sol que es el número de horas que alumbra el Sol en un lugar durante el día, es el más empleado y esta compuesto por una esfera maciza de cristal, que a modo de lente (lupa), recoge y concentra los rayos solares en un foco cuya posición varía durante el día, ver figura 13.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 13: Heliógrafo de Campbell-Stokes.  
Fuente: Labsolar, 2003.

Este foco se forma siempre sobre una tira de cartulina (heliográficas o bandas registradoras) que va colocada detrás de la esfera y en la cual se registra una huella carbonizada durante las horas que este el Sol, ver figura 14.

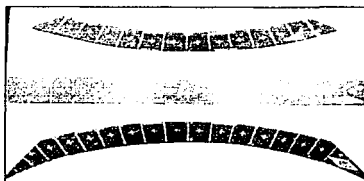


Figura 14: Heliográficas.  
Fuente: Estación Almaraz, 2003.

La tira de papel está dividida en las horas que tiene un día, de tal manera que, al sumarse dichas horas donde el papel esta quemado se obtiene la insolación absoluta respectiva. Con la esfera de vidrio se tiene siempre la formación del foco, no obstante las variaciones diurnas y estacionales de dicho astro.

Como se observa en la figura anterior, existen tres formas diferentes de heliográficas y cada una es usada según la época del año. Se utiliza la tira de cartulina recta durante los equinoccios (1 de marzo al 14 de abril y del 1 de septiembre al 13 de octubre), las que son curvas y cortas durante el solsticio de invierno (del 14 de octubre al 28 de febrero) y las que son curvas y largas en el solsticio de verano (del 15 de abril al 31 de agosto).

#### b) Piranómetros.

Son instrumentos que registran la intensidad de la radiación solar global, es decir, la suma de la radiación solar directa y difusa. En este caso no importa que la superficie sea normal a los rayos solares, por ello este instrumento permanece horizontal todo el tiempo (Castro, 1993). Cuando estos instrumentos poseen un mecanismo inscriptor que registra continuamente las variaciones de la intensidad calorífica de la radiación solar se les denomina piranógrafos (De Fina y Ravelo, 1975).

Tienen como características generales un elemento sensible protegido de una cubierta de vidrio que se mantendrá siempre limpia y seca, una superficie receptora que tenga por lo menos dos elementos sensores y su instalación debe ser resistente y segura (Gómez, 1987).

#### Piranómetro de Eppley.

Este es un aparato estándar para medir la radiación global, el elemento sensible consta de dos anillos concéntricos delgados y planos de plata. El interior esta cubierto de negro y el exterior de blanco (óxido de magnesio). El conjunto de receptores esta dentro de una bombilla esférica de vidrio soplado especial, llena de aire seco, y solo permite el paso a longitudes de onda menores de 3.5 micras, ver figura 15, (De Fina y Ravelo, 1975).

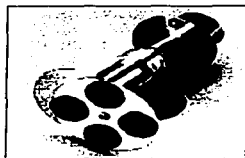


Figura 15: Piranómetro de Eppley.  
Fuente: Solardat, 2003.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### Piranógrafo del tipo Robitszch.

Es un aparato empleado para medir la radiación solar global, figura 16. Utiliza tres láminas bimetalicas, dos blancas y una negra, esta última en medio de las otras dos, de manera que las tres se curvan hacia abajo al aumentar la temperatura.



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 16: Piranómetro Robitszch.  
Fuente: Commissioni Consiliari, 2003

De un lado las tres láminas están unidas y del otro solo las blancas se fijan al soporte y el extremo de la negra permanece libre, moviendo una palanca que transmite mecánicamente su movimiento a un registrador de pluma, este aparato es recomendado para totales diarios (Castro, 1993).

### c) Pirheliómetros.

Los pirheliómetros son instrumentos destinados a medir la intensidad calorífica de la radiación solar directa que incide en forma perpendicular a una superficie receptora, figura 17.

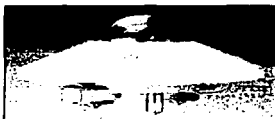


Figura 17: Pirheliómetro.  
Fuente: Labsolar, 2003.

### Pirheliógrafo de Gorzinsky.

Consiste fundamentalmente en pares termoelectrónicos múltiples (de mangamina y de constantano) pilas Moll, tan sensibles y de pequeñísima resistencia para ser usados en un multivoltímetro común, que es la otra parte esencial del aparato. Además, consta de dispositivos y mecánicos anexos que permiten hacer el registro automático y continuo de las mediciones hechas.

El principio de su funcionamiento consiste en que las soldaduras de los pares termoelectrónicos se exponen directamente a la radiación solar y al calentarse se genera una corriente "termoelectrónica" que por medio de un circuito se transmite al voltímetro y es medida, además es registrada en el dispositivo destinado para ese fin. La corriente generada es proporcional a la intensidad calorífica de la radiación

solar. En todo momento, por mecanismos especiales, se mantiene la superficie receptora perpendicular a los rayos solares, además dicha superficie se encuentra en el fondo de un tubo que impide la llegada de la radiación difusa (Romo, 1989).

#### Pirheliómetro de Pouillet.

Consta en esencia de una caja metálica cilíndrica llena de agua y dentro de ella un termómetro. La cara externa superior del cilindro ennegrecida con negro de humo. A fin de exponer esa cara normalmente a los rayos solares, sobre el mismo eje de la caja cilíndrica se halla un disco con las mismas dimensiones.

Los rayos solares inciden normalmente sobre la caja cilíndrica cuando el disco recoge íntegramente su sombra. En la actualidad este instrumento tiene solo valor histórico y didáctico debido a sus desventajas como son baja conductividad térmica del agua y su elevado calor específico, el calor que absorbe la caja metálica, el termómetro, el calor recibido por los objetos vecinos, etc.

#### Pirheliómetro de Abbot.

El funcionamiento de este aparato es idéntico al de Pouillet, la diferencia radica en un disco macizo de plata que reduce el calor específico ( $0.0056 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ ) en el que se halla el elemento sensible de un termómetro acodado (De Fina y Ravelo, 1975).

#### d) Solarímetro y albedómetro.

Son dos solarímetros colocados en posiciones opuestas, el de arriba sirve para medir la radiación global, figura 18; es decir, la que proviene directamente del Sol, más aquella que es reflejada por los componentes de la atmósfera, mientras que el albedómetro sirve para medir la radiación reflejada por la superficie de la Tierra.

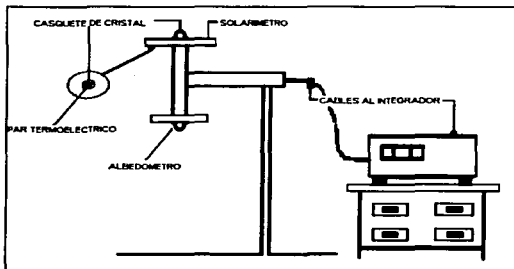


Figura 18: Solarímetro y albedómetro.  
Fuente: Castro, 1993.

Estos solarímetros están constituidos por una cúpula de cristal o cuarzo al vacío dentro de la cual se encuentran varios pares termoelectrónicos o convertidores del calor que transforman la radiación solar en electricidad. La electricidad producida por este par termoelectrónico, es conducida por medio de cables hasta el integrador que da la lectura en milivoltios. Tanto el solarímetro como el albedómetro cuentan cada uno con su propio integrador protegidos de la intemperie.

c) Pirgeómetro.

Mide la radiación infrarroja que emite la Tierra, figura 19.



Figura 19: Pirgeómetro.  
Fuente: CGIbfrl, 2003.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

f) Radiógrafo.

Estima la intensidad calorífica de la radiación solar neta, que es la diferencia entre la radiación solar incidente y la reflejada por la superficie del suelo (Castro, 1993)

### 2.7.2 Métodos Indirectos.

Los mejores datos a utilizar para conocer la radiación solar recibida en la superficie terrestre son las mediciones realizadas en el sitio propuesto, sin embargo estas mediciones no son como se desearía, en la mayoría de los casos, no se llevan a cabo por razones de costo, mantenimiento y recopilación de datos. Ante esta situación se han buscado las interpolaciones y extrapolaciones de los datos que no son posibles de realizar con suficiente precisión por las distancias que entre las estaciones de medición existen. Esto ha traído como consecuencia el desarrollo de procedimientos para estimar la radiación solar que requieren de datos meteorológicos disponibles en gran número de localidades.

Los modelos pueden ser clasificados en:

1. Teóricos: En estos es necesario asumir ciertas condiciones las cuales limitan su empleo.
2. Empíricos: Estiman el valor de la radiación solar a partir de modelos estadísticos elaborados con información de otras variables climatológicas (Rodríguez, 1992). Estos aportan buena información para periodos grandes de tiempo, cuando el modelo ha sido adaptado para ajustarse a una localidad

en particular. Los modelos parametrizados han sido los de mayor adaptación ya que además de su sencillez han demostrado buena concordancia con datos medidos (Estrada, 1992). El brillo solar es el estimador más significativo de la radiación solar. Debido al gran número de estaciones que miden esta variable en el mundo, se han podido elaborar mapas de la distribución espacial y temporal de la disponibilidad de la energía solar.

3. **Computacionales:** Simulan con modelos físicos las diferentes interacciones de la radiación solar con la atmósfera (dispersión, absorción y reflexión) y con los cuales se puede obtener el valor de la radiación en la superficie terrestre a partir del valor de la radiación solar en el tope de la misma (Rodríguez, 1992).

En vista de la dificultad de obtener datos de radiación medidos con seguridad, muchos autores han tratado de correlacionar la radiación global recibida en un lugar, la cual es determinada con la duración de la insolación o con el grado de nubosidad del cielo (Ortiz, 1987).

El interés de la presente investigación es emplear los datos de la duración de insolación, para su uso en el cálculo de la radiación solar global. Uno de los primeros métodos en los que se busca esta relación fue el de Amgström (1924), quien propuso la siguiente fórmula:

$$R_g/R_g^* = a + b(n/N)$$

donde:

**R<sub>g</sub>:** Radiación Global.

**R<sub>g</sub><sup>\*</sup>:** Radiación Global de un día muy despejado.

**n:** Número real de horas de insolación.

**N:** Duración astronómica de la insolación.

**a y b:** Coeficientes de regresión.

Posteriormente se propuso una modificación a esta fórmula usando los valores de Angot o radiación teórica en lugar de la recibida en un día muy despejado, esta radiación teórica es la que recibiría la superficie terrestre en ausencia de atmósfera, que ha sido ampliamente utilizada:

$$R_g/RA = a + b(n/N)$$

donde:

**RA:** Valor de Angot.

El principal problema radica en los coeficientes a y b. Para Europa Penman (1948-1963) propuso las cifras 0.18 y 0.55; mientras que Glover y MacCulloch (1958) a partir de sus estudios en las

regiones montañosas de Africa, consideran que  $a=0.29 \cos\zeta$  y  $b=0.52$ , donde  $\zeta$  es la latitud de la estación. Black, Bonython y Préscol (1954) concluyeron a partir de sus estudios que los coeficientes eran 0.23 y 0.48. Mas adelante Frere, Rijks y Rea (1975) establecieron una relación entre los coeficientes a y b y el promedio anual  $n/N$ . Para una latitud de  $18^{\circ}37'$  a  $25$  msnm  $a=0.29$  y  $b=0.42$  con un  $n/N$  anual de 0.73.

En 1980, Frere y Popov a partir de un gran número de mediciones realizadas en el curso de proyectos de la FAO, indican tres conjuntos de coeficientes que permiten obtener buenos resultados en las diversas zonas del mundo. Estos coeficientes son:

a	b	Zonas de Aplicación.
0.18	0.55	Frías y templadas.
0.25	0.45	Tropicales secas.
0.29	0.42	Tropicales húmedas.

Ortiz, 1987.

## 2.8 Importancia de la Radiación Solar en la Agricultura.

La radiación solar es un elemento climático muy importante para la agricultura ya que interviene a distintos niveles, definiendo las condiciones climáticas en el tiempo y espacio (influye en las variaciones de temperatura, presión, etc.), fisiológicamente (fotosíntesis, germinación, etc.), o como generadora de energía para el diseño y funcionamiento de algunas estructuras agrícolas. Además, conjuntamente con la fuerza de gravedad, es la fuente fundamental de energía del ciclo hidrológico de la biósfera.

### 2.8.1 Procesos Fisiológicos.

Los principales procesos en los que interviene la radiación solar son:

#### a) Fotosíntesis.

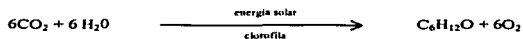
La fotosíntesis se define como el proceso mediante el cual las plantas verdes sintetizan sustancias complejas, ricas en energía, a partir de bióxido de carbono, agua y pequeñas cantidades de minerales, aprovechando la energía de la luz solar, absorbida por la clorofila (Enciclopedia Agrícola Terranova, 1995).

A escala del planeta Tierra la fotosíntesis es probablemente la reacción bioquímica más importante y más original del mundo vivo: su resultado se cifra en una producción anual de 150 millones de toneladas de materia seca (Denemeyer, 1985).

La fotosíntesis es importante por varias razones: desde el punto de vista humano, su mayor importancia es el papel que desempeña en la producción de alimentos y oxígeno, por lo cual se estudia a menudo en función de sus productos finales. Sin embargo, la principal virtud del proceso de fotosíntesis es la capacidad de atrapar la energía proveniente de la radiación del Sol y transformarla en energía química, mediante una serie de complejas reacciones (Lira, 1994).

En la fotosíntesis los cloroplastos de la planta captan la energía solar y la transforman en química, a partir de compuestos inorgánicos (bióxido de carbono y agua) en presencia de clorofila, almacenándola en forma de azúcares o carbohidratos y otras moléculas orgánicas. De este proceso dependen, directa o indirectamente, todos los seres vivos de la Tierra para obtener energía que consumen en todas las actividades, en el metabolismo.

La reacción que describe el proceso de fotosíntesis es:



#### Proceso fotosintético.

Esta función se lleva a cabo principalmente en las hojas, dentro de los cloroplastos, los cuales se encuentran en las células del mesófilo o capa media de la hoja. Dentro de ellos hay un fluido llamado estroma y un elaborado sistema de membranas llamado membranas tilacoides, que en ocasiones se apilan para formar los grana. En las membranas tilacoides se encuentra la clorofila, pigmento que da el característico color verde a las plantas. Este pigmento convierte la energía lumínica en energía química, iniciando así el proceso fotosintético. Las reacciones posteriores, en las que se emplea la energía química para convertir el  $\text{CO}_2$  en azúcar, tienen lugar en el estroma.

Aunque parezca un proceso sencillo, la fotosíntesis es la suma de dos procesos muy complejos, cada uno de ellos con múltiples pasos. Las dos etapas de la fotosíntesis se denominan reacciones lumínicas y ciclo de Calvin.

#### Reacciones lumínicas.

Es el paso de la fotosíntesis en el que la energía solar es transformada en energía química (Enciclopedia Agrícola Terranova, 1995). La materia puede interactuar con la luz de tal forma que esta ceda a aquella parte de su energía. La materia viva puede utilizar parte de esta energía, recibida por fotorreceptores específicos, para realizar transformaciones metabólicas. Sólo la fracción de radiación absorbida por un fotorreceptor particular puede tener efectos fisiológicos.

Las plantas han desarrollado diferentes fotorreceptores de tal forma que pueden discriminar entre segmentos concretos del espectro visible. Así, clorofilas, carotenos y xantofilas absorben energía de fotones (cantidad elemental de energía electromagnética) dentro de la PAR (Radiación Fotosintéticamente Activa) para poder realizar fotosíntesis. Las flavinas absorben energía fotónica de la región azul, produciéndose respuestas fototrópicas. Sin embargo, en condiciones naturales una planta puede no recibir energía de un segmento particular del espectro visible con la misma intensidad que en otra zona de ese espectro (Córdoba, 2000).

Aunque las plantas poseen varios tipos de clorofila, como los carotenos y la clorofila B, la molécula clave en la absorción de luz es la clorofila A, que absorbe mejor las longitudes de onda correspondientes a los colores rojo y azul, mientras que el verde es el menos absorbido. Los otros tipos de clorofila también absorben luz, pero como no están directamente involucrados en las reacciones lumínicas, transfieren la energía que absorbe la clorofila A.

Dentro de las membranas tilacoides se encuentran la clorofila, los pigmentos accesorios y las moléculas transportadoras de electrones, que se ensamblan para formar los llamados fotosistemas I y II. Cada uno de estos posee un complejo que absorbe luz o moléculas de la antena, y un sistema transportador de electrones. Cuando un fotón de luz llega a la hoja es absorbido por las moléculas de la antena. De allí pasa a la clorofila A, que también se denomina centro de reacción, donde uno de los electrones que la forman absorbe la energía o se excita. Posteriormente este electrón pasa al sistema transportador, donde va cediendo lentamente la energía que lleva, para producir ATP (adenosín trifosfato) y NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato en su forma reducida), compuestos necesarios en etapas posteriores de la fotosíntesis.

Como consecuencia de la producción del NADPH, el fotosistema I recibe un electrón excitado del fotosistema II. El paso de ese electrón de uno a otro sistema provoca el rompimiento de una molécula de  $H_2O$ , mientras que el hidrógeno y los electrones son integrados a diversas fases de las reacciones lumínicas, la mayor parte del oxígeno es liberado a la atmósfera en forma de gas ( $O_2$ ).

#### Ciclo de Calvin.

Anteriormente las reacciones involucradas en el ciclo de Calvin eran oscuras, porque se creía que ocurrían solamente durante la noche; sin embargo también se realizan durante el día. En el ciclo de Calvin, los ATP y NADPH formados durante las reacciones lumínicas cederán electrones al  $CO_2$  para transformarlo o reducirlo en azúcar. El carbohidrato producido directamente por el ciclo de Calvin no es la glucosa sino un azúcar de tres carbonos llamado gliceraldehído 3-fosfato. Para que se forme la glucosa el ciclo debe repetirse tres veces, fijándose así tres moléculas de  $CO_2$ .

Cuando se inicia el ciclo de Calvin con tres moléculas de  $\text{CO}_2$ , se obtienen seis de gliceraldehído 3-fosfato. Sin embargo, solo una de estas moléculas es ganancia neta de carbohidrato y es empleada por la planta. Las cinco restantes son recicladas para regenerar las tres moléculas de ribulosa bifosfato. Este reacomodo consume tres moléculas de ATP. Posteriormente, dos moléculas de gliceraldehído 3-fosfato se convierten rápidamente en glucosa y otros azúcares. Las moléculas de ADP y NADP retornan a las reacciones lumínicas, donde son transformadas nuevamente en ATP y NADPH.

Elevado número de plantas usan el ciclo de Calvin para incorporar el  $\text{CO}_2$  y se les llama plantas  $\text{C}_3$ , porque utilizan un compuesto de tres carbonos (ácido 3-fosfoglicérico) en la primera etapa de la fijación. Sin embargo, se ha descubierto que miles de especies, pertenecientes aproximadamente a 17 familias de plantas, entre las que se encuentran algunas de importancia agrícola, poseen una reacción previa al ciclo de Calvin y fijan el  $\text{CO}_2$  en un compuesto de 4 carbonos (ácido oxalacético); por esto se les llama plantas  $\text{C}_4$ . Este sistema de fijación es ventajoso para las plantas que viven en regiones con intensa luz solar.

Algunas plantas que viven en climas secos y/o fríos, como los cactus, abren sus estomas por la noche para tomar el  $\text{CO}_2$  y los cierran durante el día, a diferencia de la mayoría, reduciendo así la deshidratación. Estas plantas fijan y almacenan el  $\text{CO}_2$  en diversos ácidos orgánicos hasta que son liberados para iniciar el ciclo, una vez que la luz solar ha permitido la síntesis de los compuestos restante. Esta forma de fijación se llama metabolismo ácido de las crasuláceas o CAM, porque se descubrió inicialmente en plantas pertenecientes a esta familia.

El azúcar fabricado en los cloroplastos provee a toda la planta de energía química y de los esqueletos de carbono para construir la mayoría de moléculas orgánicas de la célula. Sin embargo, cerca de 50% de la materia orgánica producida en la fotosíntesis es utilizada como combustible para la respiración celular, que tiene lugar en las mitocondrias. En ocasiones se presenta disminución de la capacidad fotosintética como consecuencia de la fotorrespiración, proceso por medio del cual se libera  $\text{CO}_2$  a la atmósfera pero no se produce ATP, como si ocurre en el proceso normal de la respiración celular.

Al producir más cantidad de materia orgánica de la que necesitan, las plantas la transforman en almidón y la almacenan en organelos especializados llamados plastidios. Estructuras como la raíz y el tallo sirven de depósitos de este nutrimento. Al ser consumida una planta, los organismos heterótrofos aprovechan estos depósitos de azúcares para obtener la energía requerida por sus procesos metabólicos.

Un solo cloroplasto puede producir más de 160 billones de toneladas de carbohidratos al año. Gracias a la fotosíntesis se sintetizan anualmente unas  $3 \cdot 10^{11}$  t de glucosa sobre la Tierra a partir de unas  $6 \cdot 10^{11}$  t de bióxido de carbono. Por estas funciones, la fotosíntesis es el proceso que tiene en marcha la vida sobre la Tierra (Enciclopedia Agrícola Terranova, 1995).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

FALTA DE ORIGEN  
TESIS CON



## b) Fotoperíodo.

Las plantas responden a una gran variedad de situaciones ambientales puesto que tienen sistemas que les permiten captar los factores ambientales importantes, y poseen patrones programados de respuestas a estos estímulos (Weier, 1995).

Muchos fenómenos estacionales son importantes en el ciclo de vida de las plantas. El estímulo ambiental que más recibe la planta para "medir" el tiempo es la longitud relativa del día y la noche durante el año, diferencia notable en zonas cálidas y polares. A este mecanismo de medición se le denomina fotoperíodo, es decir, es la cantidad de horas luz y oscuridad que las plantas necesitan para iniciar la floración.

Uno de los medios que utiliza la planta para medir los periodos de luz y oscuridad es el fitocromo. Este es una cromoproteína presente en las células de las hojas, es el pigmento fotorreceptor de las plantas intermediario entre ambiente y planta. Dentro del ambiente el factor más importante que controla el desarrollo de las plantas es la luz, y el fitocromo cromorreceptor de dicha señal, traduce a señales químicas, fitohormonas que desencadenan una serie de eventos metabólicos para provocar la respuesta. El fitocromo alterna entre dos formas estructuralmente parecidas:

1. Fitocromo r (Pr): Absorbe luz con longitudes de onda de 660 nm, es el encargado de movimientos rápidos por el cambio en la presión de turgencia de los pulvínulos, células especializadas. La planta tarda solo 2 segundos en responder al estímulo, pero para volver a su estado inicial requiere más de 10 minutos.
2. Fitocromo rf (Prf): Absorbe luz de 730 nm. En la oscuridad la planta sintetiza Pr, pero al ser expuesta a la luz solar el Pr se transforma rápidamente en Prf, que le indica la presencia de la luz diurna. Al volver a la oscuridad el Prf se convierte en Pr y el ciclo puede repetirse nuevamente. La floración de las plantas está determinada por este, que es la forma fisiológicamente activa.

Ejemplo de la importancia de este sistema es la regulación de floración de muchas plantas por lo largo de la noche. Así las plantas de día corto florecen si el periodo de oscuridad es mayor de 8 horas; las de día largo necesitan periodos de oscuridad más cortos, mientras que las de día neutral no son afectadas por el fotoperíodo (Enciclopedia Agropecuaria Terranova, 1995).

La luz es necesaria en las plantas en floración para la conversión de la protoclorofila en clorofila. Esta necesidad de luz evita el desarrollo del aparato fotosintético en las plantas que no están expuestas a la luz (Weier, 1995).

La actividad fotosintética de las plantas es directamente proporcional a la duración del día. Entre los límites y siendo todos los demás factores iguales, las hojas fotosintetizarán en la medida en que reciban la luz y crecerán más activamente (Lira, 1994).

El manejo del fotoperíodo se puede manipular cubriendo un cultivo con tela de plástico de color negro o bien utilizar iluminación artificial, según sea el caso.

Además de la floración, existen otros procesos en las plantas que están determinados o influidos por el fotoperíodo. Entre estos se pueden mencionar los siguientes: la caída de las hojas de los árboles caducifolios, la latencia, la determinación del sexo en las plantas dioicas, la tuberización, la ramificación, la pigmentación, la susceptibilidad a los parásitos, las exigencias nutritivas, la velocidad del rebrote después del corte, etc., (Arenas, 1996).

### c) Fotomorfogénesis.

Se define como la influencia de la luz sobre el desarrollo de la estructura de las plantas. La luz tiene importantes efectos morfogénicos en las plantas como:

1. Tolerancia a la luz. Las plantas pueden clasificarse según sean los intervalos de intensidad de luz en los que prosperen mejor, como plantas heliófitas (de Sol), plantas umbrófitas (de sombra) y plantas indiferentes. Como regla general, las hojas de las plantas umbrófilas son más transparentes que las de las heliófilas.
2. Etiolación. Esta condición se presenta cuando la intensidad de luz no es suficiente para el desarrollo normal de las plantas. A bajas intensidades de luz, las plantas tienden a incrementar el alargamiento del tallo, y además de entrenudos largos y delgados, las hojas presentan clorosis general y malformación.
3. Fototropismo. La dirección de la que proviene la luz, determina en alto grado la dirección del crecimiento de los tallos y las hojas.

La luz es responsable de muchos de los movimientos de crecimiento o tropismos de las plantas. No todas las plantas ni todas sus partes responden en la misma forma a este estímulo. Como regla general, el tallo se encorva hacia la fuente de luz, la raíz lo hace alejándose de dicha fuente, y la hoja adquiere una posición en la que la superficie ancha del limbo queda perpendicular a los rayos de luz. Cualquier movimiento que sea una reacción al estímulo de la luz se conoce como fototropismo. Por consiguiente, se dice que un tallo normal es positivamente fototrópico, una raíz negativamente fototrópica y una hoja transversalmente fototrópica o diafototrópica.

La radiación infrarroja IR-A e IR-B es la parte térmica de la radiación solar, y su efecto sobre las plantas es incrementar la temperatura. En la mayoría de las plantas, la luz tiene efectos inhibidores o retardadores de la germinación, sin embargo, en algunas plantas la germinación es estimulada por la energía solar, ya que son sensibles a la luz (fotoblásticas), (Torres, 1995).

### **2.8.2 Efecto de la Radiación Solar en los Cultivos.**

La radiación solar es el elemento meteorológico más importante para las plantas, porque suministra la energía que requieren en sus funciones vitales. Además, es el motor que pone en marcha todos los demás fenómenos meteorológicos, por lo que de una manera indirecta también es responsable de la acción que estos tienen sobre los cultivos; pero lo que interesa más en este caso son los efectos directos de la radiación absorbida y reflejada por las plantas.

De la radiación absorbida se distinguen tres efectos principales: dañinos o letales, fisiológicos y térmicos según sea la longitud de onda considerada.

De acuerdo con Castro (1993), en algunos países, los científicos han ensayado varios tratamientos de radiaciones con longitudes de onda diferentes pero que están comprendidas dentro del espectro electromagnético; en Holanda se obtuvieron los siguientes resultados:

1. Radiaciones con longitudes de onda menores de 0.32 micras, tienen efectos dañinos sobre las plantas.
2. Las radiaciones entre 0.40 y 0.51 micras, son fuertemente absorbidas por los pigmentos amarillos y por la clorofila, además ejercen una acción vigorosa en la formación de la planta como resultado de la alta actividad fotosintética que se presenta.
3. Radiaciones con longitud de onda entre 0.51 y 0.61 micras, producen un efecto de baja actividad fotosintética y poca acción sobre la formación de la planta.
4. Las radiaciones que están entre 0.61 y 0.72 micras, son fuertemente absorbidas por la clorofila y generan también una alta actividad fotosintética.
5. Las radiaciones de 0.72 a 1.0 micras, afectaron la germinación de las semillas, el crecimiento de las plantas, la floración y la coloración del fruto.
6. Radiaciones con longitudes de ondas mayores de 1.0 micras, no causaron ningún daño a las plantas y sólo son aprovechadas bajo la forma de calor sin afectar los procesos biológicos.

Con respecto a la reflexión de la radiación por las plantas, esta varía también con la longitud de onda, presentando un mínimo a la mitad del espectro visible y un máximo cerca de las radiaciones infrarrojas.

La cantidad de radiación reflejada también varía con el brillo y color del follaje, disposición de las hojas, densidad de población, del ángulo de incidencia de los rayos solares y del estado del tiempo

atmosférico. En el siguiente cuadro se puede observar que no todos los cultivos son igualmente eficientes en la utilización de la radiación:

**Cuadro 3. Eficiencia en la utilización de la radiación solar total en la producción de materia seca para diferentes cultivos.**

Cultivo	Periodo vegetativo	Rendimiento (ton/Ha)	Eficiencia (%)
Papa	Abril-Agosto.	9.60	0.50
Trigo	Noviembre-Marzo	10.45	0.52
Remolacha azucarera	Mayo-Octubre	16.00	0.90
Remolacha forrajera	Mayo-Octubre	16.00	0.90
Zanahoria	Mayo-Octubre	6.86	0.39
Nabo	Mayo-Octubre	3.60	0.51
Maíz	Junio-Septiembre	15.52	1.05
Caña de azúcar	22 meses	129.48	1.43

Fuente: Castro, 1993

Cuando se considera que todos los demás factores de la producción (nutrientes, agua, etc.) se encuentran disponibles en las dosis óptimas para las plantas excepto la radiación solar, se ha observado que existe una alta correlación entre la radiación y el rendimiento de los cultivos, por lo que dicha relación puede ser útil en la solución de problemas prácticos como: selección de especies y variedades, fechas de siembra, densidades de población, orientación de siembras o plantaciones, aclareos, podas, etc.

Muchas especies vegetales necesitan disponer no únicamente de la calidad sino también de la cantidad de la radiación solar disponible. Asimismo, las necesidades de luz solar varían de una especie a otra siendo mayores las exigencias de luz durante la etapa de floración y fructificación (Castro, 1993).

### 2.8.3 Regulación de la Radiación Solar Recibida por los Cultivos.

Esta se puede realizar mediante dos formas:

1. Las prácticas agronómicas, que son más factibles económicamente, incluyen la densidad de población, la orientación de la siembra o plantación, aclareos, podas, etc. En general la orientación o dirección de la siembra, representa una buena herramienta para regular la incidencia de radiación ya sea que se quiera más o menos incidencia dependiendo de los cultivos y condiciones. La dirección Norte-Sur siempre tendrá mayor radiación y ofrece mejores rendimientos que la dirección Este-Oeste. La desventaja de la orientación de la siembra es que no siempre se puede

realizar debido a dificultades topográficas, límites y formas de los predios, presencia de caminos, lagos, bosques, etc.

2. La iluminación artificial ha sido usada para suplementar y complementar la radiación natural, pero su uso se ha limitado a cultivos altamente remunerativos como flores y hortalizas, o para trabajos de investigación, la mejor iluminación artificial será la que más parecida a la luz solar. Las luces artificiales tienen una distribución espectral variable, por lo que es difícil aproximarse al espectro solar con un solo tipo de lámpara. A nivel comercial las lámparas de tungsteno (espectro rojo azul continuo) y de vapor de mercurio han dado buenos resultados. Las de tungsteno no son muy eficientes por su alta radiación infrarroja, que se pierde en forma de calor y las de vapor de mercurio no producen radiaciones en la faja roja y muy roja del espectro, por lo que se deben complementar con lámparas abundantes en rojo (Arteaga, 1983).

#### **2.8.4 Aplicaciones de la Radiación Solar en la Agricultura.**

La historia muestra que desde hace siglos el hombre ha tratado de aprovechar la energía solar. Sin embargo, es sólo hasta la década de 1970 cuando se incrementa la investigación y el desarrollo de distintos sistemas para la captación y el aprovechamiento de la energía solar, la cual es segura, libre de contaminación, no requiere transporte, no tiene productos de desecho que deban eliminarse, es abundante y universal, y con ella han prosperado todos los seres vivos desde su aparición en la Tierra (Manrique, 1984).

La energía solar, como recurso energético terrestre, está constituida simplemente por la porción de la luz que emite el Sol y que es interceptada por la Tierra, de acuerdo a sus aplicaciones se clasifica en:

##### a) Pasiva.

Una de las aplicaciones de la energía solar es directamente como luz solar, por ejemplo, para la iluminación de recintos. En este sentido, cualquier ventana es un colector solar. Otra aplicación directa, muy común, es el secado de ropa y algunos productos en procesos de producción con tecnología simple (Román, 2002). Sus principios están basados en las características de los materiales empleados en la construcción y en la utilización de los fenómenos naturales de circulación de aire.

La repercusión en el medio ambiente de este aprovechamiento de energía solar es nulo, ya que no se produce ningún tipo de impacto sobre la atmósfera, el agua o el suelo, ni tampoco otro tipo de efectos como ruido, alteraciones de ecosistemas, efectos paisajísticos particulares, etc., (CEIT, 2003).

#### b) Térmica.

Se denomina térmica a la energía solar cuyo aprovechamiento se logra por medio del calentamiento de algún medio. La climatización de viviendas, calefacción, refrigeración, secado, etc., son aplicaciones térmicas (Román, 2002). Se basa en la captación de la radiación por medio de un elemento denominado colector. Existen tres técnicas diferentes entre sí en función de la temperatura que puede alcanzar la superficie captora. Así se suelen distinguir: baja, media y alta temperatura, según que la captación sea directa: de bajo índice ó de alto índice de concentración, respectivamente.

La tecnología de baja temperatura va destinada al calentamiento de agua por debajo de su punto de ebullición. La tecnología de media temperatura va destinada a aquellas aplicaciones que requieren temperaturas superiores a los 100°C. Este tipo de sistemas se puede utilizar para la producción de vapor o para el calentamiento de otro tipo de fluido, pudiéndose alcanzar hasta los 300°C. La tecnología de alta temperatura está dirigida a aquellas aplicaciones que requieren temperaturas superiores a los 300°C, fundamentalmente producción de energía eléctrica.

El generar energía térmica sin que exista un proceso de combustión supone, desde el punto de vista medioambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio y exento de cualquier tipo de contaminación. La única repercusión que se puede considerar para el caso de media y alta temperaturas son los relacionados con los posibles usos del suelo y los efectos paisajísticos que puede implicar su utilización.

Algunas aplicaciones tanto de baja como de alta temperatura son las siguientes: en la agricultura en invernaderos y en secadores de grano; en la industria en el precalentamiento de fluidos, en el acondicionamiento de naves y edificios auxiliares y en la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS); en el sector industrial y terciario en la producción de ACS, en calefacción y en climatización de piscinas. Incluso se utiliza para al producción de frío utilizando sistemas de absorción (CEIT, 2003).

#### c) Fotovoltaica.

Se denomina así la energía solar aprovechada por medio de celdas fotoeléctricas, capaces de convertir la luz en un potencial eléctrico, sin pasar por un efecto térmico, (Román, 2002). Mediante el efecto fotoeléctrico la energía de los corpúsculos constituyentes de la luz (fotones) se puede aprovechar para producir electricidad, una de las variantes del fenómeno fotoeléctrico es el efecto fotovoltaico. Este tipo de energía tendrá interés en aquellos casos en que la demanda es reducida, pero difícil de atender por su localización en puntos distantes de la red de distribución. Las expectativas de la energía solar fotovoltaica son muy interesantes. Las nuevas tecnologías y materiales de fabricación de las células ofrecen la posibilidad de conseguir importantes disminuciones en el precio de los paneles, lo cual permitiría que su uso se hiciera más generalizado.

Desde el punto de vista medioambiental, este tipo de energía se comporta de forma similar a la energía solar térmica; es decir, tiene sobre todo efectos positivos. En pequeñas instalaciones, el único problema que puede originar es el efecto visual. En cuanto a las grandes centrales solares el principal problema es la necesidad de espacio, que puede tener como consecuencia conflictos en cuanto a uso del suelo.

Actualmente las aplicaciones más interesantes son la electrificación rural referida al sector doméstico, las aplicaciones agrícolas y ganaderas, como repetidores de radio y televisión, radiógrafos, balizas, aeropuertos, calculadoras (CEIT, 2003).

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, se puede obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante los colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos.

Los sistemas de aprovechamiento térmico tienen diversas aplicaciones, ya que el calor recogido en los colectores puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a hogares, hoteles, colegios, fábricas, etc. Incluso se pueden climatizar las piscinas y permitir el baño durante gran parte del año.

También una de las más prometedoras aplicaciones del calor solar será la refrigeración durante las épocas cálidas, precisamente cuando más soleamiento hay, para obtener frío hace falta disponer de un "foco cálido", el cual puede perfectamente tener su origen en unos colectores solares instalados sobre el techo (Román, 2002).

Sin embargo, existen algunos problemas a la hora de su aprovechamiento: la energía llega a la Tierra de manera dispersa y semialcatoria, estando sometida a ciclos día-noche y estacionales invierno-verano. Dicho aprovechamiento puede hacerse de dos maneras: por captación térmica y por captación fotónica. De la primera manera la energía solar al ser interceptada por una superficie absorbente se degrada apareciendo un efecto térmico. Esto se puede conseguir sin utilizar elementos mecánicos (forma pasiva) o utilizándolos (forma activa), de la segunda manera la radiación solar puede ser empleada de forma energética directa, utilizando la energía de los fotones mediante el efecto fotoeléctrico y que origina la energía fotovoltaica.

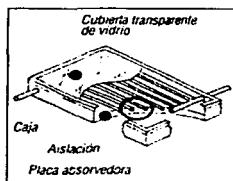
#### **2.8.4.1 Colectores Solares.**

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende de forma complicada pero predecible, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

La recogida directa de energía solar requiere dispositivos artificiales llamados colectores solares, diseñados para recoger energía, a veces después de concentrar los rayos del Sol. La energía, una vez recogida, se emplea en procesos térmicos o fotoeléctricos, o fotovoltaicos. En los procesos térmicos, la energía solar se utiliza para calentar un gas o un líquido que luego se almacena o se distribuye. En los procesos fotovoltaicos, la energía solar se convierte en energía eléctrica sin ningún dispositivo mecánico intermedio. Los colectores solares pueden ser de dos tipos principales:

a) Colectores de Placa Plana.

En los procesos térmicos los colectores de placa plana interceptan la radiación solar en una placa de absorción por la que pasa el llamado fluido portador, ver figura 20. Éste, en estado líquido o gaseoso, se calienta al atravesar los canales por transferencia de calor desde la placa de absorción. La energía transferida por el fluido portador, dividida entre la energía solar que incide sobre el colector y expresada en porcentaje, se llama eficiencia instantánea del colector. Los colectores de placa plana tienen, en general, una o más placas cobertoras transparentes para intentar minimizar las pérdidas de calor de la placa de absorción en un esfuerzo para maximizar la eficiencia. Son capaces de calentar fluidos portadores hasta 82°C y obtener entre el 40 y el 80% de eficiencia.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Figura 20: Colector solar plano.  
Fuente: Construir, 2003.

Los colectores de placa plana se han usado de forma eficaz para calentar agua y para calefacción. Los sistemas típicos para casa-habitación emplean colectores fijos, montados sobre el tejado. En el hemisferio norte se orientan hacia el Sur y en el hemisferio sur hacia el Norte. El ángulo de inclinación óptimo para montar los colectores depende de la latitud. En general, para sistemas que se usan durante todo el año, como los que producen agua caliente, los colectores se inclinan (respecto al plano horizontal) un ángulo igual a los 15° de latitud y se orientan unos 20° latitud S o 20° de latitud N.

Además de los colectores de placa plana, los sistemas típicos de agua caliente y calefacción están constituidos por bombas de circulación, sensores de temperatura, controladores automáticos para activar el bombeo y un dispositivo de almacenamiento. El fluido puede ser tanto el aire como un



líquido (agua o agua mezclada con anticongelante), mientras que un lecho de roca o un tanque aislado sirven como medio de almacenamiento de energía.

#### **b) Colectores de Concentración.**

Para aplicaciones como el aire acondicionado, la generación central de energía y de calor para cubrir las grandes necesidades industriales, los colectores de placa plana no suministran, en términos generales, fluidos con temperaturas bastante elevadas como para ser eficaces. Se pueden usar en una primera fase, y después el fluido se trata con medios convencionales de calentamiento. Como alternativa, se pueden utilizar colectores de concentración más complejos y costosos. Son dispositivos que reflejan y concentran la energía solar incidente sobre una zona receptora pequeña. Como resultado de esta concentración, la intensidad de la energía solar se incrementa y las temperaturas del receptor (llamado "blanco") pueden acercarse a varios cientos, o incluso miles, de grados Celsius. Los concentradores deben moverse para seguir al Sol si se quiere que actúen con eficacia; los dispositivos utilizados para ello son los helióstatos (instrumentos que reflejan los rayos solares en una dirección determinada), (Román, 2002).

Utilizando un colector plano o un concentrador se da paso a muchas aplicaciones agrícolas que los toman de base como los calentadores de agua, destiladores, estufas y secadores solares, bombeo de agua, etc. A continuación se describen algunos de estos y otros procesos.

#### **2.8.4.2 Detoxificación Solar.**

El proceso de Detoxificación Solar está teniendo un desarrollo espectacular en estos últimos años, debido al fuerte atractivo medioambiental que posee y al progreso tecnológico experimentado como fruto de una serie de proyectos industriales.

Las últimas décadas han sido testigo de un aumento en los niveles de contaminación de las reservas de agua potable de la Tierra. Las aguas procedentes de un uso humano normal, pueden ser tratadas eficientemente mediante plantas convencionales basadas en procedimientos biológicos. Esto no suele ser suficiente para descontaminar aguas procedentes de procesos industriales y para solventar el problema, además de reducir las emisiones, se están siguiendo principalmente dos estrategias:

- tratamiento de aguas potables, aguas superficiales y subterráneas contaminadas,
- tratamiento de aguas residuales conteniendo biocidas o compuestos no biodegradables.

La descontaminación de aguas potables se realiza principalmente mediante procedimientos que combinan floculación, filtración, esterilización y conservación, a los que se añade un número limitado de productos químicos. El tratamiento químico de aguas superficiales y subterráneas, o aguas residuales contaminadas, es parte de una estrategia a largo plazo para mejorar la calidad del agua, mediante la eliminación de compuestos tóxicos de origen antropogénico, antes de devolver el agua a sus ciclos naturales. Este tratamiento debe ser aplicado cuando una planta biológica no puede ser adaptada a ciertos tipos de contaminantes, que no existían cuando se diseñó. Los últimos avances en la purificación de aguas, han llevado a un desarrollo en los procedimientos de oxidación de compuestos orgánicos muy persistentes, disueltos en el medio acuático. Estos métodos están basados en procedimientos catalíticos y fotoquímicos y se han denominado procesos avanzados de oxidación (AOPs, del inglés "Advanced Oxidation Processes"). Este proceso ha sido extensamente estudiado a nivel de laboratorio en los últimos años ya que presenta una serie de ventajas que lo hacen realmente atractivo:

1. Destruye sustancias muy tóxicas (PCBs, disolventes halogenados, pesticidas, etc.) hasta subproductos como agua,  $\text{CO}_2$  y ácidos inorgánicos, la oxidación de las sustancias es completa.
2. El oxígeno necesario para la reacción se obtiene de la atmósfera y el catalizador ( $\text{TiO}_2$ ) es barato, inocuo y puede reutilizarse muchas veces.
3. Las sustancias son eliminadas en un único proceso, en el medio en el que se encuentran disueltas y usando una fuente de energía limpia, abundante, barata e inagotable como es el Sol. Tiene lugar a temperatura ambiente y en combinación con otros tratamientos convencionales.

Nivel de desarrollo de la Tecnología de Detoxificación Solar.

La tecnología para llevar a cabo el proceso se basa en colectores térmicos modificados para optimizar la eficiencia óptica en la captación de la radiación solar UV. De acuerdo con la experiencia acumulada, los sistemas más adecuados son aquellos basados en colectores estáticos de baja concentración solar, como es el caso de los colectores tipo cilindro-parabólico compuestos (CPC's). Estos colectores, con un semiángulo de aceptación adecuado ( $60^\circ$ - $70^\circ$ ), pueden aprovechar hasta el 80% de la radiación directa disponible y casi toda la radiación difusa. Este último hecho es muy importante, ya que permite que la detoxificación solar pueda alcanzar una eficiencia razonable en presencia de nubes. La ultravioleta solar no es absorbida por el vapor de agua (únicamente es desviada), por lo que un fotón UV alcanza la superficie terrestre como componente difusa aunque haya nubes.

La reflexión de la radiación solar debe producirse sobre una superficie de alta reflectividad en el ultravioleta solar (300 a 400 nm.). El material que resulta más idóneo para este tipo de aplicaciones es

el aluminio. El tubo absorbedor debe estar fabricado con vidrio de bajo contenido en hierro para que la trasmisividad UV sea máxima.

El agua a tratar se introduce en un depósito en donde se añade el catalizador, que se mantiene en suspensión mediante agitación, otro elemento necesario para el proceso es el oxígeno. Debe añadirse de forma artificial (inyección de oxígeno puro o aire) o bien, diseñar el sistema para permitir un contacto suficiente con la atmósfera. Este extremo dependerá fundamentalmente de la volatilidad de los contaminantes a tratar. La mezcla es bombeada a través del sistema de colectores solares que constituyen el reactor. Debido a cuestiones relacionadas con la cinética de las reacciones fotocatalíticas, el último 5-10% del contenido orgánico es el que más cuesta mineralizar. Para solventar esto, lo más práctico es la utilización de carbón activo para retener este pequeño porcentaje final de compuestos permitiendo así reducir las dimensiones de la instalación solar y el costo final de todo el sistema. La utilización del catalizador en suspensión implica que ha de ser recuperado, bastando para ello un proceso de decantación y posterior microfiltrado del lodo obtenido.

Aplicaciones de la Tecnología de Detoxificación Solar.

Debido a sus peculiares características y al bajo costo de los sistemas solares empleados existen múltiples ejemplos donde el proceso puede ser aplicado con éxito. Algunas de ellas podrían servir para el afianzamiento inicial de una tecnología que, dentro del campo de la Oxidación Avanzada, ocupa ya un lugar definido para el tratamiento de contaminantes, estando suficientemente demostrada su viabilidad técnica y económica. Las características comunes son: volumen de agua reducido, contaminantes muy persistentes y no biodegradables, y concentraciones no excesivamente elevadas (<1000 mg/L de TOC). En estos casos las alternativas existentes tienen importantes objeciones:

- 1) La adsorción en carbón activo no es tratamiento destructivo, sino que los contaminantes son traspasados simplemente de un medio a otro y el carbón saturado debe almacenarse, ya que la reglamentación para carbón activo procedente de tratar aguas residuales es muy estricta.
- 2) Incineración; sistema de fuerte contestación social, que puede dar lugar a la generación de dioxinas y al mismo tiempo de aplicabilidad muy relativa en aguas con bajo contenido orgánico.
- 3) Desorción con aire; que supone la transferencia de compuestos volátiles (no aplicable a compuestos de baja volatilidad) desde el agua al aire, para proceder posteriormente a adsorción o incineración, antes de descargar a la atmósfera.

Entre las aplicaciones potenciales se pueden citar el tratamiento de:

- a) agua procedente del lavado de depósitos y cisternas que hayan contenido sustancias tóxicas;

- b) afluentes de empresas fabricantes de pesticidas;
- c) afluentes organoclorados (empresas papeleras y textiles);
- d) compuestos orgánicos volátiles (VOCs) disueltos en agua procedentes de torres de lavado;
- e) agua de lavado en plantas de reciclaje de envases plásticos de sustancias contaminantes.

El último caso supone un claro ejemplo de aplicación del concepto de desarrollo sostenible. Una gran cantidad de las sustancias altamente contaminantes, como lo son las citadas en la lista de "Contaminantes Principales" de la Environmental Protection Agency (EPA), se distribuyen normalmente en envases de plástico. Estos envases, una vez usados, se convierten en un residuo tóxico y peligroso cuyo destino suele ser, en el mejor de los casos, su enterramiento en un vertedero de residuos controlado por una empresa gestora de residuos. Una alternativa a esto es el reciclado del envase plástico, mediante recogida selectiva+triturado+lavado. De esta forma, los contaminantes son destruidos en vez de enterrados y se obtiene además un producto comercial (el plástico triturado), (Malato, 2002).

#### **2.8.4.3 Desinfección del Suelo por Radiación Solar.**

Los patógenos del suelo son la causa de muchas pérdidas de cosecha en los cultivos. La repetición de un cultivo en la misma parcela, que es una práctica habitual en los cultivos más rentables, acaba seleccionando en el suelo una población de microorganismos rica en los patógenos más especializados que fuerza a los agricultores a cambiar de parcela o a cambiar de cultivo. El control químico mediante fumigantes, a las dosis necesarias para disminuir el potencial infeccioso a unos niveles aceptables para los cultivos, afecta también al ambiente biológico, físico y químico del suelo.

También las cosechas son afectadas por los residuos tóxicos de estos fumigantes. Las legislaciones de los países europeos son cada vez más restrictivas en el contenido en residuos de los productos para el consumo humano. Suecia tolera un máximo de 30ppm de Br inorgánico en todo tipo de fruta y verdura, Alemania, Holanda y Dinamarca toleran hasta 30 ppm de Br- en frutas y verduras (cítricos, fresa) y hasta 50 ppm en verduras de hoja (como la lechuga). Igualmente está adquiriendo gran importancia la contaminación de acuíferos por actividades agrícolas. Los residuos de fertilizantes (nitratos) y productos fitosanitarios suponen ya en la actualidad un grave riesgo para la utilización de aguas potables.

En Israel, por sugerencia de agentes de extensión y de agricultores, Katan puso a punto una técnica de calentamiento del suelo mediante el acolchado con una lámina de polietileno transparente,

en la época del año de mayor insolación. El calentamiento del suelo mediante la radiación solar es un método para el control de enfermedades con el objeto de reducir su incidencia al menos en la temporada siguiente (Cebolla, 1992).

La energía radiante del Sol, es la fuente energética que determina el régimen térmico del suelo, y el crecimiento de las plantas. La solarización, ver figura 21, implica el uso de radiación solar como agente letal para el control de plagas y enfermedades mediante el uso de plástico transparente, colocado sobre el suelo y la exposición a la luz del sol (Aguilar, 1989).



Figura 21: Desinfección del suelo por energía solar.  
Fuente: Infojardin, 2003.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Entre los términos usados para denominar este método están: calentamiento solar (solar heating), acolchado plástico (plastic tarping o plastic mulching), solarización del suelo (soil solarization) ó pasteurización del suelo (soil pasteurization).

La radiación solar pasa a través del plástico transparente, se convierte en calor, e induce a cambios físicos, químicos y biológicos en el suelo. El tratamiento de solarización dura más de cuatro semanas, tiempo necesario para ejercer un control en las capas profundas del suelo. Un manejo satisfactorio depende de la duración del tratamiento, intensidad de la radiación solar y la conductividad térmica del suelo (Ramírez, 1996).

La desinfección de suelos, utilizando radiación solar, se basa en un proceso físico, alternando altas y bajas temperaturas, la humedad del suelo juega un papel importante debido a que en las horas de mayor temperatura produce vapor y en las de menor temperatura durante la noche se condensa, produciéndose un fenómeno de pasteurización continua durante el tiempo que dure el tratamiento. Estas fluctuaciones de temperatura entre el día y la noche, rompen fácilmente el ciclo biológico de los fitopatógenos presentes en el suelo (Aguilar, 1989).

El aprovechamiento de la energía solar para desinfección del suelo es un método físico, el cual consiste en la aplicación de una lámina de plástico transparente en el suelo, previa retirada de los restos vegetales, regulación del terreno y riego de saturación, estos factores son fundamentales ya que permiten el aumento de temperatura y conductividad térmica del suelo. Como consecuencia, el grado de desinfección será mayor cuanto mayor sea la temperatura conseguida en el suelo y mas tiempo se tenga esta (Productores de Hortalizas, 2001).

La solarización provoca en suelo los siguientes resultados:

- incremento en la temperatura, aumenta la actividad microbiana,
- cambios en la microflora,
- retención de altos niveles de humedad,
- transformaciones físicas y químicas, inicia la nitrificación y amonificación, y
- recomposición gaseosa de la atmósfera del suelo, producción de dióxido de carbono (Villar, 1989).

La energía que llega al suelo a través de la radiación solar, penetra en él en función de sus propiedades térmicas, capacidad calorífica, conductividad térmica, difusividad térmica etc., que a su vez dependen de las características físicas del propio suelo, y de su contenido de humedad, y sufre una serie de pérdidas por radiación, conducción, convección y evaporación. Por la noche el suelo tiene un proceso de enfriamiento, de modo que la temperatura a lo largo del tiempo describe una curva cíclica parecida a una senoide.

En el caso de que el suelo esté húmedo y acolchado con una lámina de polietileno, el balance de energía se modifica, debido por una parte a que la humedad aumenta la conductividad y sobre todo la difusividad térmicas, haciendo posible un calentamiento más rápido hacia el interior, y por otra, hay una reducción de la radiación solar incidente debido a la transmitancia y reflexión de la lámina plástica, y una disminución notable de pérdidas caloríficas por conducción y convección, y sobre todo una eliminación de pérdidas de calor latente de evaporación a causa de la barrera impuesta por el acolchado. Asimismo las pérdidas nocturnas por radiación calorífica al cielo, se hacen menores por la condensación del agua en la superficie interna del plástico.

#### **2.8.4.4 Secadores Solares.**

El proceso tradicional de deshidratar frutas y hortalizas consiste en exponerlas sobre un techo o plancha al viento y calor solar al aire libre. La desventaja de este proceso es la contaminación del

producto por polvo, ataque de insectos y otros animales, lluvias repentinas o deterioro por los rayos ultravioleta del Sol.

Los secadores solares evitan estos problemas al proteger los productos dentro de una caja cubierta con polietileno transparente o vidrio, permitiendo, a la vez, la entrada del aire para que el líquido contenido en el producto se vaya evaporando.

Existen tres tipos de secadores solares: el primero, muy simple, consiste en una caja pintada de negro en su interior cubierto con plástico o vidrio, sirve para pequeñas cantidades de frutas y hortalizas; un segundo, de mayor tamaño, en el cual caben tres bandejas para secados en volúmenes mayores; y, un tercer tipo para secar granos, hortalizas y frutas en cantidades apreciables.

El tipo más simple consiste en un cajón pintado de negro mate, para captar el calor. Se aísla por todos los lados. En la parte superior de un costado y en la parte inferior del otro costado se hacen orificios para la circulación del aire. Se arma una bandeja con una malla mosquitera, la que no debe quedar pegada al aislante del cajón. Por último se cubre el secador con plástico o vidrio.

Para este como para otro tipo de secadores se debe tomar en cuenta que la temperatura no sobrepase los 70°C para evitar la destrucción de vitaminas y proteínas; que el flujo de aire no sea demasiado grande para que no se enfríe el producto y se paralice la evaporación; y que si algunos frutos tienen corteza muy dura hay que pincharla para apresurar la desecación.

Un segundo tipo de secador es un cajón alto con costados en forma de triángulo rectángulo, que puede contener 3 ó 4 bandejas rectangulares. Sirve para secar frutas, verduras, hierbas medicinales, condimentos, cereales y leguminosas. El interior está pintado de negro, la puerta de entrada de las bandejas está ubicada atrás, los orificios de entrada de aire en la lata o plástico negro que cubre el fondo del secador, la cubierta colocada hacia el sol puede ser de plástico o vidrio.

El secador conviene colocarlo sobre una mesa, pero con suficiente espacio para que circule el aire por debajo del secador. Las patas de la mesa deben quedar colocadas en envases con agua para impedir el paso de las hormigas.

El tercer tipo de secador es más grande y consta de un colector solar y una cámara de secado donde se ubican las bandejas. El colector se ubica aprovechando una pendiente del terreno para captar

mejor los rayos solares; se utiliza un elemento poroso en el interior que guarde el calor y se cubre con vidrio. La estructura exterior del colector y de la cámara de secado se puede construir de adobe o madera con barro. En el fondo y para separar la cámara del colector se coloca una rejilla. El acceso a la cámara es por atrás y el techo de la misma está formada por varas que permiten el flujo del aire. Sobre este techo se ubica un deflector de viento, con el objeto de pasar una lamina de aire por los orificios de salida. Por efecto venturi aumenta el flujo de aire entre las bandejas, impidiendo las altas temperaturas al interior de la cámara y permitiendo una evaporación rápida del agua de las frutas y hortalizas (Serrano, 2001).

#### **2.8.4.5 Desalinización.**

Las zonas áridas se caracterizan por la escasez de agua y la gran cantidad de energía solar incidente. La presencia de agua salinizada está aumentando a lo largo de nuestra geografía debido a la sobreexplotación de los acuíferos. La energía solar puede ser en estas zonas la clave para desalinizar el agua para el consumo humano y para su uso en la agricultura.

La utilización de la energía solar para la destilación del agua es una práctica que se viene realizando desde hace mucho tiempo. El primer documento que habla sobre esta cuestión data de 1551 y fue redactado por alquimistas árabes. En 1589, Della Porta describe un sistema de destilación de agua con energía solar. En 1862, Lavoisier experimenta estas técnicas mediante el uso de grandes lentes que concentran la radiación solar.

En la actualidad en Grecia se hallan funcionando varias instalaciones de destiladores solares para el abastecimiento de agua potable. Según el tipo de construcción y las condiciones climatológicas imperantes, con una superficie media de condensación de 2.450 m<sup>2</sup>, pueden obtenerse de 7.5 a 15 m<sup>3</sup> de agua potable por día. En Freeport, en el Golfo de México, se obtienen diariamente 4 millones de litros de agua por el procedimiento LTV (Long Tube Vertical Multiple Effect Distillation). Se trata de un sistema de etapas múltiple que por un proceso de evaporación progresiva, a una presión constantemente decreciente, garantiza un balance energético relativamente favorable. El agua bombeada del Golfo de México se somete a un total de 12 condensaciones. La proporción de agua de mar dulce obtenida, es de 4:3. Un sistema que compite totalmente con este procedimiento es el proceso de distensión de etapas múltiples MFP (Multiple Flash Process). Por este sistema trabaja una instalación de destilación de diez etapas en San Diego, en la que se producen por día unos 300.000 litros de agua dulce.



### **Sistemas utilizados al aire libre.**

Los sistemas más simples han sido los que más se han desarrollado; este es el caso del denominado sistema "depósito". Dicho sistema consta de una serie de elementos esenciales: depósito para agua, láminas de cristal transparente (en ocasiones plástico), canales y colector para agua destilada.

La disposición de los elementos varía según los modelos: sobre el suelo se dispone el contenedor de agua, que puede ser negro para absorber mayor cantidad de radiación solar; el agua se evapora (ya desprovista de sales) y se condensa sobre la lámina colocada en la parte superior. Esta lámina suele estar inclinada, y al final el agua se recoge en los extremos una vez destilada.

### **Modelos más utilizados en invernaderos.**

Investigadores construyeron un invernadero convencional, pero en su interior, en la parte superior del mismo disponían un contenedor de agua de plástico semitransparente. Este plástico fue elegido porque era capaz de retener la radiación térmica y dejaba pasar la Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR). Este modelo también permite que la radiación nocturna emitida por el suelo del invernadero sea utilizada para mantener el agua caliente. Este equipo de investigadores probaron materiales como el polietileno y el metacrilato, de colores rojo y azul, para la construcción del contenedor, y observaron que la radiación PAR transmitida por el metacrilato rojo doblaba la transmitida por los otros dos materiales.

Luft y Froechtenight diseñaron dos equipos que aumentaban la efectividad de modelos desarrollados con anterioridad. En este modelo el agua fluye entre dos láminas de cristal, pero la lámina inferior únicamente deja pasar hacia el interior del invernadero la PAR, quedándose la radiación térmica (infrarroja) entre los dos cristales. De este modo el agua se evapora y condensa más rápidamente, puesto que entre los dos cristales se produce una subida de temperatura mayor que en otros modelos.

Actualmente se está investigando otro modelo que consta de un colector solar, una torre de evaporación y de una torre de condensación.

El agua asciende al colector solar por capilaridad por unos microtubos; aquí el agua se calienta y pasa a la torre de evaporación donde tiene lugar dicho proceso. Ahora el vapor de agua atraviesa la

**cámara de condensación donde se produce la condensación del agua cuando el vapor de agua entra en contacto con las superficies frías de dicha cámara.**

**A veces el agua salada es precalentada mediante un intercambiador de placas situado en la cámara de condensación. De este modo el calentamiento del agua en el colector solar se producirá más rápidamente al estar el agua ya a una temperatura elevada.**

**El agua que no se ha evaporado se recoge en un depósito, donde esta el agua salada, y cuando la concentración de sales es muy elevada este agua se desecha (Infoagro, 2003).**

### **III Materiales y Métodos.**

#### **3.1 Descripción del Lugar de Estudio.**

El presente trabajo se realizó con datos de la Estación Meteorológica "Almaraz" en el Campo 4 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, ubicada a 99°11'42" de longitud oeste y 19°41'35" de latitud norte y a 2274 msnm, en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, fue creada en 1981 y cuenta con un registro continuo a partir de 1987 a la fecha (ver Anexo 7.1).

La zona se clasifica según el sistema de Köppen, modificado por García, como Cw<sub>o</sub>b(i'); esto es templado subhúmedo con lluvias en verano, el mas seco de los subhúmedos, con verano fresco, poca oscilación de temperatura y sin presencia de sequía intraestival.

#### **3.2 Caracterización de la Estación Almaraz.**

De acuerdo con lo establecido por la Organización Meteorológica Mundial, las estaciones meteorológicas se clasifican de acuerdo con su finalidad (sinópticas, climatológicas, agrometeorológicas, especiales, aeronáuticas o satélites), a la información que suministran (principales, ordinarias o auxiliares), al nivel al cual se refiere la observación (superficie o altitud) y el lugar de observación (terrestres, marítimas o aéreas).

De acuerdo al reporte técnico de la OMM, la Estación Meteorológica Almaraz se puede ubicar dentro de las estaciones ordinarias, de carácter climatológico, de superficie y terrestre que son aquellas cuya información define las condiciones climatológicas, locales o características especiales de uno o varios elementos meteorológicos. Su tendencia general la definen las estaciones principales, con las cuales se establecen correlaciones de manera que sea posible conocer las variaciones interzonales.

La Estación Meteorológica Almaraz se ubica en la parcela No. 14 del Campo 4 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, en una superficie de 152 m<sup>2</sup> y orientada al Norte en la Longitud Oeste de 99°11'42" y Latitud Norte 19°41'35", a una altura de 2274 msnm.

##### **3.2.1 Antecedentes de la Instalación y Manejo.**

En la Estación Meteorológica Almaraz, perteneciente a la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM, se han realizado diversos trabajos con carácter didáctico y de investigación en el área de climatología agrícola que ofrecen un valioso soporte informativo y técnico, para el personal interesado en el área.

Creada en 1981, la estación meteorológica de la FES-C tiene entre sus objetivos, conocer el comportamiento y los factores que originan los fenómenos climáticos, para que a través del manejo de estas y otras variables se obtenga información precisa que permita coadyuvar en el desarrollo de proyectos del área de Ingeniería Agrícola, Veterinaria y otras áreas afines, apoyado esto con un banco de información climática que abarca el periodo de Julio de 1987 hasta la fecha.

La estación Almaraz facilita normalmente y de manera simultánea la información para su uso en investigaciones y apoyo a la docencia, así como a instituciones gubernamentales y privadas de la zona de influencia; estando equipada para tomar datos en superficie en un rango de 0.5 m. de profundidad del suelo hasta 6 m de altura, siendo el área de influencia hasta 8 km. a la redonda de la estación, donde las condiciones de topografía y vegetación son similares, considerándose a la información climática de la estación como representativa del lugar. Ordinariamente se recaban datos cada 3 horas para su banco de datos. El personal que labora en la estación Almaraz posee nivel de Licenciatura y además estudiantes de Servicio Social de la carrera de Ingeniería Agrícola.

### **3.2.2. Instrumental con que cuenta la estación.**

La estación Almaraz cuenta con diferentes instrumentos de lectura directa y de registro. Así mismo se llevan a cabo observaciones visuales de fenómenos meteorológicas que se presentan durante el día. Este instrumental se ha sujeto a revisiones y calibraciones periódicas para asegurar la confiabilidad de la información que se obtiene, además de estar de manera continua la comparación del comportamiento del instrumental de lectura directa con el de registro para mantener la uniformidad que de ellos se obtiene.

A continuación se enlistan los instrumentos y unidades de medición para los elementos del clima que se registran en la estación:

1. Temperatura expresada en grados celsius, se cuenta con:
  - a) Termómetro de mínima modelo Rutherford.
  - b) Termómetro de máxima modelo Negretti.
  - c) Termómetro de máxima y mínima tipo Six.
  - d) Termómetro de mercurio para el suelo.
  - e) Termógrafo.
2. Humedad Atmosférica expresada en porcentaje, se cuenta con:
  - a) Psicrómetro de onda.

- b) Psicrómetro de ventilación natural.
- c) Higrógrafo.
- 3. Presión Atmosférica medida en milímetros de mercurio, se tiene:
  - a) Barómetro de mercurio tipo Fortin.
  - b) Barógrafo.
- 4. Precipitación que se mide en milímetros y se cuenta con:
  - a) Pluviómetro.
  - b) Pluviógrafo.
- 5. Evaporación se mide en milímetros se tiene:
  - a) Evaporógrafo
  - b) Evaporímetro o Tanque de Evaporación.
- 6. Recorrido del Viento se mide en metros por día (m/día) y se registra con:
  - a) Anemógrafos a 2, 4 y a 6 metros de altura.
  - b) Anemómetro totalizador de 30 cm.
  - c) Velea para determinar su dirección de acuerdo a la rosa de los vientos.
- 7. Insolación se mide en horas y minutos, y se tiene para ello:
  - a) Heliógrafo tipo Campbell-Stokes.
- 8. Radiación Solar se expresa en cal/cm/día y se cuenta con:
  - a) Actinógrafo tipo Robitszsch. (Flores, 1998).

Para fines de la presente investigación se emplearon datos obtenidos de dos últimos instrumentos enlistados.

### 3.3 Metodología.

El procedimiento empleado fue el siguiente:

- 1. Se obtuvieron los datos de las gráficas de registro de un piranógrafo tipo Robitszsch, continuas desde 1987 hasta 2002, salvo en algunos casos que por calibración del instrumento y otros factores no fue posible la obtención de esos datos.
- 2. Para procesar esta información se siguió el procedimiento para evaluar los totales diarios de radiación solar que propone Leyva et al(1990), los cuales son:
  - a) Determinación de la constante de la tira de graficación de un piranógrafo del tipo Robitszsch: Esta constante se define como la equivalencia entre la energía por unidad de área ( $\text{cal/cm}^2$ ) y el área bajo la curva (en  $\text{cm}^2/\text{día}$ ) en la tira de registro o de graficación. Como el área cuantificada

es la de la curva diaria, desde la salida hasta la puesta del Sol, las unidades incluyen el término día.

La constante de la tira de graficación, representada como  $C_g$ , se puede determinar de la siguiente manera:

Una vez que se conoce la "sensibilidad del instrumento" ( $C_i$ ), a través de una calibración (intercomparación) contra un instrumento de referencia nacional o internacional, entonces:

$$C_g = (C_i \cdot a) m / a \cdot b, (\text{cal/cm}^2) / \text{cm}^2$$

Considerando que la tira tiene un rectángulo impreso dentro del que se realiza la graficación, ver figura 22, entonces:

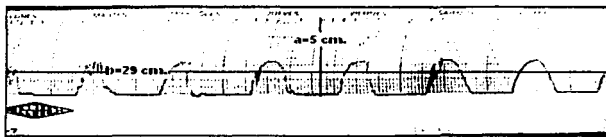
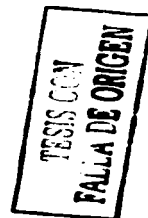


Figura 22: Tira de Graficación.  
Fuente: Estación Almaraz, 2003



donde:

( $C_i \cdot a$ ): Equivalencia de la altura del rectángulo de graficación en  $\text{cal/cm}^2/\text{min}$ .

m: Número de minutos de siete días (10 080), que corresponden a la base del rectángulo de graficación.

a: Altura del rectángulo de graficación medida desde el nivel cero (línea base) hasta la marca correspondiente al máximo de la escala impresa en la tira, en cm.

b: Base del rectángulo de graficación correspondiente a siete días de registro, dada en cm.

b) Delimitación del área de registro.

En la tira con registro se delimita la gráfica diaria marcando la hora de inicio y del fin, estos puntos definen la línea base, la cual no siempre coincide con la línea de nivel cero de la tira de graficación, debido a una mala colocación de registro.

c) Determinación del área de registro.

Se determinó por medio del planímetro (figura 23), el cual es un instrumento para la determinación de áreas de figuras en superficies planas ya sea en forma regular o irregular en mapas, planos, etc.



Figura 23: Planímetro.

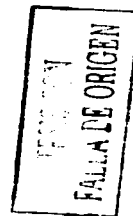
Fuente: Kiozumi, Type KP-27.

Con el planímetro se determina el área (A) delimitada por el registro y la línea base: el valor obtenido estará dado en  $\text{cm}^2/\text{día}$ ; se recomienda hacer tres mediciones del área y obtener un promedio, ver figura 24.



Figura 24: Determinación del área de registro.

Fuente: Estación Almaraz, 2003.



d) Obtención de los totales diarios de radiación solar global.

En  $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$ :

El área del registro en centímetros cuadrados por día del inciso c, se multiplican por la constante de la tira de registro ( $C_g$ ), que en este caso es 198.2.

El resultado es el total diario de la radiación solar global ( $R_g$ ) en  $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$ .

$$R_g = C_g \cdot A (\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día})$$

3. Obtención de las variables a evaluar.

Posteriormente, se elaboró un listado promedio diario mes por mes en el que se registro el área obtenida con el planímetro, y después se multiplicó por la constante instrumental del Actinógrafo ( $C_g$ ) y se obtuvo la Radiación Global por el Método Planimétrico.

En otro listado mensual se registró el número de horas de insolación de cada uno de los días del periodo de tiempo comprendido de Enero de 1987 a Diciembre de 2002 y se calculó la Radiación Global por el Método de Amgström, para lo cual fue necesario conocer los valores de Angot y la duración astronómica de la insolación que se muestra en los Anexos 7.2 y 7.3.

Los valores de a y b empleados en la formula de Amgström son  $a = 0.29$  y  $b = 0.42$ , debido a la latitud a la que se encuentra ubicada la zona de estudio ( $19^{\circ}41'35''$  de latitud norte) la cual pertenece a la denominada zona tropical que abarca desde los  $0^{\circ}$  hasta los  $23^{\circ}27'$ , no obstante que las temperaturas de la zona no son tan altas como cabria esperar gracias a la altitud.

Una vez concluidas ambas listas se promediaron con los datos de cada año obteniendo un promedio diario, reduciendo a tres columnas el número de datos haciendo más fácil su manejo. Posteriormente se realizó una correlación lineal simple, empleando el paquete estadístico SAS, de los valores obtenidos por el método Planimétrico y los conseguidos por el método de Amgström, tanto a nivel diario como a nivel mensual, para determinar cual es la relación que guardan unos datos con otros.

#### 4. Elaboración de Tablas de Distribución de Frecuencias.

Al disponer de una gran cantidad de datos, se hace difícil distinguir unos puntos de otros, para representarlos mejor, complementar el presente estudio y ofrecer un resumen más compacto de los datos, se construyó una distribución de frecuencias de la siguiente manera:

##### a) Determinación del número de clases.

Se calculó aplicando la regla de Sturges:

$$K = 1 + 3.322 \log n$$

donde:

K = Es el número de clases.

n = Tamaño de la muestra.

Para todos los casos  $K = 10$ , ya que el tamaño de la muestra es 366.

##### b) Calculo de la amplitud.

Se determinó utilizando la siguiente formula:

$$\text{Amp.} = \frac{x \text{ máx.} - x \text{ mín.}}{K}$$

donde:

x máx. = Dato mayor.

x mín. = Dato menor.

K = Número de clases.



Para cada caso fue diferente:

1. Radiación Solar Global (Método Planimétrico): 24.86 Ly.
2. Radiación Solar Global (Método de Amgström): 24.79 Ly.
3. Horas de Insolación: 0.59 Horas luz.

c) Determinación de la frecuencia absoluta.

Se determinó el número de observaciones que pertenecen a cada intervalo de clase, para cada uno de los tres casos.

#### **IV. Resultados y Discusión.**

Los resultados y el análisis de los mismos, obtenidos en el presente trabajo se exponen a continuación.

En la Tabla 1 se presentan los valores promedio diario de la Radiación Solar Global, de la serie de datos que abarca el periodo de Enero de 1987 a Diciembre de 2002, se muestran 366 valores usando el Calendario Juliano. En la primer columna se reportan los valores de Radiación Solar Global obtenidos por el Método Planimétrico, en Langley (Ly), con datos de un Actinógrafo del tipo Robitszch; en la segunda columna se observan los valores correspondientes a la Radiación Solar Global obtenida por el Método de Amgström; y, en la ultima columna se tienen registradas las horas de Insolación obtenidas con un Heliógrafo tipo Campbell-Stokes en este lapso de tiempo.

En la Tabla 2, se observan las mismas columnas, solo que los datos están reportados como el Promedio Mensual. Aprovechando ambas tablas se elaboraron 8 gráficas que permiten observar el comportamiento de los promedios diario y mensual de los datos presentados. En ambas tablas se utiliza coma en vez de punto para separar los números enteros de los decimales. Asimismo, los valores de insolación se convirtieron del sistema sexagesimal al decimal para facilitar su manejo estadístico.

Con los datos reportados en la Tabla 1 se construyeron las siguientes tablas: en la Tabla 3, se observan los resultados de la Distribución de la Radiación Solar a través del año, con los valores obtenidos por el Método Planimétrico. En la primer columna se encuentran los rangos en Langley, en la segunda se reporta la frecuencia, en días, que presentan cada uno de estos rangos, y en la tercer columna se muestra el porcentaje correspondiente a cada rango o intervalo. En la Tabla 4, se observan las mismas columnas solo que los datos aquí presentados corresponden a los obtenidos por el Método de Amgström.

En la Tabla 5, se observa la Distribución de las Horas de Insolación a través del año registradas en la zona de estudio, con las mismas columnas, en la primera se observan los rangos o intervalos de clase en horas luz, en la segunda se muestra la frecuencia en días de cada rango y en la última el porcentaje correspondiente a cada intervalo.

Con la información obtenida en estas tres últimas tablas se elaboraron 6 gráficas más, que permiten observar con mayor claridad el comportamiento aquí presentado.

Tabla 1. Radiación Solar Global e Insolación. Datos Promedio Diario (1987-2002).  
Estación Almaraz. Cuautitlán Izcalli, UNAM.  
Enero.

Promedios Diarios			
Día	Radiación Solar Global		Insolación (Horas)
	Método Planimétrico (L.y)	Método de Angström (L.y)	
1	393,34	418,69	8,92
2	398,38	387,77	7,69
3	395,32	397,91	8,10
4	393,82	397,28	8,07
5	407,70	438,40	9,70
6	410,63	431,71	9,43
7	436,76	443,51	9,90
8	397,89	408,37	8,51
9	393,76	395,63	8,01
10	403,50	404,25	8,35
11	438,02	430,20	9,37
12	422,26	407,93	8,49
13	393,92	392,01	7,86
14	383,19	397,19	8,07
15	431,25	426,64	9,23
16	401,52	400,66	8,20
17	395,74	406,36	8,43
18	377,65	392,51	7,88
19	408,14	399,58	8,16
20	427,96	440,33	9,78
21	415,00	423,66	9,10
22	435,13	447,07	10,04
23	427,05	438,43	9,70
24	419,19	397,56	8,08
25	403,17	387,11	7,67
26	389,63	375,87	7,22
27	398,38	400,37	8,19
28	390,27	408,35	8,51
29	394,09	402,84	8,29
30	421,34	410,90	8,43
31	395,24	381,19	7,43
<b>Promedio.</b>	<b>406.43</b>	<b>409.36</b>	<b>8.54</b>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 1. Continuación.  
Febrero.

Día	Promedios Diarios		Insolación (Horas)
	Radiación Solar Global		
	Método Planimétrico (Ly)	Método de Angström (Ly)	
1	426,67	440,53	8,26
2	428,11	451,62	8,67
3	433,75	438,96	8,18
4	468,06	443,69	8,38
5	437,86	437,23	8,14
6	434,72	431,92	7,94
7	427,62	420,09	7,51
8	470,06	450,29	8,61
9	439,51	466,61	9,22
10	467,92	485,81	9,93
11	466,60	456,61	8,85
12	418,53	455,41	8,81
13	462,14	465,66	9,18
14	485,95	480,20	9,71
15	500,07	495,78	10,29
16	534,84	487,86	10,00
17	495,50	486,24	9,95
18	504,58	480,36	9,91
19	486,25	454,83	9,68
20	508,05	468,70	9,30
21	499,77	486,36	9,96
22	488,03	479,25	9,68
23	488,49	473,28	9,46
24	490,62	467,89	9,27
25	487,11	458,40	8,92
26	495,33	462,07	9,05
27	468,08	442,18	8,32
28	495,67	478,29	9,62
29	500,12	413,78	7,28
<b>Promedio</b>	<b>472.43</b>	<b>460.69</b>	<b>9.04</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 1. Continuación.  
Marzo.

Promedios Diarios			
Día	Radiación Solar Global		Insolación (Horas)
	Método Planimétrico (Ly)	Método de Amgrström (Ly)	
1	498,97	514,12	9,15
2	513,34	522,04	9,42
3	546,04	537,18	9,93
4	527,54	535,59	9,88
5	491,54	536,80	9,92
6	472,71	496,62	8,56
7	520,35	523,26	9,46
8	523,10	506,89	8,90
9	532,70	519,57	9,33
10	541,70	499,74	8,97
11	521,42	504,19	8,81
12	523,86	514,43	9,16
13	510,14	533,11	9,77
14	545,55	522,30	9,42
15	556,33	540,79	10,05
16	567,31	541,25	10,07
17	551,15	508,91	8,97
18	544,14	524,48	9,50
19	511,20	493,16	8,44
20	513,03	475,62	7,84
21	512,68	504,25	8,83
22	507,56	510,03	9,01
23	551,99	515,44	9,19
24	518,29	505,74	8,86
25	508,31	492,07	8,40
26	515,50	499,35	8,65
27	535,93	522,76	9,44
28	572,96	541,12	10,06
29	576,76	538,77	9,98
30	558,92	513,19	9,12
31	534,99	481,93	8,06
<b>Promedio.</b>	<b>529,23</b>	<b>515,31</b>	<b>9,20</b>

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 1. Continuación.  
Abril.

Día	Promedios Diarios		Insolación (Horas)
	Radiación Solar Global		
	Método Planimétrico (Ly)	Método de Angström (Ly)	
1	498,40	513,50	8,11
2	512,58	544,46	9,04
3	477,20	524,85	8,40
4	482,08	496,87	7,49
5	515,98	528,09	8,55
6	533,49	512,49	8,00
7	551,30	546,00	9,17
8	566,39	556,07	9,42
9	551,30	537,24	8,80
10	503,12	541,99	8,90
11	493,02	509,93	7,92
12	535,97	537,06	8,88
13	520,77	534,94	8,73
14	503,97	491,31	7,43
15	513,52	523,81	8,36
16	514,82	531,15	8,55
17	484,43	546,11	9,12
18	578,56	544,05	9,02
19	557,73	563,26	9,68
20	569,49	577,40	10,11
21	512,35	545,63	9,55
22	571,64	553,74	9,37
23	536,96	535,85	8,76
24	507,54	514,07	8,15
25	510,44	513,85	8,04
26	487,90	517,14	8,18
27	513,34	532,58	8,65
28	542,46	561,47	9,59
29	522,59	533,06	8,67
30	515,78	530,89	8,60
<b>Promedio.</b>	<b>522,84</b>	<b>533,30</b>	<b>8,71</b>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 1. Continuación.  
 Mayo.

Promedios Diarios			
Día	Radiación Solar Global		Insolación (Horas)
	Método Planimétrico (Ly)	Método de Angström (Ly)	
1	494,01	542,78	8,70
2	525,99	552,65	9,03
3	532,73	560,50	9,29
4	507,39	539,83	8,61
5	479,79	535,43	8,47
6	532,09	527,43	8,21
7	538,65	522,42	8,04
8	470,30	505,64	7,49
9	520,28	558,83	9,23
10	511,36	548,09	8,88
11	503,89	524,22	8,10
12	484,88	500,72	7,33
13	477,05	515,94	7,53
14	518,83	537,93	8,55
15	521,42	562,44	9,35
16	569,60	579,90	9,89
17	554,39	593,67	10,39
18	548,56	565,28	9,44
19	571,73	586,89	10,14
20	551,45	555,75	9,13
21	555,57	552,34	9,02
22	539,26	559,18	9,24
23	576,34	589,12	10,15
24	595,87	579,45	9,90
25	573,08	575,42	9,77
26	517,00	571,81	9,65
27	481,77	526,07	8,16
28	583,93	570,50	9,42
29	546,88	543,71	8,74
30	587,50	563,35	9,38
31	596,40	585,81	9,97
<b>Promedio.</b>	<b>534,45</b>	<b>552,68</b>	<b>9,01</b>

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 1. Continuación.  
Junio.

Promedios Diarios			
Día	Radiación Solar Global		Insolación (Horas)
	Método Planimétrico (Ly)	Método de Angström (Ly)	
1	549,01	567,89	9,45
2	572,80	567,15	9,53
3	557,12	572,90	9,68
4	560,11	559,02	9,26
5	551,79	580,04	9,95
6	480,64	491,96	7,25
7	529,96	531,98	8,37
8	537,43	538,60	8,36
9	518,43	548,11	8,90
10	479,36	489,42	6,96
11	473,39	505,22	7,41
12	487,27	545,48	8,71
13	543,49	528,11	8,19
14	534,29	509,53	7,79
15	492,59	481,51	6,70
16	558,00	517,45	7,89
17	551,13	571,83	9,68
18	482,24	495,64	7,17
19	508,38	512,10	7,68
20	482,76	490,11	6,84
21	433,53	432,49	5,06
22	412,56	460,12	5,83
23	451,74	498,95	7,28
24	422,02	446,61	5,55
25	466,76	481,40	6,73
26	530,04	511,53	7,69
27	490,88	519,82	7,97
28	492,86	478,48	6,63
29	479,51	497,89	7,21
30	462,73	458,51	5,94
<b>Promedio.</b>	<b>503.09</b>	<b>512.99</b>	<b>7.72</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Tabla I. Continuación.  
Julio.

Promedios Diarios			
Día	Radiación Solar Global		Insolación (Horas)
	Método Planimétrico (L.y)	Método de Angström (L.y)	
1	448,20	438,47	5,55
2	480,17	465,54	6,16
3	420,47	469,60	6,29
4	433,89	468,99	6,27
5	448,92	483,78	6,75
6	461,81	448,49	5,60
7	493,94	484,43	6,80
8	493,23	488,91	6,88
9	522,94	537,37	8,52
10	509,98	498,09	7,22
11	538,77	511,49	7,67
12	492,80	489,71	6,95
13	537,43	503,05	7,39
14	467,45	478,00	6,57
15	514,71	515,69	7,80
16	508,81	503,56	7,68
17	539,67	509,65	8,52
18	500,99	514,02	7,75
19	506,97	507,65	7,54
20	499,75	557,83	9,15
21	529,85	525,02	8,11
22	505,41	481,59	6,69
23	551,14	500,03	7,29
24	537,12	532,10	8,34
25	514,71	533,56	8,39
26	528,63	540,99	8,64
27	533,58	494,14	7,10
28	554,25	526,36	8,16
29	548,45	517,62	7,87
30	497,34	478,78	6,60
31	517,15	440,33	5,33
<b>Promedio.</b>	<b>504,47</b>	<b>498,22</b>	<b>7,28</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla I. Continuación.  
Agosto.

Día	Promedios Diarios		Insolación (Horas)
	Radiación Solar Global		
	Método Planimétrico (Ly)	Método de Angström (Ly)	
1	560,73	543,25	8,85
2	572,63	566,37	9,58
3	549,67	551,59	9,10
4	514,56	500,69	7,45
5	489,86	474,17	6,58
6	530,68	516,15	7,89
7	485,09	495,97	7,30
8	508,38	501,70	7,48
9	486,81	465,61	6,31
10	487,43	479,84	6,76
11	499,46	476,16	6,65
12	479,64	514,70	7,90
13	475,82	493,83	7,23
14	479,79	503,42	7,54
15	510,96	505,97	7,53
16	489,71	516,80	7,97
17	452,32	488,41	7,07
18	488,99	480,35	6,79
19	478,85	522,28	8,15
20	481,23	479,78	7,59
21	477,66	529,65	8,39
22	512,15	514,21	7,89
23	470,44	476,15	6,65
24	475,42	499,17	8,03
25	492,10	465,15	6,29
26	491,25	515,95	7,95
27	486,01	478,95	6,74
28	482,33	499,98	7,43
29	452,42	502,29	7,50
30	491,87	496,23	7,33
31	441,99	465,12	6,30
<b>Promedio.</b>	<b>493,43</b>	<b>500,64</b>	<b>7,49</b>

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 1. Continuación.  
Septiembre.

Promedios Diarios			
Día	Radiación Solar Global		Insolación (Horas)
	Método Planimétrico (L-y)	Método de Amgström (L-y)	
1	439,01	427,60	5,59
2	452,18	434,83	5,84
3	454,87	446,11	6,25
4	456,14	431,07	5,75
5	465,24	460,78	6,73
6	448,78	443,48	6,24
7	425,21	454,09	6,51
8	481,10	443,04	6,15
9	463,93	453,94	6,51
10	470,26	459,29	6,71
11	433,79	472,54	7,12
12	449,78	444,17	6,19
13	456,65	478,68	7,32
14	417,78	450,72	6,45
15	450,22	408,01	5,05
16	404,82	394,94	4,56
17	377,49	401,76	4,79
18	449,73	447,81	6,31
19	461,04	442,15	6,11
20	436,87	428,04	5,68
21	437,41	431,89	5,78
22	413,02	438,31	5,99
23	427,12	421,48	5,44
24	416,39	437,55	5,99
25	425,52	441,87	6,11
26	424,76	419,15	5,36
27	431,93	441,45	6,10
28	402,91	422,79	5,48
29	404,75	412,64	5,15
30	422,17	456,20	6,58
<b>Promedio.</b>	<b>436.70</b>	<b>438.21</b>	<b>6.00</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 1. Continuación.  
Octubre.

Día	Promedios Diarios		Insolación (Horas)
	Radiación Solar Global		
	Método Planimétrico (Ly)	Método de Angström (Ly)	
1	411,55	406,74	6,38
2	403,11	402,01	6,21
3	396,86	391,79	5,89
4	405,46	394,49	6,04
5	386,64	397,74	6,06
6	392,59	385,20	5,61
7	405,09	361,65	4,78
8	400,65	387,31	5,69
9	375,82	374,75	5,24
10	369,44	374,70	5,24
11	401,02	423,39	6,97
12	399,54	393,06	5,89
13	387,40	399,56	6,12
14	405,24	394,88	5,96
15	426,13	430,50	7,23
16	425,98	422,25	6,93
17	439,46	426,54	7,08
18	438,02	446,22	7,79
19	420,78	431,96	7,28
20	415,06	427,29	7,11
21	398,71	403,92	6,28
22	417,21	440,57	7,58
23	405,32	435,04	7,39
24	400,54	458,55	8,22
25	431,36	463,67	8,40
26	424,97	447,42	7,83
27	375,26	399,68	6,12
28	392,44	458,09	8,21
29	414,42	446,84	7,81
30	452,56	480,89	9,02
31	428,11	464,49	8,43
<b>Promedio.</b>	<b>407,96</b>	<b>418,43</b>	<b>6,80</b>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 1. Continuación.  
 Noviembre.

Día	Promedios Diarios		Insolación (Horas)
	Radiación Solar Global		
	Método Planimétrico (Lx)	Método de Angström (Lx)	
1	435,50	433,16	9,07
2	405,23	399,70	7,77
3	400,03	388,12	7,32
4	387,15	387,36	7,39
5	401,69	392,77	7,55
6	407,47	397,48	7,47
7	353,70	415,46	8,39
8	355,14	380,39	7,03
9	400,36	427,18	8,84
10	404,92	403,61	7,92
11	412,44	400,40	7,80
12	398,08	395,40	7,61
13	412,87	399,80	7,78
14	396,25	410,66	8,20
15	375,42	389,26	7,37
16	375,68	368,66	6,78
17	397,56	428,04	8,87
18	436,65	436,36	9,20
19	420,18	439,86	9,33
20	403,83	402,30	7,88
21	374,75	395,18	7,60
22	416,39	429,10	8,92
23	420,02	412,17	8,26
24	422,17	415,34	8,38
25	412,87	410,05	8,17
26	383,02	399,50	7,86
27	389,39	423,31	8,16
28	370,80	404,21	7,95
29	407,47	413,29	8,30
30	379,06	411,96	8,26
<b>Promedio</b>	<b>398,54</b>	<b>407,00</b>	<b>8,05</b>

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 1. Continuación.  
Diciembre.

Día	Promedios Diarios		Insolación (Horas)
	Radiación Solar Global		
	Método Planimétrico (Ly)	Método de Angström (Ly)	
1	423,97	401,53	8,80
2	408,79	406,33	9,00
3	413,17	391,08	8,38
4	386,16	362,37	7,21
5	389,69	382,43	8,03
6	401,43	403,14	8,87
7	391,37	376,53	7,82
8	376,28	378,74	7,79
9	418,35	414,45	9,33
10	424,76	407,31	9,04
11	411,49	410,04	9,15
12	411,49	425,81	9,79
13	411,19	400,66	8,77
14	377,34	382,23	8,02
15	386,95	394,04	8,50
16	376,73	381,77	8,00
17	387,25	371,35	7,57
18	347,84	346,80	6,57
19	388,47	365,76	7,35
20	359,07	360,02	7,11
21	397,39	404,58	8,88
22	413,16	409,64	9,14
23	358,58	419,03	9,52
24	350,81	416,18	9,40
25	365,35	420,21	9,57
26	348,34	359,98	7,11
27	384,87	417,90	9,47
28	383,43	361,06	7,15
29	407,39	435,52	10,19
30	361,55	365,13	7,32
31	360,06	415,86	9,37
<b>Promedio.</b>	<b>387,83</b>	<b>393,14</b>	<b>8,46</b>

TESIS CON  
 FOLIA DE ORIGEN

Tabla 2. Radiación Solar Global e Insolación. Datos Promedio Mensual (1987-2002).  
Estación Almaraz. Cuautitlán Izcalli, UNAM.

Mes	Promedio Mensual		Insolación (Horas)
	Radiación Solar Global		
	Método Planimétrico (Ly)	Método de Amgatröm (Ly)	
E	406,43	409,36	8,54
F	472,76	460,69	9,04
M	529,23	515,31	9,20
A	522,84	533,30	8,71
M	534,45	552,68	9,01
J	503,09	512,99	7,72
J	504,47	498,22	7,28
A	493,43	500,64	7,49
S	436,70	438,21	6,00
O	407,96	418,43	6,80
N	398,54	407,00	8,05
D	387,83	393,14	8,46

Tabla 3. Distribución de la Radiación Solar a través del año. Método Planimétrico (1987-2002).  
Estación Almaraz. Cuautitlán Izcalli, UNAM.

Distribución de la Radiación Solar a través del año (Método Planimétrico)		
Langley	Días	%
347.84-372.69	12	3.28
372.70-397.55	36	9.84
397.56-422.41	68	18.58
422.42-447.27	36	9.84
447.28-472.13	30	8.20
472.14-497.99	55	15.03
497.00-521.85	54	14.75
521.86-546.71	35	9.56
546.72-571.57	27	7.38
571.58-586.43	13	3.55
Σ	366	100

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 4. Distribución de la Radiación Solar a través del año. Método de Amgström (1987-2002). Estación Almaraz. Cuautitlán Izcalli, UNAM.

<b>Distribución de la Radiación Solar a través del año (Método de Amgström)</b>		
<b>Langley</b>	<b>Días</b>	<b>%</b>
346.84-371.62	12	3.28
371.63-396.21	33	9.02
396.22-420.90	52	14.21
420.91-445.59	49	13.39
445.60-470.28	37	10.11
470.29-494.97	40	10.93
494.98-519.66	57	15.57
519.67-544.35	47	12.84
544.36-569.04	26	7.10
569.05-593.73	13	3.55
$\Sigma$	366	100

Tabla 5. Distribución de las Horas de Insolación a través del año (1987-2002). Estación Almaraz. Cuautitlán Izcalli, UNAM.

<b>Distribución de las Horas de Insolación a través del año</b>		
<b>Horas</b>	<b>Días</b>	<b>%</b>
4.56-5.14	5	1.37
5.15-5.73	14	3.83
5.74-6.32	30	8.20
6.33-6.91	25	6.83
6.92-7.50	45	12.30
7.51-8.09	60	16.39
8.10-8.68	64	17.49
8.69-9.27	54	14.57
9.28-9.86	45	12.30
9.87-10.45	24	6.56
$\Sigma$	366	100

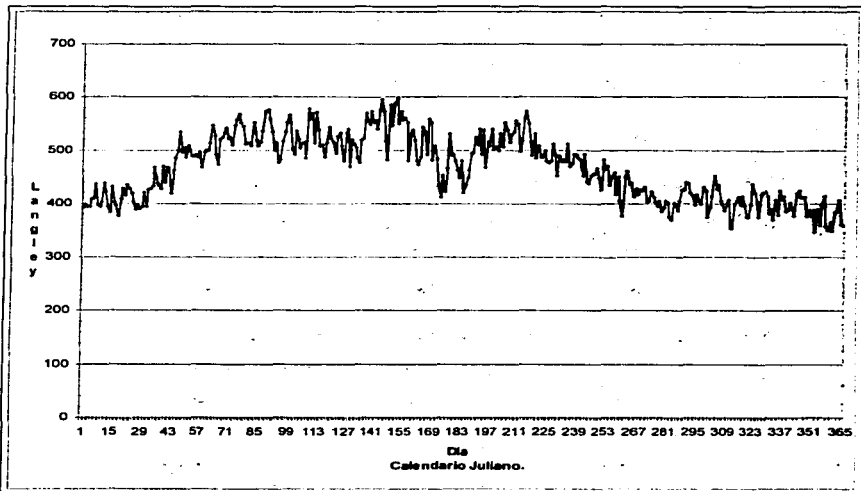
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

En la Gráfica 1 –Radiación Solar Global (Promedio Diario), Método Planimétrico– se observa que los valores oscilan entre los 347.84 (18 de Diciembre) y los 596.40 Langley (31 de Mayo). En términos generales los valores de radiación obtenidos por este método tienen el siguiente comportamiento:

Para el mes de Enero los valores registrados se encuentran entre los 377.65 y los 438.02 Ly, son valores bajos en comparación con los alcanzados en los meses siguientes. En el mes de Febrero estos



valores tienden a aumentar paulatinamente, hasta alcanzar los valores máximos del año durante la segunda quincena de Mayo y la primera de Junio, debido a la inclinación de los rayos solares, la cual es más cercana a la perpendicularidad. Entre los meses de Febrero y Mayo los valores oscilan entre los 418.53 y los 596.40 Ly.



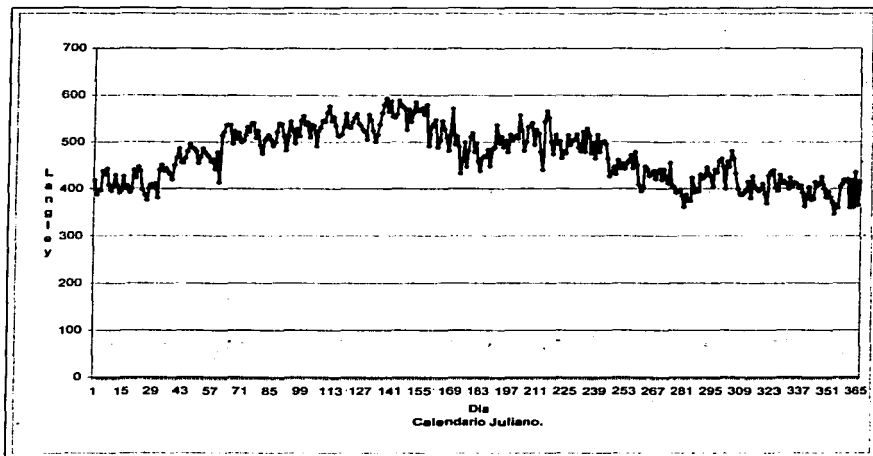
Gráfica 1: Radiación Solar Global (Promedio Diario). Método Planimétrico, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.

Durante los meses de Junio a Septiembre la radiación se comporta de la siguiente manera: en la primer quincena de Junio es alta, tendiendo a disminuir durante la segunda quincena del mismo mes y la primera de Julio, incrementándose los últimos días de Julio y los primeros de Agosto, disminuyendo el resto de este periodo; entre estos meses los valores oscilan entre los 377.49 y los 572.80 Ly. Este comportamiento es consecuencia del verano lluvioso de la zona de estudio, debido a que la presencia de nubes trae consigo una reducción de la radiación que llega a la Tierra, a causa de la interacción de la radiación con la atmósfera, particularmente por fenómenos como la absorción, difusión y reflexión de las partículas suspendidas en la atmósfera.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Durante el periodo comprendido entre los meses de Octubre a Diciembre los valores obtenidos son menores que en los otros meses, oscilan entre los 347.84 y 452.56 Ly, ya que los rayos solares se alejan de la perpendicularidad.

En la Gráfica 2 –Radiación Solar Global (Promedio Diario), Método de Amgström– el valor mínimo corresponde al 18 de Diciembre con 346.80 Ly, y el máximo al 12 de Mayo con 593.67 Ly. En el mes de Enero estos valores están entre los 375.87 y los 447.07 Ly, son valores bajos debido a que los rayos solares llegan a la superficie de la Tierra con una mayor inclinación.



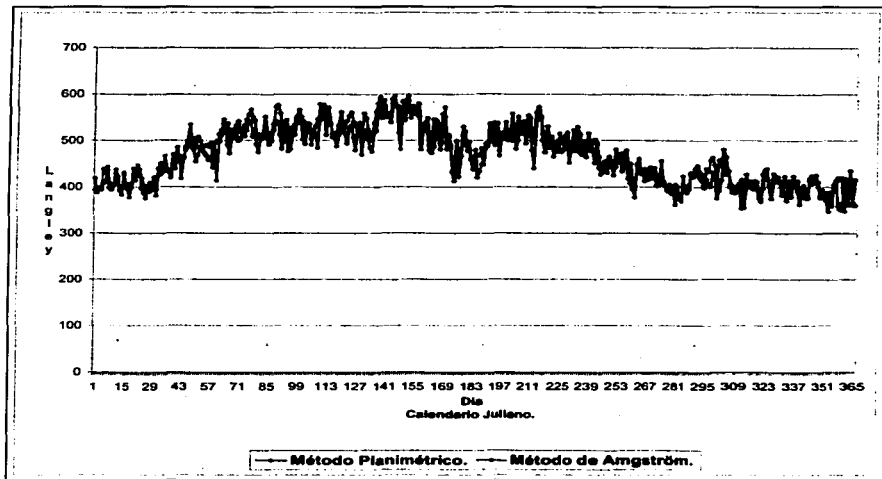
Gráfica 2: Radiación Solar Global (Promedio Diario). Método de Amgström, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM

Esta situación tiende a cambiar entre los meses de Febrero y Mayo, donde los valores obtenidos oscilan entre los 431.78 y 593.67 Ly, ya que la inclinación de los rayos solares comienza a ser ma+2ts perpendicular resultando en una mayor radiación para la segunda quincena de Mayo y los primeros días de Junio.

Posteriormente tiende a disminuir, de los meses de Junio a Septiembre, donde los valores se encuentran entre los 394.94 y 580.04 Ly, a causa de la presencia de mayor nubosidad, propia de la época de lluvias de la zona de estudio.

Por ultimo, durante el periodo de Octubre a Diciembre, los valores obtenidos oscilan entre los 346.80 y los 480.89 Ly, son menores que en los demás periodos, debido a que los rayos solares se alejan de la perpendicularidad formando ángulos menores y mayores áreas iluminadas.

Intercalando las Gráficas anteriores, 1 y 2, se obtuvo la Gráfica 3, en la cual se nota cierta similitud del comportamiento a lo largo del año. Ambas gráficas presentan tendencias constantes, aunque no regulares, adoptando comportamientos similares en los mismos momentos del año.



Gráfica 3: Radiación Solar Global (Promedio Diario). Método Planimétrico y de Amgström, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.

Esta semejanza se observa de los meses de Octubre a Enero, donde los valores son menores, comparados con los otros meses; posteriormente, ambos métodos reportan un incremento para el mes

de Febrero alcanzando valores máximos los últimos días de Mayo y los primeros de Junio, y que disminuyen en los meses siguientes como consecuencia de la nubosidad característica del periodo de lluvias.

En muchos problemas existe una relación inherente entre dos o más variables, y resulta necesario explorar la naturaleza de esta relación, en este caso la similitud en el comportamiento de ambos métodos resulta muy interesante, por lo que se realizó una regresión lineal simple para determinar la relación que tienen unos valores con otros.

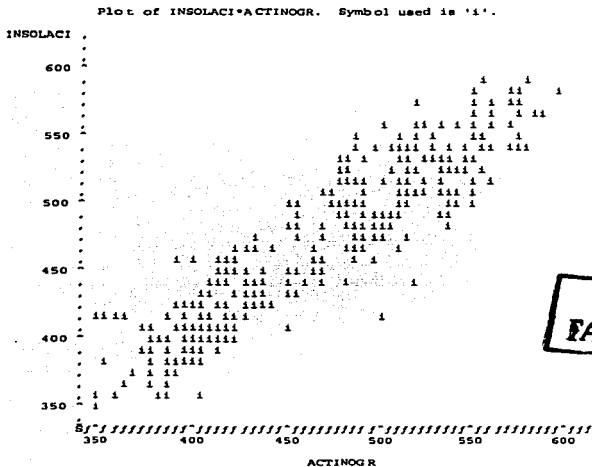
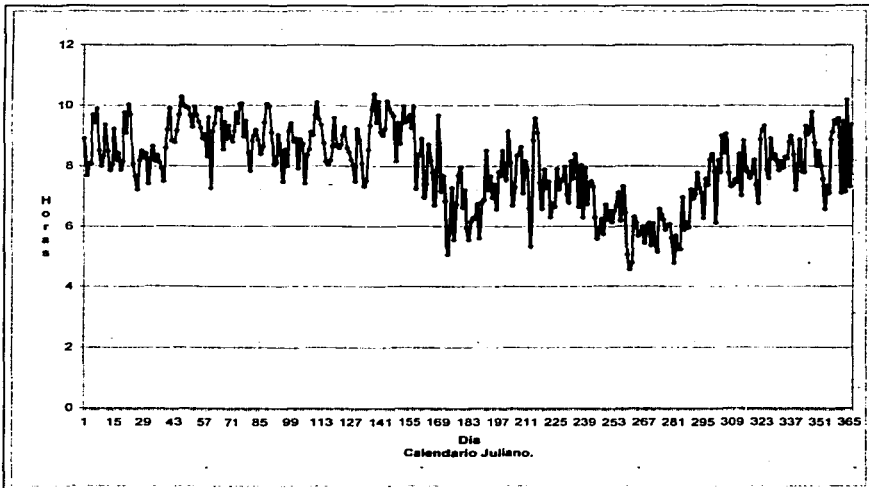


Diagrama 1. Diagrama de Dispersión de Insolación contra Actinógrafo (Promedio Diario).

En primer lugar se obtuvo el Diagrama de Dispersión, ver diagrama 1, este es una gráfica en la que cada par esta representado con un punto en un sistema de coordenadas bidimensional, el análisis de este indica que, si bien la curva no pasa exactamente por todos los puntos, existe una evidencia fuerte de que los puntos están dispersos de una manera aleatoria alrededor de una línea recta por consiguiente es razonable suponer que la media de Insolación esta relacionada con la del Actinógrafo, que son las dos variables evaluadas. Por lo que a partir de este diagrama se puede concluir que ambas series de

datos se encuentran relacionadas entre si; con los resultados de la regresión se puede confirmar dicha relación, los resultados se presentan en el Anexo 7.4.1, que muestra una  $r^2=0.84$ , indicando una correspondencia entre ambas columnas de datos del 84%.

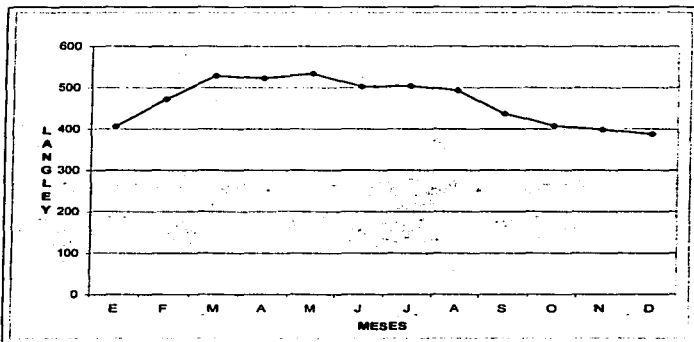
En la Gráfica 4, Insolación (Promedio Diario), se observa que los valores van desde las 4.56 (16 de Septiembre) hasta las 10.39 horas de insolación (12 de Mayo). El comportamiento anual es el siguiente: para el mes de Enero los datos son variables oscilando entre las 7.22 y las 10.04 horas; incrementándose en Febrero, alcanzando los valores máximos la segunda quincena de Mayo y los primeros días de Junio, ubicándose, de Febrero a Mayo, entre las 7.28 y las 10.39 horas de insolación; luego tienden a disminuir después de los primeros días de Junio a Septiembre, los valores entre estos meses van desde las 4.56 hasta las 9.95 horas, debido a la nubosidad de esta época del año, alcanzando los valores mínimos a mediados del mes de Septiembre; para incrementarse paulatinamente de Octubre a Diciembre, pero en general estos valores son bajos, en este rango de meses los valores se encuentran entre las 4.78 y 9.78 horas de insolación.



Gráfica 4: Insolación (Promedio Diario), 1987-2002.  
Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.

En los meses de Mayo y Junio se registran los valores de insolación más altos, sin embargo, este comportamiento comienza desde Febrero, donde las horas de Insolación tienden a incrementarse paulatinamente hasta llegar a su nivel máximo en los meses anteriormente mencionados. Este comportamiento es consecuencia de la baja presencia de nubes que durante estos meses se tiene y debido a esto la Insolación tiene una mayor duración, no obstante que la duración del día sea menor con respecto a la época del verano. En esta última, a pesar de observarse una mayor duración del día, la nubosidad disminuye el paso de la luz solar, disminuyendo las horas de Insolación, sobre todo en el mes de Septiembre.

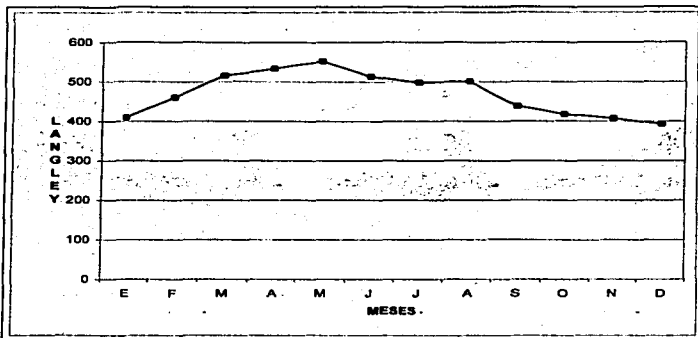
En la Gráfica 5 se observa que en Enero el promedio es de 402.43 Ly, y tiende a incrementarse en los meses siguientes, alcanzando en Mayo el valor máximo (534.45 Ly), para disminuir paulatinamente en los meses subsecuentes, hasta alcanzar el valor mínimo de 387.83 Ly para el mes de Diciembre.



Gráfica 5: Radiación Solar Global (Promedio Mensual). Método Planimétrico, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.

En la Gráfica 6 se nota que para el mes de Enero se reporta un valor de 409.36 Ly, en Febrero tiende a aumentar llegando en Mayo a 552.68 Ly, que es el valor máximo de todo el año, y comienza a disminuir en los meses siguientes hasta alcanzar los 393.14 Ly en el mes de Diciembre.

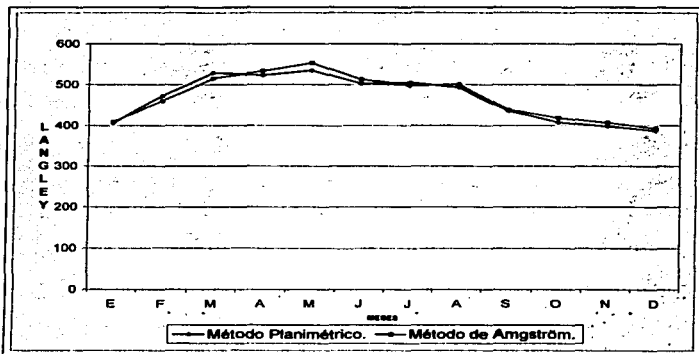
**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



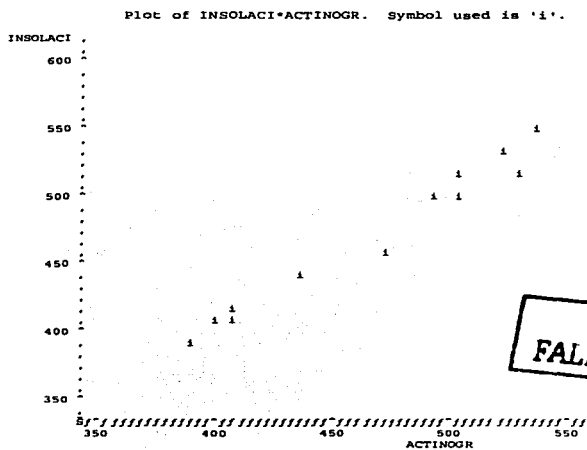
Gráfica 6: Radiación Solar Global (Promedio Mensual). Método de Amgström, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.

En la Gráfica 7 –Radiación Solar Global (Promedio Mensual), Método Planimétrico y de Amgström– se puede observar con mayor claridad la gran similitud que presentan en su comportamiento las gráficas anteriores. En ambos métodos en el mes de Enero los datos registrados apenas superan los 400 Ly, incrementándose paulatinamente en los siguientes meses, registrando en la primavera los valores más altos del año, particularmente en el mes de Mayo que alcanza el nivel más alto, posteriormente, a consecuencia del verano, disminuye paulatinamente hasta llegar a su nivel más bajo en Diciembre, por debajo de los 400 Ly.

Se hizo una regresión lineal, primero se obtuvo el Diagrama de Dispersión (Diagrama 2) que muestra en forma gráfica la relación entre dos variables, en este caso los valores promedio mensual obtenidos tanto por el Método Planimétrico como por el de Amgström, como se puede observar se tiene una correlación positiva entre ambas variables, dado que los puntos se concentran en forma diagonal de izquierda a derecha alrededor de una línea recta. Por lo que a partir de este diagrama se puede concluir que ambas series de datos se encuentran relacionadas entre sí; con los resultados de la regresión se puede confirmar dicha relación, estos resultados se presentan en el Anexo 7.4.2, que muestra una  $r^2=0.96$ , indicando una correspondencia entre ambas columnas de datos del 96%.



Gráfica 7: Radiación Solar Global (Promedio Mensual). Método Planimétrico y de Amgström, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.

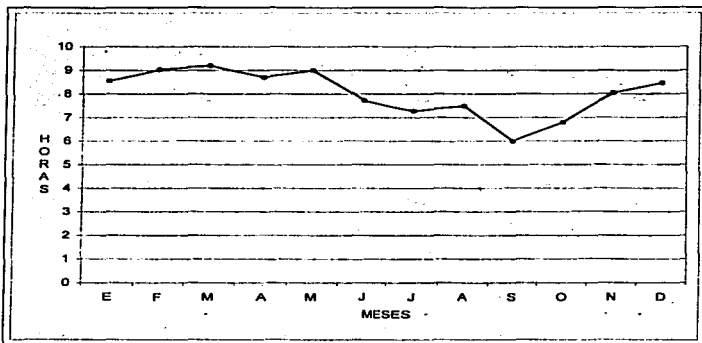


**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Diagrama 2: Diagrama de Dispersión de Insolación contra Actinógrafo (Promedio Mensual).



En la Gráfica 8, Insolación (Promedio Mensual), se muestra que la insolación es alta para los meses de Noviembre a Mayo, entre 8.05 y 9.20 horas; disminuyendo de Junio a Octubre, alcanzando un valor mínimo de 6.00 horas en Septiembre, este decremento es a consecuencia de la nubosidad característica del periodo de lluvias en verano.



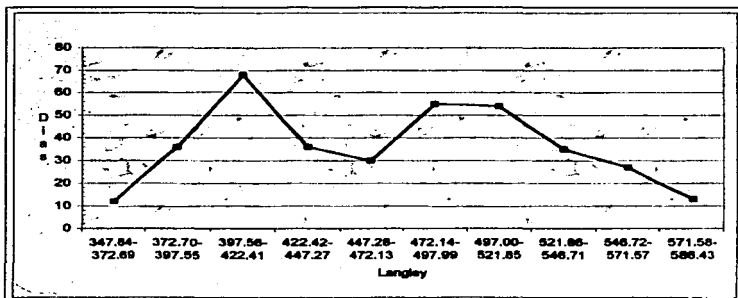
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Gráfica 8: Insolación (Promedio Mensual), 1987-2002.  
Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli, UNAM.

En las Gráficas 9 y 10 se observa la distribución en días y la distribución porcentual, respectivamente, de los valores de Radiación Solar Global (Promedio Diario) obtenidos por el Método Planimétrico.

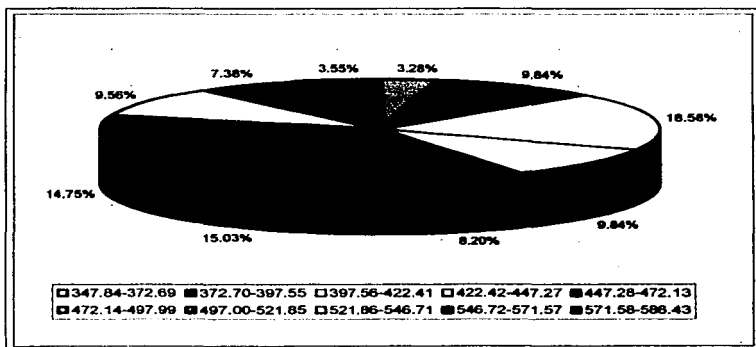
El rango que posee una mayor frecuencia esta entre los 397.56 y los 422.41 Ly, con 68 días (18.58%), observando la Gráfica 1, se puede constatar que estos días se ubican entre los meses de Octubre a Enero.

En segundo termino, con 15.03% (55 días) se encuentra el rango cuyos valores oscilan entre los 472.14 y los 497.99 Ly, estos valores se presentan durante los meses de Marzo, Mayo y Agosto. Continuando, en importancia se puede observar que en 54 días (14.75%), se presentaron valores de radiación solar que oscilaron entre los 497.00 y los 546.71 Ly, estos días se presentaron principalmente entre los meses de Marzo a Mayo.



TESIS CON  
DE ORIGEN

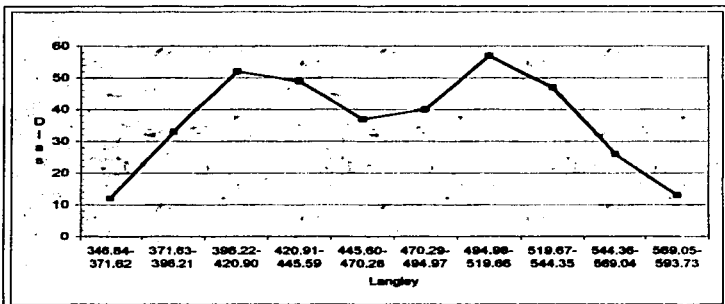
Gráfica 9: Distribución de la Radiación Solar Global a través del año. Método Planimétrico, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.



Gráfica 10: Distribución Porcentual de la Radiación Solar Global a través del año. Método Planimétrico, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.

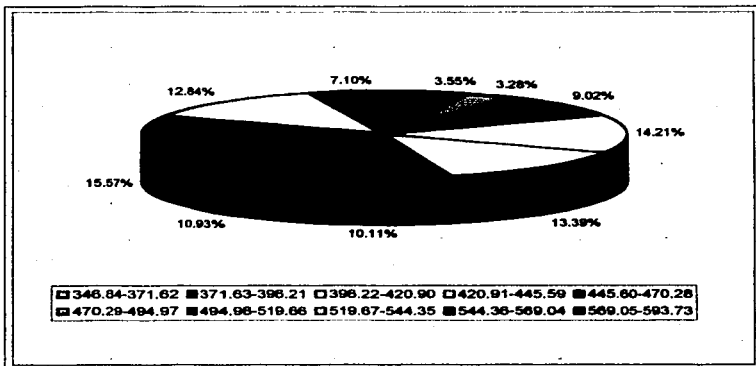
Por último, los rangos ubicados en los extremos tienen una frecuencia baja 12 (3.28%) y 13 (3.55%), días correspondientes a Diciembre y a la segunda quincena de Mayo y primera de Junio, respectivamente.

En las Gráficas 11 y 12, se puede observar que los valores de radiación solar global reportados por el Método de Amgström más frecuentes en la zona de estudio corresponden a aquellos ubicados entre los 494.98 y los 519.66 Ly, ya que se presentan en 57 de los 366 días del año (15.57%), ver Gráfica 12, observando la Gráfica 2 se nota que abarcan el periodo de Marzo a Agosto.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Gráfica 11: Distribución de la Radiación Solar Global a través del año. Método de Amgström, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.

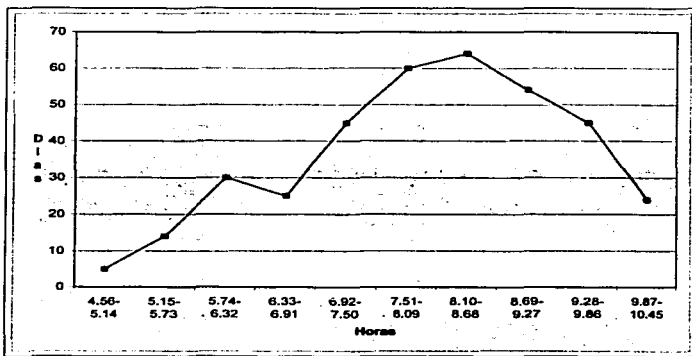


Gráfica 12: Distribución Porcentual de la Radiación Solar Global a través del año. Método de Amgström, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.

En segundo lugar se observa que los valores ubicados entre 396.22 y 420.90 Ly se presentan en 52 ocasiones (14.21%), entre los meses de Octubre a Enero. Los siguientes en importancia se encuentran entre los 420.91 y 470.28 Ly, con una frecuencia de 49 días (13.39%), estos se distribuyen a lo largo del periodo de Septiembre a Febrero.

Por lo que se refiere a las frecuencias más bajas estas se presentan en los rangos extremos, tanto en el que va de 346.84 a los 371.62 Ly, con 3.28%, correspondiendo a 12 días de los últimos 3 meses del año, y en el que abarca de 569.05 a 593.73 Ly con 13 días (3.55%) correspondiendo a los meses de Mayo y Junio.

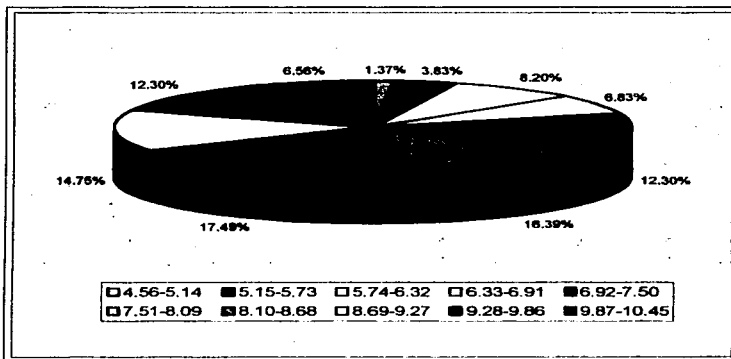
La Gráfica 13, a diferencia de las Gráficas 9 y 11, presenta un sesgo hacia la derecha, durante el año se presentan 64 días, 17.49% (Gráfica 14), los cuales presentan valores que oscilan entre las 8.10 y las 8.68 horas luz, siendo el porcentaje más alto del año; en segundo termino se encuentran aquellos días cuya duración de horas luz se encuentran entre las 7.51 y las 8.09 horas, con una frecuencia de 60 días (16.39%); el tercer lugar, con 14.75% (54 días), corresponde al rango que va de las 8.69 a las 9.27 horas luz, los días cuyos valores de horas luz pertenecen a esta clase se distribuyen a lo largo del periodo de Noviembre a Mayo.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Gráfica 13: Distribución de las Horas de Insolación a través del año, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.

La frecuencia más baja pertenece al rango que abarca de las 4.56 a las 5.14 horas, con el 1.37%, estos valores se presentan durante el mes de Septiembre; asimismo, se presentan 14 días, cuyos valores varían entre las 5.15 y las 5.73 horas luz, entre los meses de Julio, Septiembre y Octubre.



TESIS CON  
FECHA DE ORIGEN

Gráfica 14. Distribución Porcentual de las Horas de Insolación a través del año, 1987-2002. Estación Almaraz, Cuautitlán Izcalli. UNAM.

El estudio de la Radiación Solar en la agricultura es de gran utilidad debido a su influencia en el crecimiento vegetativo y reproductivo de las plantas cultivadas, suministra la energía que estas requieren en sus funciones vitales.

Si no hay elementos que limiten el desarrollo de las plantas existe una alta correlación entre la radiación y el rendimiento del cultivo, por lo que esta relación puede ser útil en la solución de problemas tales como: selección de especies y variedades, fechas de siembra, densidades de población, orientación de siembras o plantaciones, aclareos, podas, etc.

Asimismo, muchas especies vegetales necesitan disponer no solo de la calidad sino también de la cantidad de Radiación Solar adecuada. Por ejemplo, si la radiación solar es insuficiente por haber estado el año muy nublado el tejido de las plantas no obtiene la diferenciación adecuada, la planta sigue vegetando, además si en el año se presentan muchos vientos la evaporación se incrementa empobreciéndose la cosecha. Las necesidades de luz solar varían de una especie a otra, siendo mayores

las exigencias de luz durante la etapa de floración y fructificación. Se utiliza luz artificial para suplementar y complementar la radiación natural, controlando así la época de floración y aumentar el rendimiento.

Así también, el estudio de la Radiación Solar permite el desarrollo de infraestructura que aproveche la energía solar de una forma más eficiente. Las aplicaciones agrícolas son muy amplias, con invernaderos solares pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secadores agrícolas consumen menos energía si se combinan con un sistema solar, y, por citar otro ejemplo, pueden funcionar plantas de purificación o desalinización de agua sin consumir ningún tipo de combustible.

Las "células solares" pueden ser una solución definitiva al problema de electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan inalterables al paso del tiempo, no contaminan, ni producen ningún ruido, además, y con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes. La electricidad que se obtiene de esta manera puede usarse de manera directa (para el bombeo de agua, mediante un motor eléctrico), o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas. Incluso es posible inyectar la electricidad sobrante a la red general, obteniendo un importante beneficio.

Como se puede observar los resultados obtenidos cumplen los objetivos planteados, se ha generado información valiosa para la zona de estudio que puede tener diversas aplicaciones con el aprovechamiento de los datos aquí presentados.

## **V. Conclusiones y Recomendaciones.**

- La Radiación Solar Global varía a lo largo del año, siguiendo el siguiente comportamiento: en Enero tiende a ser baja, ya que los rayos solares se alejan de la perpendicularidad, del mes de Febrero en adelante tiene un incremento hasta alcanzar su valor máximo en Mayo, disminuyendo paulatinamente de Junio a Septiembre, particularmente más en el mes de Julio a causa de la nubosidad, y en los últimos tres meses del año tiende a entrar en un rango menor, llegando a su nivel más bajo en Diciembre, debido a la baja elevación del Sol.
- Las Horas de Insolación también oscilan a lo largo del año, en los primeros 5 meses del año alcanzan los valores más altos, donde la nubosidad es escasa, por encima de las 10 horas, particularmente entre los meses de Febrero y Mayo, siendo este último donde se alcanza el valor máximo; posteriormente tiende a disminuir en el verano por la época de lluvias, llegando a su nivel más bajo en Septiembre, y durante los últimos meses de año se incrementa un poco, pero dentro de un rango menor que en los demás periodos.
- De acuerdo con los resultados de la regresión lineal, 84% para los valores promedio diarios y 96% para los valores promedio mensuales, los datos obtenidos en el Actinógrafo y evaluados por el Método Planimétrico validan al Método de Amgström, por lo que el Heliógrafo es una alternativa para medir la Radiación Solar Global, en aquellos lugares donde se carece del instrumental apropiado para la obtención de esta.
- El heliógrafo representa una alternativa para la medición de la Radiación Solar Global, por lo que se recomienda se continúe con su uso en la obtención de esta.
- Los resultados obtenidos pueden tener diversas aplicaciones con relación a los cultivos, las que pueden ir desde las relacionadas con actividades operativas, tales como: la programación de fechas de siembra y/o trasplantes, al manejo de ambientes controlados en invernaderos; actividades de planeación ó aplicaciones en la investigación agropecuaria.

- **El estudio del comportamiento de la radiación solar hace necesario profundizar en el estudio de la misma a diferentes niveles, tales como su efecto en el rendimiento de las plantas, su aprovechamiento en la infraestructura agropecuaria: sus aplicaciones en la agricultura, así como sus implicaciones.**
- **A fin de que se pueda hacer frente a una gran variedad de problemas relacionados con la producción de alimentos, y siendo esta una práctica dependiente del tiempo atmosférico, es necesario que la Meteorología Agrícola sea utilizada como una herramienta tecnológica.**



## **VI. Bibliografía.**

Aboitiz R.C.M. 2000. [www.pepsline.com/tema/sol.htm](http://www.pepsline.com/tema/sol.htm)

Aguilar G.J., Vittoreli C. Molina M.J. 1989 Desinfeste del sustrato y siembra por método de solarización. Lima, Perú. Convenio INIAA-COTESU-CIP. Centro Internacional de la Papa.

Arenas M.A. 1996. Calculo de la radiación solar global con datos de un actinógrafo por el método planimétrico y su importancia en la agricultura. Tesis Licenciatura. FES Cuautitlán UNAM.

Arteaga R.R. 1983. Meteorología Agrícola. Editorial Chapingo. Chapingo, México.

Castro Z.R., Arteaga R.R.1993. Introducción a la Meteorología. Editorial Chapingo. Chapingo, México.

Cebolla V., Martínez P.F., Del Busta A., De Barreda D.G. 1992. La horticultura Española en la CEE. Ediciones de Horticultura S.L. Tarragona, España.

CEIT. 2003. Energía Solar. [www.ceit.es/asignaturas/ecologia/trabajos/energias/introd.htm](http://www.ceit.es/asignaturas/ecologia/trabajos/energias/introd.htm)

CG 1bfrl. 2003. [www//CG1bfrl.nist.gov/863/bipv/pyrgeom/jpg](http://www//CG1bfrl.nist.gov/863/bipv/pyrgeom/jpg)

Construir. 2003. [www.construir.com/.../Nro66/aplicaciones\\_arq/aplicaci.htm](http://www.construir.com/.../Nro66/aplicaciones_arq/aplicaci.htm)

Comunc. 2003. [www.comunc.regio-calabria.it/intranet/Retc/Ambiente/Osservator/ProfSto.html](http://www.comunc.regio-calabria.it/intranet/Retc/Ambiente/Osservator/ProfSto.html)

Córdoba C.V., Lagaz G. Ma. 2000. Fisiología Vegetal Ambiental. Editorial Síntesis. Madrid, España.

Cuerda. 1987. Biblioteca practica, agrícola y ganadera. Los fundamentos de la agricultura. Editorial Océano. España.

De Fina L.A./Ravelo 1979. Climatología y Fenología Agrícolas. Editorial Universitaria de Buenos Aires, Argentina.

Difusión lectura. 2003. Difusión lectura.ilcc.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/32/imgs/fl14p48/gif

Enciclopedia Agropecuaria Terranova. Tomo II. 1995. Editorial Panamericana Formas e Impresos. Sta. Fe de Bogota, Colombia.

En el green power. 2003. [www.enelgreenpower.enel.it/it/energia/fotovaltico/risorsa\\_naturale.html](http://www.enelgreenpower.enel.it/it/energia/fotovaltico/risorsa_naturale.html)

Estrada C.V. 1985. Comparación de modelos para estimar la radiación solar. Editorial UNAM. México, D.F.

Extracrew. 2003. [www.extracrew.com/03formacion/graficos\\_formacion/geografia05.gif](http://www.extracrew.com/03formacion/graficos_formacion/geografia05.gif)

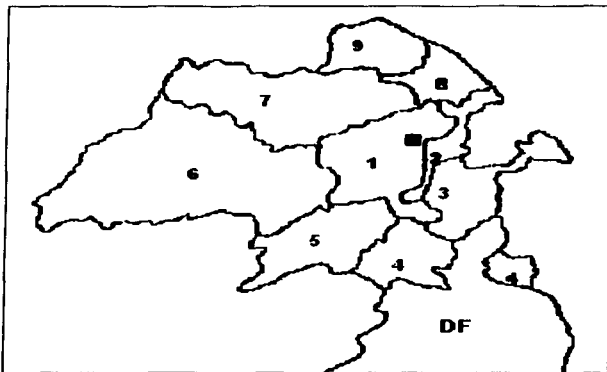
Eucrcin. 2003. [www.eucrcin.es/ranges/sun/img/hauteindringtiegen.jpg](http://www.eucrcin.es/ranges/sun/img/hauteindringtiegen.jpg)

- Flores F.F. 1998. Caracterización Agroclimática de la zona de influencia de la Estación Meteorológica Almaraz, en Cuautitlán Izcalli, México. Tesis Licenciatura. FES Cuautitlán. UNAM.
- Fuentes y Yagüe J.L. 1996. Iniciación a la Meteorología Agrícola. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Editorial Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Gomez M.S.B./ Artega R.R. 1987. Elementos básicos para el manejo instrumental meteorológico. Editorial CECSA. México D.F.
- Infoagro. 2003. Energía Solar. [www.infoagro.com/riegos/energia\\_solar.asp](http://www.infoagro.com/riegos/energia_solar.asp)
- Infojardin. 2003. [www.infojardin.com/plagas](http://www.infojardin.com/plagas)
- INM. 2003. [www.inm.ac.cr/educa/cam-clim2\\_archivos/image004.jpg](http://www.inm.ac.cr/educa/cam-clim2_archivos/image004.jpg)
- Labsolar. 2003. [www.labsolar.utfsm.cl/gal-act.asp](http://www.labsolar.utfsm.cl/gal-act.asp)
- Ledesma J.M. 2000. Climatología y Meteorología Agrícola. Editorial Paraninfo. Madrid, España.
- Leyva C.A. 1990. Instructivo para el manejo de los piranógrafos del tipo Robitsch y la evaluación de la radiación solar global medida con ellos. Editorial UNAM. México D.F.
- Lira S.R.H. 1994. Fisiología Vegetal. Editorial Trillas. México D.F.
- Ortiz S.S. 1987. Elementos de Agrometeorología Cuantitativa con aplicaciones en la república mexicana. Editorial UACH. Chapingo, México.
- López C.C.E. 1990. Física de la energía solar. Editorial UACH. México.
- Malato R.S., Blanco G.J. Milow B., Richter C., Maldonado R.M.I. 2002. Tratamiento de plaguicidas de la agricultura intensiva almeriense mediante la tecnología de detoxificación solar. [www.ambienteecologico.com/ediciones/2002/085\\_09.2002/0.85\\_Investigación\\_SixtoMalatoRodrigues.php3](http://www.ambienteecologico.com/ediciones/2002/085_09.2002/0.85_Investigación_SixtoMalatoRodrigues.php3)
- Manrique J.A. 1984. Energía Solar: Fundamentos y aplicaciones fototérmicas. Editorial Harla. México D.F.
- Monroy M. 2003. Soleamiento e Irradiación. [www.editorial.cda.ulpgc.../solcamie.htm](http://www.editorial.cda.ulpgc.../solcamie.htm)
- Pinedo V.J.L. 1998. Radiación Solar Difusa. [www.jornada.unam.mx/1998/abr98/980413/cien-pinedo.html](http://www.jornada.unam.mx/1998/abr98/980413/cien-pinedo.html)
- Productores de Hortalizas. 2001. La alternativa de la solarización. Enero, Año 10, Numero 1.
- Ortiz S.A. 1987. Elementos de agrometeorología cuantitativa con aplicaciones en la república mexicana. Editorial UACH. México.
- Ramírez V.J. 1996. La solarización del suelo: un método sencillo para controlar patógenos y malas hierbas. Culiacán Rosales, Sinaloa, México. Departamento de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

- Rodríguez H., Gonzáles F. 1992 Manual de Radiación Solar en Colombia. Sta. Fe de Bogota, Colombia.
- Román R. 2000. La radiación solar. [www.cipres.ccc.uchile.cl/-acarpio/taller1](http://www.cipres.ccc.uchile.cl/-acarpio/taller1)
- Romo G.J.R. 1989. Instrumental meteorológico. Editorial UACH. México.
- Serrano P. 2001. [www.fundaciónpobreza.cl/redes/Medio\\_Ambiente/tema4/4.htm](http://www.fundaciónpobreza.cl/redes/Medio_Ambiente/tema4/4.htm)
- SIMA. 2001. [www.sima.com.mx/radiacio.asp](http://www.sima.com.mx/radiacio.asp)
- Solardat. 2003. [www.solardat.uoregon.edu/Assets/PhoEppleyNIP.jpg](http://www.solardat.uoregon.edu/Assets/PhoEppleyNIP.jpg)
- Theles. 2003. [www.theles.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0151-01/capitulos/rayos.jpg](http://www.theles.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0151-01/capitulos/rayos.jpg)
- Torres M.G. 2001. La solarización una alternativa para la desinfección de suelos agrícolas, aprovechando la energía solar. Tesis Licenciatura. FES Cuautitlán UNAM.
- Torres R.E. Agrometeorología. 1995. Editorial Trillas. México D.F.
- Weier E.T., Stocking R.C., Barbon G.H. 1980. Botánica. Editorial Limusa. México D.F.

## VII. Anexos.

### 7.1 Ubicación de la Estación Almaraz, en el Municipio de Cuautitlán Izcalli, Edo. de México.



- Estación Almaraz, UNAM.

1. Cuautitlán Izcalli.
2. Cuautitlán.
3. Tultitlán.
4. Tlalnepantla.
5. Atizapán de Zaragoza.
6. Nicolás Romero.
7. Tepotzotlán.
8. Teoloyucán.
9. Coyotepec.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**7.2 Duración Astronómica de la Insolación (N) Promedio Mensual, en horas y décimas.**

Lat. N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
40°	9.6	10.7	11.9	13.3	14.4	15.0	14.7	13.7	12.5	11.2	10.0	9.8
35°	10.1	11.0	11.9	13.1	14.0	14.5	14.3	13.5	12.4	11.3	10.3	9.8
33°	10.2	11.0	11.9	13.0	13.8	14.3	14.1	13.4	12.4	11.4	10.4	10.0
32°	10.2	11.1	12.0	13.0	13.8	14.2	14.1	13.3	12.4	11.4	10.5	10.0
31°	10.3	11.1	12.0	12.9	13.7	14.1	14.0	13.3	12.4	11.5	10.5	10.1
30°	10.4	11.1	12.0	12.9	13.6	14.0	13.9	13.2	12.4	11.5	10.6	10.2
29°	10.5	11.1	12.0	12.9	13.5	13.9	13.8	13.2	12.4	11.5	10.7	10.3
28°	10.5	11.2	12.0	12.8	13.5	13.9	13.7	13.1	12.4	11.5	10.7	10.4
27°	10.6	11.2	12.0	12.8	13.4	13.8	13.7	13.1	12.3	11.6	10.8	10.4
26°	10.6	11.3	12.0	12.7	13.4	13.8	13.6	13.0	12.3	11.6	10.8	10.5
25°	10.7	11.3	12.0	12.7	13.3	13.7	13.5	13.0	12.3	11.6	10.9	10.6
24°	10.8	11.3	12.0	12.7	13.3	13.6	13.4	13.0	12.3	11.6	11.0	10.7
23°	10.8	11.4	12.0	12.7	13.2	13.6	13.4	12.9	12.3	11.6	11.0	10.7
22°	10.9	11.4	12.0	12.6	13.2	13.4	13.3	12.9	12.3	11.7	11.1	10.8
21°	10.9	11.5	12.0	12.6	13.1	13.4	13.3	12.8	12.3	11.7	11.1	10.8
20°	11.0	11.5	12.0	12.6	13.1	13.3	13.2	12.8	12.3	11.7	11.2	10.9
19°	11.1	11.5	12.0	12.6	13.0	13.2	13.1	12.8	12.3	11.7	11.2	11.0
18°	11.1	11.5	12.0	12.6	13.0	13.2	13.1	12.7	12.3	11.7	11.3	11.0
17°	11.2	11.6	12.0	12.5	12.9	13.1	13.0	12.7	12.2	11.8	11.3	11.1
16°	11.2	11.6	12.0	12.5	12.9	13.1	13.0	12.6	12.2	11.8	11.4	11.1
15°	11.3	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.9	12.6	12.2	11.8	11.4	11.2
14°	11.4	11.6	12.0	12.5	12.8	12.9	12.8	12.6	12.2	11.8	11.4	11.3
10°	11.6	11.8	12.0	12.3	12.6	12.7	12.6	12.4	12.1	11.8	11.6	11.5

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

Fuente: Ortiz, 1987.

### 7.3 Valores de Angot -R<sub>a</sub>

Radiación Solar Teórica, expresada como mm de agua evaporable.

Lat. N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
33°	8.09	10.3	12.61	14.92	16.48	17.06	16.76	15.53	13.49	11.00	8.75	70.47
32°	8.32	10.24	12.77	15.00	16.50	17.02	16.76	15.58	13.63	11.20	8.99	70.76
31°	8.57	10.46	12.96	15.09	16.52	16.99	16.77	15.63	13.77	11.41	9.24	8.04
30°	8.81	10.68	13.14	15.17	16.53	16.95	16.78	15.68	13.90	11.61	9.49	8.31
29°	9.05	10.89	13.27	15.22	16.51	16.89	16.73	15.70	13.99	11.78	9.70	8.55
28°	9.29	11.09	13.39	15.26	16.48	16.83	16.68	15.71	14.08	11.95	9.90	8.79
27°	9.54	11.30	13.52	15.30	16.46	16.77	16.63	15.73	14.17	12.13	10.11	9.03
26°	9.79	11.50	13.65	15.34	16.43	16.71	16.58	15.74	14.26	12.30	10.31	9.27
25°	10.00	11.70	13.78	15.39	16.40	16.65	16.53	15.76	14.36	12.47	10.51	9.50
24°	10.20	11.89	13.90	15.43	16.37	16.59	16.47	15.78	14.45	11.64	10.71	9.73
23°	10.45	12.10	14.03	15.47	16.35	16.53	16.42	15.80	14.55	11.81	10.91	9.97
22°	10.70	12.30	14.16	15.51	16.32	16.47	16.37	15.81	14.64	11.98	11.11	10.20
21°	10.95	12.51	14.29	15.56	16.30	16.42	16.32	15.83	14.74	13.54	11.36	10.44
20°	11.19	12.71	14.41	15.60	16.27	16.36	16.27	15.85	14.83	13.31	11.61	10.68
19°	11.40	12.87	14.51	15.61	16.19	16.25	16.18	15.82	14.89	13.45	11.82	10.90
18°	11.60	13.02	14.60	15.62	16.11	16.14	16.09	15.79	14.94	13.58	12.02	11.12
17°	11.80	13.17	14.65	15.63	16.05	16.03	16.00	15.76	14.99	13.72	12.23	11.35
16°	12.00	13.32	14.69	15.64	15.99	15.92	15.91	15.72	15.04	13.85	12.43	11.57
15°	12.21	13.47	14.79	15.65	16.91	15.81	15.82	15.69	15.09	13.99	12.64	11.80
14°	12.41	13.62	14.89	15.65	15.83	15.70	15.72	15.65	15.14	14.12	12.84	12.02

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Fuente: Ortiz. 1987

## 7.4 Resultados de la Regresión Lineal, mediante el Paquete Estadístico SAS.

### 7.4.1 Radiación Solar Global (Promedio Diario).

Radiación solar mensual de datos obtenidos en el actinógrafo y  
heliógrafo 6

	OBS	ACTINOGR	INSOLACI
1	393.34	418.69	
2	398.38	387.77	
3	395.32	397.91	
4	393.82	397.28	
5	407.70	438.40	
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
366	360.06	415.86	

Radiación solar mensual de datos obtenidos en el actinógrafo y  
heliógrafo 12

#### Correlation Analysis

2 'VAR' Variables: ACTINOGR INSOLACI

#### Simple Statistics

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum
Maximum					
ACTINOGR	366	466.454617	60.437175	170722	347.840000
596.400000					
INSOLACI	366	470.017896	58.628513	172027	346.800000
593.670000					

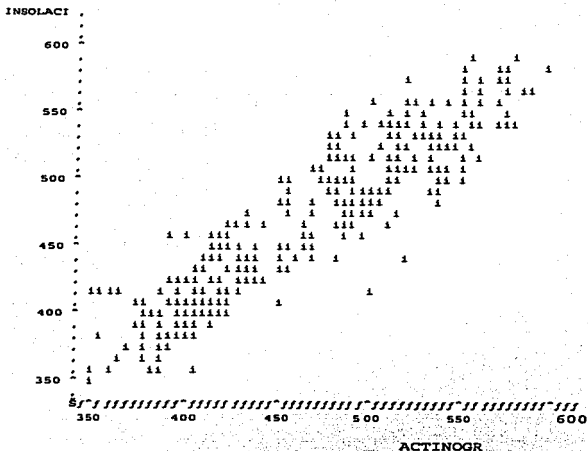
Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / N = 366

	ACTINOGR	INSOLACI
ACTINOGR	1.00000 0.0	0.92061 0.0001
INSOLACI	0.92061 0.0001	1.00000 0.0

Radiación solar diaria de datos obtenidos en el actinógrafo y  
heliógrafo 13

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Plot of INSOLACI\*ACTINOGR. Symbol used is 'i'.



NOTE: 122 obs hidden.

Radiación solar diaria de datos obtenidos en el actinógrafo y heliógrafo 14

General Linear Models Procedure

Number of observations in data set = 366

Radiación solar diaria de datos obtenidos en el actinógrafo y heliógrafo 15

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: INSOLACI

Source	Pr > F	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model		1	1063316.46073968	1063316.46073968	
2023.26	0.0001				
Error		364	191298.97914046	525.54664599	
Corrected Total		365	1254615.43988014		

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



INSOLACI Mean	R-Square	C.V.	Root MSE
470.01789617	0.847524	4.877432	22.92480416

Source Value	Pr > F	DF	Type I SS	Mean Square	F
ACTINOGR	0.0001	1	1063316.46073968	1063316.46073968	

Source Value	Pr > F	DF	Type III SS	Mean Square	F
ACTINOGR	0.0001	1	1063316.46073968	1063316.46073968	

Error of Parameter Estimate	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std
INTERCEPT	53.44589736	5.72	0.0001	
ACTINOGR	0.89306008	44.98	0.0001	

**TESIS CON  
 FOLLA DE ORIGEN**

## 7.4.2 Radiación Solar Global (Promedio Mensual).

1

The SAS System

OBS	ACTINOGR	INSOLACI
1	406.43	409.36
2	472.76	460.69
3	529.23	515.31
4	522.84	533.30
5	534.45	552.68
6	503.09	512.99
7	504.47	498.22
8	493.43	500.64
9	436.70	438.21
10	407.96	418.43
11	398.54	407.00
12	387.83	393.14

The SAS System

2

### Correlation Analysis

2 'VAR' Variables: ACTINOGR INSOLACI

#### Simple Statistics

Variable	N	Mean	Std Dev	Sum	Minimum
ACTINOGR	12	466.477500	55.597836	5597.730000	387.830000
INSOLACI	12	469.997500	55.423658	5639.970000	393.140000

Pearson Correlation Coefficients / Prob > |R| under Ho: Rho=0 / N = 12

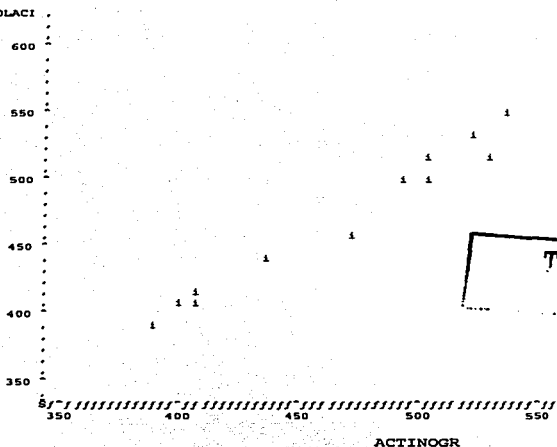
	ACTINOGR	INSOLACI
ACTINOGR	1.00000 0.0	0.98464 0.0001
INSOLACI	0.98464 0.0001	1.00000 0.0

heliógrafo Radiación solar mensual de datos obtenidos en el actinógrafo y

3

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Plot of INSOLACI\*ACTINOGR. Symbol used is 'i'.



Radiación solar mensual de datos obtenidos en el actinógrafo y heliógrafo 4

General Linear Models Procedure

Number of observations in data set = 12

Radiación solar mensual de datos obtenidos en el actinógrafo y heliógrafo 5

General Linear Models Procedure

Dependent Variable: INSOLACI

Source	Pr > F	DF	Sum of Squares	Mean Square	F
Model		1	32759.35130128	32759.35130128	
317.97	0.0001				
Error		10	1030.24952372	103.02495237	
Corrected Total		11	33789.60082500		

INSOLACI Mean	R-Square	C.V.	Root MSE
469.99750000	0.969510	2.159612	10.15012081

Source Value	Pr > F	DF	Type I SS	Mean Square	F
ACTINOG	0.0001	1	32759.35130128	32759.35130128	

Source Value	Pr > F	DF	Type III SS	Mean Square	F
ACTINOG	0.0001	1	32759.35130128	32759.35130128	

Error of Parameter Estimate	Estimate	T for H0: Parameter=0	Pr >  T	Std
INTERCEPT	12.12547021	0.47	0.6490	
ACTINOG	0.98155223	17.83	0.0001	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**