



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN**

A
Zij

**"Cálculo de la Radiación Solar Global con Datos de un
Actinógrafo por el Método Planimétrico y su
Importancia en la Agricultura".**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO AGRICOLA**

PRESENTA:

ALEJANDRO CUITLAHUAC ARENAS MONROY

ASESOR. ING. GUSTAVO MERCADO MANCERA

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX. 1996

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.
UNIVERSIDAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN



DEPARTAMENTO D.
EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JAIME KELLER TORRES
DIRECTOR DE LA FEB-CUAUTITLÁN
PRESENTE.

AT'N: Ing. Rafael Rodríguez Ceballos
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la F.E.S. - C.

Con base en el art. 29 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS TITULADA:
"Cálculo de la Radiación Solar Global con Datos de un Actinógrafo,
por el Método Planimétrico y su Importancia en la Agricultura".

que presenta el pasante: Alejandro Cuitláhuac Arenas Monroy
con número de cuenta: 8320061-4 para obtener el TÍTULO de:
Ingeniero Agrícola

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 28 de Noviembre de 1995

PRESIDENTE Ing. Patricia Murcia Flores

VOCAL Ing. Guillermo Basante Butrón

SECRETARIO Ing. Gustavo Mercado Mancera

PRIMER SUPLENTE M. en C. Adelina Albanil Encarnación

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Javier Vega Martínez

A Dios

Por permitirme vivir hasta ahora
y lograr esta meta.

A la Memoria de mi Padre

Prof. Evodio Arenas Palacios,
quien me dejó la mejor
herencia: El Estudio.

A mi Madre y Hermanos

Por su comprensión, compañía
y ejemplo.

**A Verónica, mi Amada
Esposa**

Por todo su amor, cariño,
comprensión y respeto.

A mi Hermana Xóchitl

Por su constante apoyo moral en
todos los momentos difíciles y
alegres.

A los Simedales

Por tratarme como a un
compañero de trabajo, en
especial a Gustavo, por su
paciencia.

A la Familia Sánchez Maya

Ejemplo de la familia mexicana,
particularmente a César por su
invaluable apoyo.

INDICE

I INTRODUCCION.....	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Hipótesis	3
II REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Definición de Radiación Solar	4
2.2. Tipos de Radiación	4
2.3. Composición de la Radiación Solar	5
2.4. Tipos de Radiación Solar	6
2.5. Factores que afectan la Radiación Solar	7
2.6. Efectos de la Atmósfera Terrestre sobre la Radiación Solar	8
2.7. Leyes de la Radiación Solar	9
2.8. Métodos de Medición de la Radiación Solar	11
2.8.1. Métodos Directos	12
2.8.2. Métodos Indirectos	23
2.9. Importancia de la Radiación Solar en la Agricultura	25
2.9.1. Procesos Fisiológicos	25
2.9.2. Aplicaciones de la Radiación Solar en el Diseño y Funcionamiento de la Infraestructura Agrícola	32

III MATERIALES Y METODOS	39
3.1. Caracterización del lugar de estudio	39
3.2. Metodología	39
IV RESULTADOS Y ANALISIS.....	46
V CONCLUSIONES.....	74
VI RECOMENDACIONES	75
VII BIBLIOGRAFIA	76

INDICE TABLAS

**TABLA 1 DATOS PROMEDIO DIARIO DE LA ESTACION
ALMARAZ, CUAUTITLAN IZCALLI, MEXICO.
PERIODO 1989-199447**

**TABLA 2 DATOS PROMEDIO MENSUAL DE LA ESTACION
ALMARAZ, CUAUTITLAN IZCALLI, MEXICO.
PERIODO 1989-199459**

INDICE DE GRAFICAS

GRAFICA 1 INSOLACION PROMEDIO DIARIO	60
GRAFICA 2 RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO DIARIO POR INSOLACION	62
GRAFICA 3 RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO DIARIO POR PLANIMETRO	63
GRAFICA 4 RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO DIARIO POR INSOLACION Y PLANIMETRO.....	64
GRAFICA 5 INSOLACION PROMEDIO MENSUAL	67
GRAFICA 6 RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL POR INSOLACION	68
GRAFICA 7 RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL POR PLANIMETRO.....	69
GRAFICA 8 RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL POR INSOLACION Y POR PLANIMETRO.....	70

INDICE DE CUADROS

**CUADRO 1 RESULTADO DE LA REGRESION LINEAL ENTRE
LA RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO DIARIA
CALCULADA POR EL METODO DE INSOLACION Y EL
PLANIMETRICO65**

**CUADRO 2 RESULTADO DE LA REGRESION LINEAL ENTRE
LA RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL
CALCULADA POR EL METODO DE INSOLACION Y EL
PLANIMETRICO71**

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Espectro electromagnético	6
Figura 2 Pirheliógrafo de Gorczyński	14
Figura 3 Pirheliómetro de Pouillet	15
Figura 4 Pirheliómetro de Abbot	16
Figura 5 Pirheliómetro de Eppley	17
Figura 6 Actinógrafo tipo Robitzsch	18
Figura 7 Heliógrafo de Jordan	21
Figura 8 Heliógrafo de Campbell-Stokes	22
Figura 9 Corte del casquete del Heliógrafo	22
Figura 10 Colector plano	33
Figura 11 Tipos de colectores planos	34
Figura 12 Destilador de agua	35
Figura 13 Secador solar (parte 1)	36
Figura 14 Secador solar (parte 2)	36
Figura 15 Secador solar (parte 3)	36
Figura 16 Secador solar terminado	37
Figura 17 Bombeo de agua	37
Figura 18 Área de la gráfica del Actinógrafo	41
Figura 19 Gráfica del Actinógrafo	42
Figura 20 Planímetro y sus componentes	44

RESUMEN

El presente trabajo se hizo con datos de la estación meteorológica Almaraz en el campo cuatro de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, ubicada a $90^{\circ} 11' 42''$ de longitud oeste y $19^{\circ} 41' 33''$ de latitud norte, a 2252 metros sobre el nivel del mar; en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México, teniendo como objetivos: calcular la radiación solar global del periodo de enero de 1989 a diciembre de 1994 con datos de un actinógrafo tipo Robitzsch tomados en la Estación Almaraz por el método planimétrico y por el método de Angström para correlacionar los datos obtenidos. Así como indicar la importancia de la radiación solar en la agricultura contribuyendo al estudio de la energía solar y su aprovechamiento en el área agrícola. Teniendo como hipótesis: la correlación entre los datos de la radiación solar global calculada por el método planimétrico y el método de Angström es alta, presentando el mismo comportamiento durante el año.

Se obtuvieron los registros de un actinógrafo tipo Robitzsch y se calculó la radiación solar global empleando un planimetro compensado marca Koizumi, a nivel diario y también se calculó utilizando los registros de insolación de un heliógrafo tipo Campbell-Stokes.

Se correlacionaron los dos métodos y se obtuvo para los datos a nivel diario una r^2 de 0.70 y para los datos a nivel mensual una r^2 de 0.94 lo que muestra una alta correlación entre los dos métodos.

Se graficaron los comportamientos de la radiación solar global promedio diario y mensual, donde se obtuvo que la mayor intensidad corresponde a la época de verano, y la menor a la época invernal. Los valores de la radiación solar fluctuaron entre 387.836 langley y 545.792 langley a través del año, correspondiendo eso al mes de enero y mayo respectivamente. Así el promedio anual en la zona es de 476.727 langley por el método planimétrico, 458.337 langley por el método de insolación y 7.63 horas de insolación.

Concluyendo que la radiación solar global varía a través del año, en enero tiende a ser baja, de febrero en adelante se incrementa hasta llegar a un valor máximo en mayo, disminuye de junio a septiembre y después tiende a entrar en un rango menor en los últimos meses. Las horas de insolación

son altas en el periodo de febrero a mayo y disminuyen en el verano a causa de la nubosidad característica de la época de lluvias. La correlación entre los valores promedio diario obtenidos para la radiación solar global por el método planimétrico y el de insolación es de 70% y aumenta hasta el 94% al relacionar los valores promedio mensuales. Dada la correlación obtenida, la fórmula de Angström puede ser utilizada en esta zona para obtener la radiación solar global con datos de insolación. El método planimétrico valida al método de insolación -Angström-, por lo cual se presenta al heliógrafo como una alternativa para medir la radiación solar global.

INTRODUCCIÓN

La luz solar constituye la única fuente de energía prácticamente ilimitada de que disponemos y es el origen de muchas otras fuentes de energía renovables o no que se utilizan a diario (carbón, petróleo, gas, electricidad, etc.) (Besnier, 1980).

El 99.97% de la energía responsable de los procesos físicos y biológicos la proporciona el sol en forma de radiación (Norero, 1976).

Las plantas son los únicos organismos vivos capaces de transformar la energía solar en energía asimilable por los animales y el hombre. El analizar la radiación solar y sus aplicaciones prácticas en la agricultura, nos remite a la agroclimatología que estudia las leyes y principios que relacionan los elementos y factores del clima con el crecimiento, desarrollo y rendimiento de las plantas cultivadas (Torres, 1989), ya que todas las manifestaciones climáticas de la atmósfera tienen su causa primaria en la energía solar recibida por la tierra que viaja en el espacio en forma de radiación electromagnética (Cuerda et al, 1987).

La radiación solar se define como el proceso físico mediante el cual se transmite energía en forma de ondas electromagnéticas sin la intervención de una materia intermedia ponderable como portadora de energía en línea recta y una velocidad de 300,000 kilómetros por segundo (Estrada, 1984). Para cuantificar esta energía existen diferentes instrumentos de medición, todos ellos la convierten en otra forma de energía, dando como resultado una medida o lectura proporcional a la intensidad de la radiación, estos aparatos son: pirheliómetros, piranómetros (actinógrafos o solarímetros) y heliógrafos principalmente. Sin embargo cuando se llevan a cabo estudios climatológicos de la radiación solar, es muy frecuente encontrarse con zonas para las cuales no existe información de la energía aportada por el sol, en gran parte debido a la inexistencia de una red solarimétrica, por lo que esta información tiene que ser evaluada indirectamente, ya sea con modelos matemáticos que simulan la atenuación que sufre la radiación solar extraterrestre en su paso a través de la atmósfera, o bien como modelos puramente empíricos que requieren para su aplicación de diversos parámetros meteorológicos (Estrada/Fernández, 1985). Lo anterior ha traído como

consecuencia el desarrollo de procedimientos para estimar la radiación solar que requieren de datos meteorológicos disponibles en un gran número de localidades (Ayllón, 1978). Esta situación es similar a la que se encuentra en la estación Almaraz ya que cuenta con una gran cantidad considerable de registros, pero que no han sido procesados ni utilizados para obtener una información mayor. Todos estos procedimientos (modelos) son de particular interés para los países en vías de desarrollo ya que no se contempla en un corto plazo la instalación de redes solarimétricas. Los modelos pueden ser clasificados en dos grandes grupos: teóricos y empíricos; en tanto que los modelos empíricos aportan buena información para periodos grandes de tiempo, y esto cuando el modelo ha sido adaptado para ajustarse a una localidad en particular, en los modelos teóricos es necesario asumir ciertas condiciones las cuales limitan su uso. La verdad es que los modelos parametrizados han sido los de mayor aceptación ya que además de su sencillez han demostrado buena concordancia con datos medidos (Estrada, 1985).

En México se cuenta con poca información de mediciones solarimétricas como para validar un método, o para establecer un rango de aplicación. Ante esta situación, un método con posibilidades de ser aplicado en nuestro país es el propuesto por Amgström y que ha sido usado con resultados muy satisfactorios en varias partes del mundo con gran diversidad de climas (Estrada/ Fernández, 1985), por lo cual se plantearon los siguientes:

1.1 OBJETIVOS

- Calcular la Radiación Solar Global del período de Enero de 1989 a Diciembre de 1994 con datos de un Actinógrafo tipo Robitzsch en la Estación Meteorológica Almaraz, en Cuautitlán Izcalli, México, por el Método Planimétrico.
- Calcular la Radiación Solar Global para el mismo periodo de trabajo por el Método de Angström, con datos de un Heliógrafo tipo Campbell-Stockes, en la Estación Meteorológica Almaraz, en Cuautitlán Izcalli, México.
- Correlacionar los datos de Radiación Solar Global obtenidos por el Método Planimétrico y por el Método de Angström (Insolación).
- Indicar la importancia de la Radiación Solar en las plantas de cultivo.
- Contribuir al estudio de la energía solar y su aprovechamiento en el área agrícola.

1.2 HIPOTESIS

- La correlación entre los datos de la Radiación Solar Global calculada por el Método Planimétrico y el Método de Angström es alta, presentando el mismo comportamiento durante el año.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Definición de Radiación Solar

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.

Es por ello necesario definir lo que entendemos por radiación solar: 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 Tipos de Radiación

Existen diversos tipos de radiación, en primer término se tiene a la radiación solar o de onda corta debido a que su composición espectral o distribución de longitudes de onda, está comprendida entre los límites de 0.3 y 3.0 micras y su emisión sólo se presenta durante los periodos diurnos. (Gómez, 1987). En segundo lugar a la radiación terrestre o de onda larga entre 4 y 100 micras que emite la tierra y todos los objetos sobre la superficie del planeta (plantas, animales, rocas, etc.) a su entorno y en conjunto la superficie terrestre hacia la atmósfera, su emisión es continua (periodos diurnos y nocturnos).

2.3 Composición de la Radiación Solar.

En la materia, pequeñas partículas cargadas negativamente, los electrones, se mueven continuamente a velocidades extremadamente elevadas cuyo valor medio aumenta con la temperatura, en el curso de esta incesante agitación llega un momento en que estas partículas chocan y se producen vibraciones que originan ondas electromagnéticas. Las partículas animadas de gran velocidad vibran rápidamente, dando lugar a ondas cortas; las ondas largas resultan de la colisión de partículas más lentas. A las elevadas temperaturas que existen en el sol, las partículas cargadas se desplazan a velocidades muy diferentes (O.M.M., 1975).

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). Como se observa en la figura 1. La energía irradiada de un cuerpo aumenta con la temperatura del cuerpo, mientras que la longitud de onda de los rayos irradiados es tanto más pequeña cuanto mayor sea su temperatura, por este motivo los cuerpos calientes irradian más calor que los cuerpos fríos y lo hacen con rayos cuya longitud de onda es más pequeña. (Fuentes, 1983).

La radiación solar en el límite superior de la atmósfera está formada por diferentes longitudes de onda y es a partir de ello que se identifican tres tipos de radiación solar; la radiación química o actínica formada por radiaciones de longitud de onda muy pequeña menor a 0.36 micras, entre ellas se encuentra la radiación ultravioleta que representa el 9% de la energía solar y son invisibles al ojo humano. La radiación luminica es la visible 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. Finalmente se tienen las radiaciones infrarrojas o térmicas, invisibles al ojo humano y cuya longitud varía de 0.76 a 4 micras, equivale al 50% de la radiación solar. (Romo, 1989).

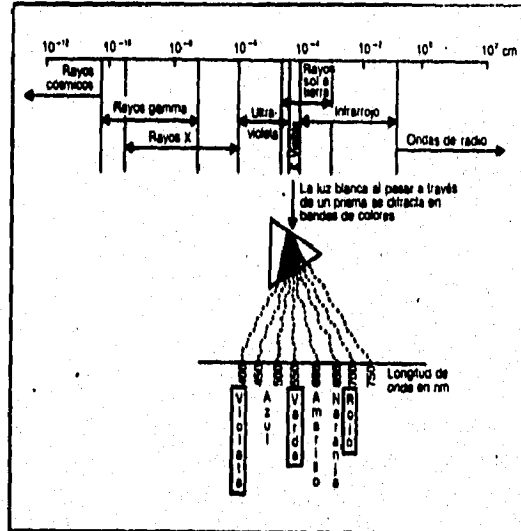


Figura 1 : Espectro Electromagnético. Fuente: Cuerdá et al. (1987)

2.4 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 la 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.

La radiación solar difusa es el resultado de la reflexión y dispersión de la radiación solar a ella corresponden las primeras y últimas luces del amanecer y anochecer, respectivamente, así mismo es la de mayor presencia en los días nublados. (Romo, 1989).

La radiación global es la suma de las radiaciones 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).

2.5 Factores que afectan la Radiación Solar

Sin duda son bastantes los factores que intervienen en la intensidad de la radiación solar, Estrada y Fernández (1985) proponen una clasificación en cuatro grupos: astronómicos, geográficos, geométricos y físicos.

a) Astronómicos

- espectro solar
- magnitud de la constante solar
- variación de la distancia entre la tierra y el sol
- declinación solar
- variación del ángulo horario

b) Geográficos

- latitud
- longitud
- altura sobre el nivel del mar
- geografía de la localidad (costas, montañas, etc.)

c) Geométricos

- altura solar
- azimut del sol
- inclinación del plano receptor
- 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
- efecto del albedo del suelo

Cada uno de estos factores al incidir de manera conjunta o por separado causan la existencia de una mayor o menor intensidad en la radiación solar.

2.6 Efectos de la Atmósfera Terrestre sobre la Radiación Solar

Cuando la radiación solar llega al límite de la atmósfera se producen fenómenos físicos que contribuyen a conservar la vida en el planeta. El primero de ellos es la absorción, denominada así por el proceso por el cual un flujo de radiación penetra en un cuerpo y se transforma en energía térmica (De Fina y Ravelo, 1975). La radiación solar es absorbida por los gases, agua y aerosoles. La variación de la absorción en una atmósfera sin nubes y sin polvo depende principalmente de la distribución del vapor de agua en la tropósfera y el ozono en la atmósfera. El vapor de agua absorbe principalmente en la región cercano al infrarrojo entre 0.7 y 4 micras. A longitudes de onda más cortas el absorbedor gaseoso principal es el ozono, el cual es efectivo en el ultravioleta y el visual. El O_2 y el CO_2 juntos son responsables de aproximadamente el 1% de absorción de la atmósfera (Estrada, 1985).

La reflexión se produce cuando una radiación al incidir sobre un cuerpo es desviada o devuelta sin modificar sus caracteres (De Fina y Ravelo, 1975) 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 (Fuentes, 1983); sin embargo no sólo las nubes reflejan sino también otras superficies como es el caso de los bosques que reflejan un 10% de lo que reciben, el océano un 12%, un campo arado 15%, la arena seca 20%, la pradera 25%, las nubes 75% y la nieve fresca hasta un 80% (De Fina y Ravelo, 1975). Al ocurrir esta reflexión hacia el espacio las nubes pueden absorber o reflejar de nuevo y producir con ello el efecto de invernadero que permite conservar el calor a la tierra durante la noche.

La atmósfera como cualquier otro gas, se compone de moléculas que dejan entre sí espacios vacíos cuyo volumen es mucho mayor que el volumen ocupado por ellas. Además de las moléculas existen numerosas partículas en suspensión tales como el polvo, humo, gotas de agua, etc. Los rayos solares se propagan en línea recta, chocan contra estas moléculas y partículas que actúan como verdaderos obstáculos y se desvían en todas direcciones. Este fenómeno recibe el nombre de

dispersión (Fuentes, 1983). Según este mismo autor la tierra absorbe el 47% de la radiación solar, la atmósfera el 17% y el resto se pierde en el espacio.

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 de nuestro 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, 1975).

Otro 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 (horas, minutos) debido a la relación dinámica entre el sol y los grupos de nubes (Estrada, 1992).

2.7 Leyes de la Radiación Solar

Este tema pertenece a la Meteorología en General, sin embargo en algunas ocasiones es necesario tener presente algunas leyes para apoyarnos en ellas; de acuerdo con Romo y Arteaga (1989) se tienen las siguientes:

a) 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.

b) Ley de Stefan-Boltzmann

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

c) Ley de Kirchhoff

La capacidad de absorción de un material es igual a su poder de emisión para una misma longitud de onda a igual temperatura.

d) Ley de Wien

Existe una razón inversamente proporcional entre la temperatura de un cuerpo negro y la longitud de onda del punto de máxima emisión de energía, es decir, la radiación máxima de energía se efectúa en una onda, cuya longitud es inversamente proporcional a la temperatura del cuerpo.

e) Ley de Bouguer

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

f) 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.

Estas dos últimas leyes pueden sumar e intensificar sus efectos. Se consideran las más 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.

2.8 Métodos de Medición de la Radiación Solar

La radiación no constituye un elemento climático usual y su medición se realiza de manera continua en pocas estaciones (600) alrededor del mundo. Los datos recopilados de las estaciones generalmente son inadecuados para la elaboración de mapas, excepto en Estados Unidos, algunos países europeos y Sudáfrica. La precisión de las mediciones es generalmente alrededor del cinco por ciento para periodos cortos, es decir, de unas cuantas horas, aumentando tres por ciento para periodos de un día, siempre y cuando se cuente con un buen equipo y buen mantenimiento. Los instrumentos por lo general son bastante caros y para su operación requieren de un técnico experimentado para asegurar su funcionamiento continuo (Griffiths, 1985).

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°C a 15.5°C . Otras unidades que se utilizan para expresar la radiación recibida por unidad de superficie son:

$$\begin{aligned} 1 \text{ Langley (Ly)} &= 1 \text{ cal/cm}^2 \\ &\text{watts/m}^2 \\ 1 \text{ cal/cm}^2/\text{min} &= 698 \text{ W/m}^2 \\ 1 \text{ W/m}^2 &= 0.0014327 \text{ cal/cm}^2/\text{min}. \end{aligned}$$

(Gómez, 1980)

Sin embargo existen otras unidades expresadas por Leyva (1990) quien propone una tabla la cual contiene los factores de conversión de unidades en que generalmente se expresan los totales diarios de radiación global solar.

Radiación global	cal/cm ² /día	J/m ² /día	WH/m ² /día	MJ/m ² /día	KWH/m ² /día
cal/cm ² /día	1	4.187(4)	11.63	4.187(-2)	11.63(-3)
J/m ² /día	2.388(-5)	1	2.778(-4)	1.0(-6)	2.778(-7)
WH/m ² /día	0.086	3.6(3)	1	3.6(-3)	1.0(-3)
MJ/m ² /día	2.338(+1)	1.0(6)	2.778(2)	1	2.778(-1)
KWH/m ² /día	86.0	3.6(6)	1.0(3)	3.6	1

Nota: N(n) = N x 10ⁿ, por ejemplo: 2.778 (-4) = 2.778 x 10⁻⁴

Cabe destacar que si hablamos de energía las unidades propias para expresar a esta son Watts, joules, megajoules y kilowatts y no cal/cm²/min. como se ha expresado hasta ahora este elemento climático.

2.8.1 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 de 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:

I) Térmicos (termomecánicos y termoelectrónicos)

II) Fotovoltáicos

Los sensores térmicos operan detectando el cambio de temperatura de algún material (el sensor propiamente dicho) 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 como su nombre lo indica registran los efectos eléctricos, generalmente las corrientes eléctricas que se generan por el cambio de temperatura del material sensor.

El principio de trabajo de los sensores fotovoltáicos 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).

Los instrumentos disponibles para medir los componentes del balance de radiación se agrupan según Gómez (1987) en :

a) Pirheliómetros.- miden la radiación solar directa que incide en forma normal a una superficie.

b) Piranómetros.- miden la radiación solar (global) recibida desde todo el hemisferio celeste sobre una superficie horizontal terrestre. Se les llama también solarímetros o actinógrafos.

c) Heliógrafos.- miden únicamente la duración de la insolación (horas de brillo solar).

d) Pirgeómetros.- miden la radiación infrarroja o de onda larga.

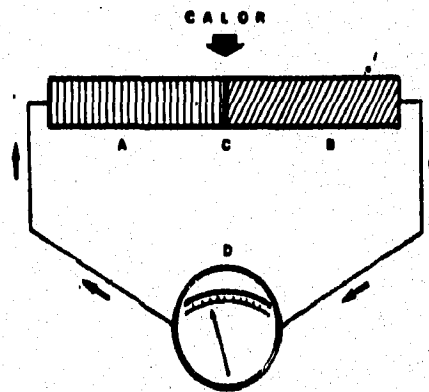
e) Pirradiómetros.- miden la radiación solar y la infrarroja desde un sólo hemisferio.

f) Radiómetros netos.- determinan la radiación neta (balance de energía).

a) 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.

El pirheliógrafo de Gorczynski goza de amplia aceptación por su sensibilidad y precisión. Consiste fundamentalmente en pares termoeléctricos múltiples (de manganina y de constantano) pila Moll, tan sensibles y de pequeña resistencia para ser usados en un milivoltímetro común, que es la otra parte esencial del aparato. Además, consta de dispositivos eléctricos y mecánicos anexos que le permiten hacer el registro automático y continuo de las mediciones hechas. El principio de su funcionamiento consiste en que las soldaduras de los pares termoeléctricos se exponen directamente a la radiación solar y al calentarse se genera una corriente "termoeléctrica" 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) Ver figura 2.



— Corriente termoeléctrica. A, cobre; B, hierro; C, soldadura; D, voltímetro. Las flechas indican el sentido de la corriente eléctrica engendrada.

Figura 2: Pirheliógrafo de Gorczynski.

Fuente: De Fina y Ravelo (1979)

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 sólo valor histórico y didáctico debido a sus desventajas como son la 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. (De Fina y Ravelo, 1979). Ver figura 3.

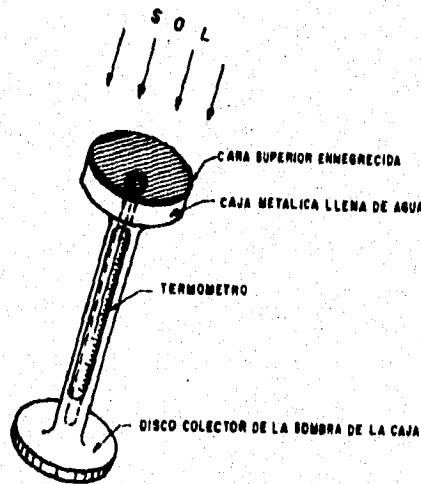


Figura 3: Pirheliómetro de Pouillet

Fuente. De Fina y Ravelo(1979).

Pirheliómetro de Abbot

El funcionamiento de este aparato es idéntico al de Pouillet, la diferencia es un disco macizo de plata que reduce el calor específico (0.056 cal/g°C) en el que se halla el elemento sensible de un termómetro acodado. Ver figura 4.

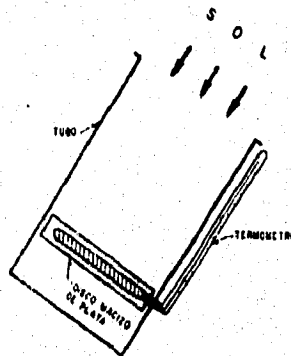


Figura 4: Pirheliómetro de Abbot

Fuente. De Fina y Ravelo (1979).

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 (Romo, 1989).

Cuando estos instrumentos poseen un mecanismo incriptor que registra continuamente las variaciones de la intensidad calorífica de la radiación solar se les denomina piranógrafos (De Fina y Ravelo, 1979).

Tienen como características generales un elemento sensible protegido de una cubierta de vidrio que se mantendrá siempre limpio 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 está cubierto de negro y el exterior de blanco (óxido de magnesio). El conjunto de receptores está dentro de una bombilla esférica de vidrio soplado especial, llena de aire seco, y sólo permite el paso a longitudes de onda menores de 3,5 micras. Ver figura 5.

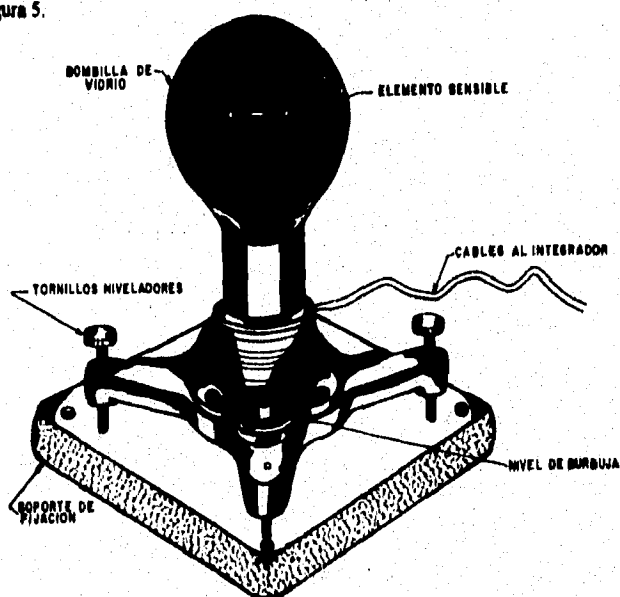
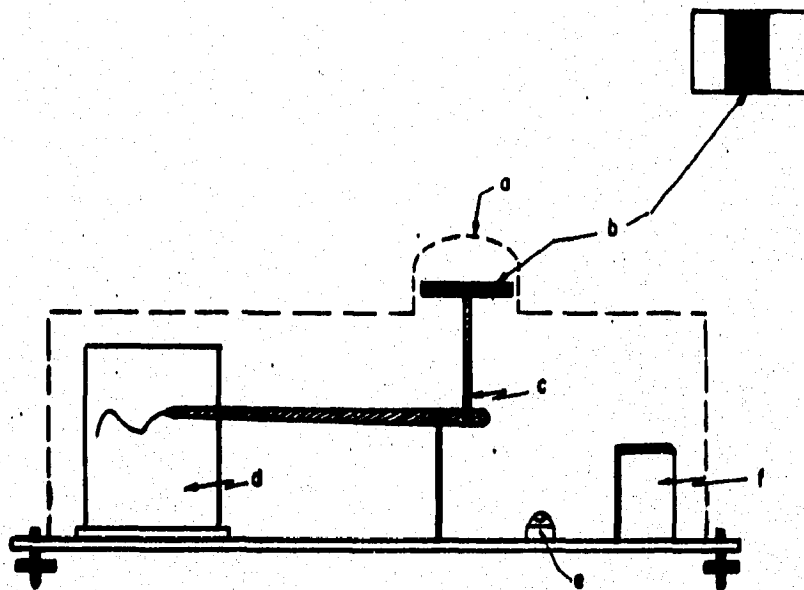


Figura 5: Piranómetro de Eppley

Fuente: De Fina y Ravelo (1979).

Piranógrafo del tipo Robitzsch

En 1990, Amando Leyva et al realizaron para la Comisión Federal de Electricidad un instructivo para el manejo de los piranógrafos de este tipo y la evaluación de la radiación solar global



- a. CUPULA DE CUARZO
- b. ELEMENTO SENSIBLE
- c. MECANISMO AMPLIFICADOR
- d. MECANISMO REGISTRADOR
- e. MUEL DE BUBUJA
- f. CAJA DE GEL DE SILICE

Figura 6: Actinógrafo tipo Robitzsch y sus componentes principales.

Fuente: Gómez y Arteaga (1987):

medida con ellos, se considera desde la descripción hasta el mantenimiento, es de ahí el origen de esta información:

"La descripción que a continuación se hace corresponde en general a los piranógrafos fabricados por Rosbach de México. En la figura se presenta un esquema con los rasgos generales de este tipo de instrumentos.

El sensor consta de cuatro placas bimetalicas de constantan (aleación cobre níquel) y de invar (aleación de hierro níquel con bajo contenido de carbono y cromo) colocadas en forma horizontal y protegidas por un domo hemisférico transparente a la radiación solar. Las placas del centro están pintadas de negro para obtener la mayor absorción posible de la radiación solar, y las dos restantes, fijas en uno de sus extremos, están pintadas de blanco para que la radiación incidente en ellas se refleje lo más posible.

Con la radiación solar, las placas negras, sujetas a la parte libre de las placas blancas, aumentan su temperatura y la deforman (se curvan), transmitiendo el movimiento a su lado libre. Este movimiento es amplificado por un sistema mecánico de palancas que permite que una plumilla registre los desplazamientos sobre papel; este va montado en un tambor cilíndrico con movimiento gíatorio de relojería, con una vuelta cada siete días; opcionalmente, puede dar una vuelta en 24 horas.

Los desplazamientos realizados por la plumilla son proporcionales a la radiación global recibida. La constante de proporcionalidad entre el desplazamiento y la radiación global es la llamada sensibilidad del instrumento, se representa como C_i y tiene unidades ($\text{cal/cm}^2/\text{min.}$) o ($\text{W/m}^2/\text{min.}$).

Todo este mecanismo está instalado en una caja metálica con las siguientes dimensiones: 34 cm de largo, 18 cm de ancho, y 28 cm de alto. Esta caja está pintada de color blanco esmaltado para evitar un excesivo calentamiento del aparato y cuenta con una escotilla circular para vigilar el registro. En el interior de la caja se encuentra un depósito con sales de sílica-gel, que sirven para evitar el deterioro del mecanismo por oxidación y para que el domo no se empalle por dentro. Ver figura 6.

Se recomienda para la instalación del piranógrafo tener en cuenta lo siguiente:

1) Colocación

La caja del piranógrafo debe de colocarse a una altura aproximada de metro y medio sobre el nivel del piso; la base en donde se asiente la caja debe ser una placa de 40 X 40 centímetros horizontal y firme, de tal manera que no sufra variaciones por el viento o por cualquier otra causa.

2) Nivelación

La nivelación del instrumento es importante para la correcta interpretación de los datos; se recomienda utilizar los tornillos niveladores auxiliándose con la burbuja de nivel con que cuenta el instrumento.

3) Orientación

La caja del piranógrafo debe de tener una orientación Este-Oeste; como consecuencia, la escotilla lateral estará colocada viendo al Norte.

El plano del horizonte alrededor del instrumento debe estar libre de objetos que proyecten sombra sobre el mismo; la altura máxima permitida a los objetos (árboles, edificios, etc.) es, por ejemplo, de 10 metros si está a una distancia de 300 metros.

El mantenimiento diario debe ser por la mañana, el cual consiste en limpiar la superficie externa del domo con un paño que no deje pelusa, y observar por la escotilla lateral que la plumilla tenga tinta y esté graficando, y en su caso quitar la tira de papel con registro y colocar la nueva, darle la suficiente cuerda al tambor.

El mantenimiento semanal consiste en quitar la tira de papel con registro y colocar una nueva, darle la suficiente cuerda al tambor, llenar el depósito de tinta de la plumilla y limpieza general del domo y la escotilla. Revisar el desecador y en su caso regenerarlo, calentándolo con un foco de 60 watts colocado a una distancia no menor de cinco centímetros.

El mantenimiento anual consiste en la recalibración contra un instrumento de referencia, limpieza y revisión completa del sistema mecánico así como repintar la caja.

c) Heliógrafos

Son instrumentos que registran la continuidad de horas de brillo solar. Los más comunes son el de Jordan y el de Campbell-Stokes.

Heliógrafo de Jordan

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 girarse 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 localizados sobre ambos lados de este. Su gráfica es de papel fotosensible y está dividida en horas iguales alrededor de una superficie circular. Ver figura 7.

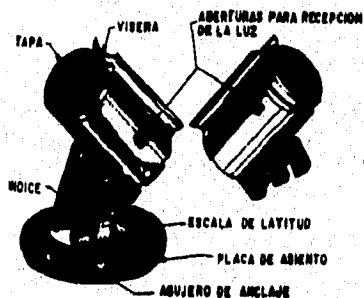


Figura 7: Heliógrafo de Jordan

Fuente. Gómez (1987)

Heliógrafo de Campbell-Stokes

Para registrar la insolación, se concentran los rayos solares que atraviesan una esfera de vidrio sobre una banda de cartulina especial, la cual se quema en el punto donde se forma la imagen del sol.

Con la esfera de vidrio se tiene siempre la formación del foco, no obstante las variaciones diurnas y estacionales de dicho astro. Ver figura 8.

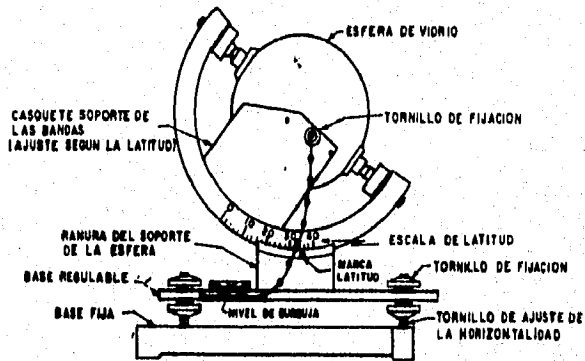


Figura 8: Heliógrafo de Campbell-Stokes.

Fuente: OMM (1974)

El heliógrafo está formado por una esfera de vidrio de diez centímetros de diámetro montada en el interior de un casquete esférico con un diámetro tal que permite que los rayos solares formen un foco muy intenso en una banda de cartulina especial ajustada en las ranuras del casquete, el cual tiene tres pares de ranuras para poder poner tres tipos de bandas diferentes de acuerdo a la época del año. (Gómez, 1987). Ver figura 9.



Figura 9: Corte del casquete del Heliógrafo. Fuente: OMM (1974)

Los pirgeómetros que miden la radiación infrarroja o de onda larga, los pirradiómetros que miden la radiación solar y la infrarroja desde un sólo hemisferio y los radiómetros netos que determinan la radiación neta al igual que los aparatos anteriores deben observar unas características instrumentales comunes que forman la hoja técnica de todos los instrumentos de radiación y son:

- Constante de calibración o sensibilidad
- Respuesta angular o geométrica
- Linealidad
- Estabilidad
- Respuesta espectral
- Estabilidad para cambio de temperatura
- Respuesta dinámica o constante de tiempo

(Mota, 1992).

2.8.2 Métodos Indirectos

Desde luego que 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 las veces, pues 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 es posible 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 teóricos y empíricos éstos últimos aportan buena información para períodos grandes de tiempo, y esto cuando el modelo ha sido adaptado para ajustarse a una localidad en particular, en los modelos teóricos es necesario asumir ciertas condiciones las cuales limitan su uso. La verdad es que los modelos parametrizados han sido los de

mayor adaptación ya que además de su sencillez han demostrado buena concordancia con datos medidos. (Estrada, 1985).

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, determinada con la duración de la insolación o con el grado de nubosidad del cielo (Ortiz, 1987).

Para fines de la presente investigación los que nos interesan conocer son los de la duración de la insolación por lo cual son estos los que se mencionan. Uno de los primeros métodos en los que se busca esta relación fue el de Ångström (1924), quien propuso la fórmula siguiente:

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

En donde R_g es la radiación global

R_g^* es la radiación global de un día muy despejado

n , es el número real de horas de insolación

N , es la duración astronómica de la insolación

a y b , son 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:

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

donde R_A es el valor de Angot

El problema radica en los coeficientes a y b . Para Europa Penman (1948-63) 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 ζ es la latitud de la estación. Black, Bonython y Précotti (1954) concluyeron a partir de sus estudios que los coeficientes eran 0.23 y 0.48. Más adelante Frère, Rijkx 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 manm $a = 0.29$ y $b = 0.42$ con un n/N anual de 0.73.

En 1980, Frère 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)

2.9 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, como puede ser fisiológico (fotosíntesis, germinación, producción de materia, etc.); definiendo las condiciones climáticas en el tiempo y espacio (temperatura, evaporación, humedad relativa, etc.) o bien, como generadora de energía para el diseño y funcionamiento de algunas estructuras agrícolas. Además de ser la fuente fundamental de energía del ciclo hidrológico de la biósfera (Cómez, 1987).

2.9.1 Procesos Fisiológicos

Los dos procesos principales de la radiación solar son: la fotosíntesis, que es el proceso vegetal básico de producción alimenticia y el fotoperíodo, o sea la respuesta de la floración a la luz

del día (Griffiths, 1985). Además de ser importante para la germinación de algunas semillas de cultivos agrícolas.

a) Fotosíntesis

De acuerdo con Grajales y Martínez en 1987, la fotosíntesis es esencialmente la absorción de la energía radiante y su conversión a potencial químico estable por la síntesis de compuestos orgánicos (glucosa). Lo consideran como un proceso que consta de tres fases:

- 1) Absorción y retención de la energía radiante
- 2) Conversión de la energía radiante en potencial químico (ATP)
- 3) Estabilización y almacenamiento del potencial químico (carbohidratos)

En la primera fase se absorbe la energía que proviene de las fusiones nucleares del sol, que viaja en forma de ondas electromagnéticas y una porción de ella comprendida de pigmentos que a su vez permitirán la utilización de esta en un proceso fotoquímico. Los pigmentos fotosintéticos varían según la especie de que se trate, aunque en general, en las plantas superiores se encuentran las clorofilas y carotenoides, mientras que en las plantas inferiores se incluyen las ficobilinas.

"La clorofila se sintetiza bajo un rango de intensidad de luz bastante amplio. La asimilación del dióxido de carbono por las plantas ocurre en longitudes de onda que van de acuerdo con la capacidad de absorción de luz por la clorofila ya que la mayor intensidad fotosintética se registra en las bandas roja y azul; además el rango azul del espectro apoya la síntesis de sustancias materiales de biocrecimiento (Torres, 1989)"

En la segunda fase ocurre fotofosforilación o fosforilación fotosintética que es la conversión de energía radiante en potencial químico (ATP) y se realiza en los tilacoides (membrana interna) del cloroplasto, en donde se encuentran intercaladas varias proteínas o enzimas y los pigmentos fotosintéticos.

La unidad fotosintética consiste en el fotosistema I y II cada uno posee un centro de reacción (P 700 y P 680 en FS-I y FS-II respectivamente) un complejo antena y una cadena fotosintética.

El complejo antena conformado de clorofila a y b tiene como función captar la energía radiante de diferentes longitudes de onda y transferirla a favor del gradiente energético por

resonancia inductiva hasta llegar al centro de reacción cuya función es excitar sus electrones con la absorción de protones; esto permite que el electrón gane suficiente energía para separarse del núcleo y posteriormente ser transferido a una molécula capaz de capturarlo, la cual indica un transporte de electrones espontáneo a través de la cadena fotosintética que contiene un conjunto de enzimas y coenzimas de oxidación-reducción, localizadas asimétricamente en el tilacoide, cuya función es permitir el transporte de electrones espontáneo, hasta llegar al NADP⁺ y reducirlo a NADPH.

Todo lo anterior ocurre para el fotosistema I lo mismo sucede pero con otras enzimas en el fotosistema II.

En la tercera fase se le llama también como fase oscura de la fotosíntesis, involucra la reducción del dióxido de carbono hasta carbohidratos, a expensas del NADPH y ATP producidos durante la fotofosforilación. Dicha reducción se efectúa por tres vías metabólicas diferentes según la planta de que se trate denominadas C-3, C-4 y CAM.

La vía fotosintética C-3 corresponde al ciclo de Calvin-Benson, se efectúa en el estroma del cloroplasto y consiste en una serie de reacciones enzimáticas pertenecientes al tipo de carboxilaciones, isomerizaciones, condensaciones y rearrreglo de azúcares. Los sustratos iniciales de este ciclo son el dióxido de carbono, el agua y el producto final es la fructosa fosforilada.

Por otra parte ocurre la fotorespiración en que el sustrato inicial es el glucolato y el producto final el dióxido de carbono.

Para las plantas C-4 la vía fotosintética consiste de un sistema de doble carboxilación, compartimentalizado en diferentes tipos de células fotosintéticas, denominadas células del mesófilo y células del haz envolvente. La doble carboxilación involucra una carboxilación primaria realizada en el citoplasma de las células del mesófilo y una carboxilación secundaria correspondiente al ciclo de Calvin-Benson y realizada en el estroma cloroplástico de las células del haz envolvente.

A intensidades luminosas y temperaturas altas, éstas plantas respiran normalmente y el dióxido de carbono producido en el citoplasma de las células del haz envolvente se difunde fácilmente hacia el citoplasma de las células del mesófilo, y por la gran afinidad que presenta la fosfoenol piruvato carboxilasa (PEP carboxilasa) por este sustrato es inmediatamente fijado formando el

oxalacetato y continuando la vía de la fijación de carbono para la formación de trioxifosfato y a su vez carbohidratos (glucosa).

Las plantas CAM (Metabolismo Acido de las Crasuláceas) crecen en condiciones hídricas desfavorables, también tienen una doble carboxilación en función del tiempo y no del espacio como en las plantas C-4 ya que la carboxilación primaria ocurre en la noche cuando los estomas están abiertos y la secundaria (Ciclo de Calvin-Benson) es realizada durante el día a expensas del NADPH y ATP.

La extensión en que se realiza la fotosíntesis en una planta depende de una serie de factores internos y externos. Los principales factores internos son la estructura de la hoja y su contenido en clorofila, la acumulación de los productos de la fotosíntesis en las células de las partes verdes de las plantas y la presencia de pequeñas cantidades de sales minerales. Los factores externos son la calidad y cantidad de luz incidente en las hojas, la temperatura ambiente y la concentración de dióxido de carbono y de oxígeno en la atmósfera envolvente (Cuerda et al, 1987).

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 miles de millones de toneladas de materia seca (equivalente a 6×10^{10} kilocalorías) Demeneyer, 1985.

b) Fotoperíodo

El fotoperíodo es la cantidad de horas luz y oscuridad que las plantas necesitan para iniciar la floración (Grajales, 1987).

De acuerdo con la Cuerda et al (1987) la longitud del día varía según un ciclo estacional, con variaciones de la duración relativa del día y de la noche dependientes de la longitud:

a 15° latitud : de 13 a 11 horas

a 30° latitud : de 14 a 10 horas

a 45° latitud : de 15 a 9 horas

a 60° latitud : de 18 a 6 horas

Allard y Garner (1920) fueron los iniciadores de las observaciones que llevaron al descubrimiento del fotoperiodismo. Las variedades subtropicales de tabaco y de soya cultivadas en la alta latitud de Washington, en verano no florecían con ningún medio, pero continuaban la diferenciación foliar, alcanzando dimensiones anormales, el mismo cultivo en invierno florecía rápida y profusamente, en invernadero, después de haber diferenciado un número limitado de hojas, completando el ciclo vital en un tiempo breve.

Según la longitud del fotoperiodo las plantas pueden clasificarse en brevidiurnas, longidiurnas y fotoindiferentes.

Las plantas brevidiurnas necesitan de un periodo de oscuridad más largo que el umbral crítico (12-14 horas) y no pueden florecer bajo condiciones de iluminación continua. Las especies de origen tropical y subtropical, generalmente pertenecen a este grupo: soya, tabaco, sorgo, camote, etc.

En las plantas longidiurnas se inhibe la floración si el periodo de oscuridad supera el fotoperiodo crítico (12-14 horas) y pueden florecer bajo iluminación continua. Estas plantas son originarias de altas y medias latitudes: como el trigo, haba, remolacha, trébol, etc.

La floración de las plantas fotoindiferentes no depende de la duración de la noche, en este rango se tiene al girasol, calabaza y tomate y muchas brevidiurnas que se han adaptado a un nuevo ambiente.

En las plantas, la percepción de la luz es medida por el fitocromo un pigmento con una gran absorción en la zona de la luz roja y rojo lejano que se halla en las hojas y en la semilla. El estímulo fotoperiódico se transmite de las hojas a los ápices vegetativos a través de un proceso hormonal.

El fitocromo es una cromoproteína presente en las células de las hojas, es el pigmento fotorreceptor de las plantas intermediario entre ambiente y planta, puesto que la potencialidad del desarrollo de las plantas queda manifiesta en su genotipo, y el ambiente controla su capacidad de expresión. Estrictamente, dentro del ambiente el factor más importante que controla el desarrollo de las plantas es la luz, y el fitocromo cromorreceptor de dicha señal, transduce a señales químicas, propiamente "fitohormonas" que desencadenan toda una serie de eventos metabólicos para provocar la respuesta.

El fitocromo existe en dos formas reversibles que tienen dos máximos de absorción: uno para la radiación roja de 600 nm (forma Pr) y otro para la radiación rojo lejano de 730 nm (forma Pfr). La radiación roja clara prevalece sobre la roja oscura (infrarroja) y lleva a la formación de fitocromo 730; en la oscuridad, la radiación roja clara está ausente y la radiación infrarroja provoca el paso al fitocromo 660. La floración de las plantas está determinada por el fitocromo 730, que es la forma fisiológicamente activa. Si esta forma de fitocromo no desciende por debajo de cierto umbral, las plantas brevidiurnas no florecen.

El manejo del fotoperiodo se puede manipular cubriendo un cultivo con tela de plástico negra o bien usar iluminación artificial, según nos convenga.

Además de la floración, existen otros procesos en las plantas que están determinados o influidos por el fotoperiodo: 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.

c) Germinación

Este punto lo describen Grajales y Martínez en 1987, como la primera etapa del ciclo biológico de una planta superior, consiste en una serie de eventos génico-metabólicos disparados por factores exógenos y endógenos que conducen a la emergencia de la radícula.

Una semilla se constituye de embrión, endospermo y testa; de acuerdo a su comportamiento ante el factor luz, se clasifican como: fotosensibles que a su vez pueden ser fotoblásticas positivas (dependientes de la luz) cuando su proceso germinativo requiere de la presencia de luz, además de los otros factores necesarios, la oscuridad inhibe su germinación y generalmente la mayoría de las semillas pequeñas pertenece a esta categoría. Por otra parte están las fotoblásticas negativas (dependientes de la oscuridad), su germinación sólo se presenta cuando se encuentran en una oscuridad total inhibiéndose en presencia de luz, como es el caso de la papa.

No fotosensibles.- cuando no es indispensables la presencia o ausencia de la luz para su germinación.

La germinación comprende la imbibición, reactivación del metabolismo y crecimiento del embrión.

Si las semillas son fotoblásticas positivas, la imbibición debe ser precedida de la activación del fitocromo; si son fotoblásticas negativas la sola imbibición dispara dichos proceso metabólicos, pues el fitocromo ya está activado.

d)Otros efectos de la luz en las plantas

De acuerdo a la intensidad de la luz las plantas pueden clasificarse según los rangos de intensidad en que prosperen mejor como plantas heliófilas (de sol), umbrófilas (de sombra) e indiferentes.

La condición de la etiolación se presenta cuando la intensidad de la 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 presentan clorosis general y malformación de las hojas.

La dirección de la cual proviene la luz, determina en alto grado la dirección del crecimiento de los tallos y las hojas, cada parte de la planta tiene un efecto con la luz, mientras que el tallo crece hacia la fuente de luz, la raíz lo hace en sentido inverso, cualquier movimiento que sea una reacción al estímulo de la luz se conoce como *fotootropismo*. (Torres, 1983)

Si se compara el valor en calorías de la materia orgánica producida por unidad de área cultivada, con la radiación incidente en la misma área y durante el mismo periodo se tendrá un parámetro para medir la eficiencia de la utilización de la radiación por las plantas.

En general un cultivo común convierte en materia orgánica sólo el 1% de la radiación solar que recibe. El maíz, un cultivo muy eficiente puede llegar a convertir hasta el 1.05% en materia orgánica, incluyendo grano, rastrojo, raíces y espigas si las condiciones son óptimas.

En ausencia de déficits de agua, nutrientes u otros factores limitantes, existe una alta correlación entre la radiación y el rendimiento de los cultivos, por lo que dicha relación puede ser útil para la solución de los problemas prácticos como la selección de la fecha de siembra, orientación de siembras y plantaciones, selección de especies y variedades para ser cultivadas en lugares dados, etc.

La regulación de la radiación solar recibida por los cultivos pueden hacerse mediante dos caminos: prácticas agronómicas e iluminación artificial. Las prácticas agronómicas, que son más factibles económicamente, incluyen la densidad de población, la orientación de la siembra o plantación, aclareos, podas, etc. (Romo, 1989).

2.9.2 Aplicaciones de la Radiación Solar en el diseño y funcionamiento de la Infraestructura Agrícola

La historia muestra que desde hace siglos el hombre ha tratado de aprovechar la energía solar. Empero, sólo hasta la década de 1970 es cuando se ha incrementado la investigación y el desarrollo de distintos sistemas para la captación y el aprovechamiento de la energía solar, la cual es segura, está 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 se puede aprovechar en forma directa y también en forma indirecta a través de un medio auxiliar. Los métodos más usuales de aprovechamiento directo son: conversión fototérmica y fotovoltaica. El aprovechamiento indirecto de la energía solar se hace bajo el método de conversión fotosintética. (Fuentes, 1989).

Para captar de forma directa la energía solar existen actualmente dos métodos de los que se tienen suficientes conocimientos ,encontrándose en el mercado numerosos dispositivos y aparatos para la captación y utilización de la energía solar.

El primer método es el de conversión fotovoltaica, que consiste en la conversión directa de la energía solar en eléctrica, por medio de celdas solares. El segundo método consiste en la conversión directa de energía solar en calor. (Besnier, 1980).

De acuerdo con López, 1990, la palabra fototérmica se usa para describir el tipo de aplicaciones en las cuales se aprovechan la conversión de energía solar en energía calorífica para luego usar esta concentración de calor como fuente energética.

Los dispositivos utilizados para tal fin son los colectores y concentradores, los primeros utilizan energía directa del sol y operan a temperaturas menores que los concentradores, los cuales como su nombre lo indica enfocan la radiación incidente en áreas pequeñas lo que resulta en un aumento considerable en la producción de calor.

Un colector es un dispositivo que consta de una placa absorbedora, un cajón contenedor, una cubierta transparente y material de aislamiento alrededor de un cajón. Ver figura 10.

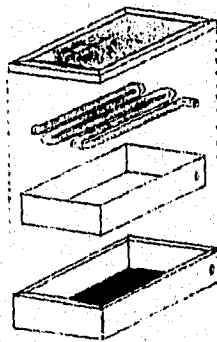


Figura 10: Colector Plano. Fuente: López (1990)

En general, se puede hablar de tres tipos de colectores planos los que son sin cubierta (a), con cubierta (b) y con doble cubierta (c). Figura 11.



Figura 11: Tipos de colectores planos. Fuente: López (1990)

Los concentradores solares como su nombre lo indica concentran en una superficie menor la energía solar, en donde un elemento absorbedor la colecta para su utilización. Al concentrarse la radiación, la generación de calor es mucho mayor, estos se clasifican en concentradores de transmisión y de reflexión, los primeros se sirven de lentes ópticas hechas de material transparente para enfocar los rayos de luz que los atraviesan, mientras que los segundos se forman con espejos o superficies reflectoras de forma geométrica adecuada para alcanzar el mismo fin.

Utilizando un colector plano o un concentrador se da paso a muchas aplicaciones agrícolas que los toman de base tales como los calentadores de agua, los destiladores solares, estufas solares, secadores solares de productos agrícolas, bombeo de agua, etc. A continuación se describirán los procesos más sencillos.

a) Destilador de agua

El destilador de agua nos proporciona unos cinco litros diarios de agua potable, es muy útil en lugares apartados y fácil de construir, se cava un foso de un metro cúbico, se deposita en el fondo trozos de nopal o de cualquier cactácea, en el centro se coloca un bote con capacidad mínima de cinco litros, se tapa con un plástico que se sostiene con piedras, se coloca una en el centro, de tal forma que la superficie se incline hacia abajo.

La radiación solar que penetra en el interior del foso evaporará el agua del vegetal, la cual es contenida por este en abundancia; el vapor se condensará al hacer contacto con la superficie inferior,

fría, del plástico y las gotas de agua formadas así resbalarán hacia el centro de este para después gotear sobre el recipiente central. Ver figura 12.

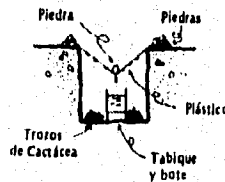


Figura 12: Destilador de Agua. Fuente: López (1990)

b) Secador solar

Respecto a los secadores, García y Badell (s/f) señalan que en la agricultura se desperdicia gran cantidad de energía para el secado de las cosechas; con la ayuda del sol, que produce diez mil veces el total de todas las energías que el hombre puede disponer en la tierra, el descubrimiento de materiales nuevos y el avance tecnológico en la fabricación de determinados productos plásticos, se puede lograr un sensible ahorro agroenergético.

López considera que la exposición de los productos al sol tiene como desventaja que estos quedan expuestos a la acción directa de roedores, pájaros y otros animales que comen de ellos, sufren el efecto del viento, las impurezas que acarrea como polvo, y basura, además de estar expuesto a la lluvia, por ello recomienda un secador construido con un armazón de varas o tablillas como el de la figura 13.

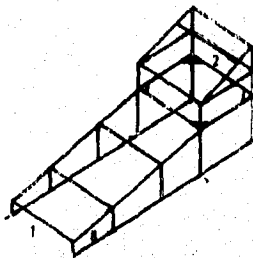


Figura 13: Secador Solar (Parte 1). Fuente: López (1990).

Se cubre toda la amazón con plástico, excepto las partes anterior y posterior (1) y (2) respectivamente. Tampoco se cubre la parte inferior.

Se construye un cajón cuyo fondo será de malla y en el cual se colocará posteriormente el alimento por secar. figura 14.

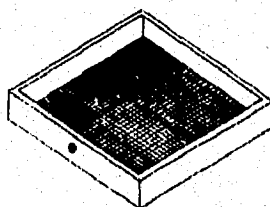


Figura 14: Secador Solar (Parte 2). Fuente: López (1990).

Ahora se construirá un armazón para chimenea como el mostrado en la figura 15.



Figura 15: Secador Solar (Parte 3). Fuente: López (1990).

Este se forrará en las caras laterales con plástico. Al final se coloca la chimenea y el cajón con alimento, en el armazón principal como se muestra en la figura 16. El secador esta terminado.

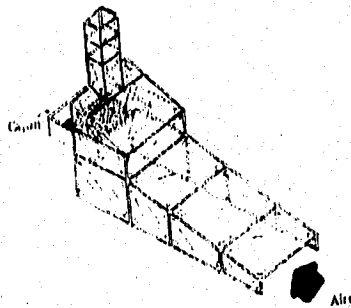


Figura 16: Secador Solar Terminado. Fuente: López (1990).

El bombeo de agua también se puede hacer utilizando la energía solar. Se requiere los elementos de la figura 17.

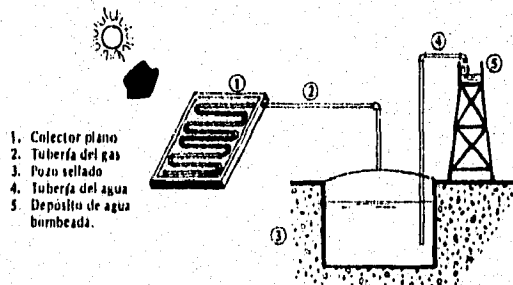


Figura 17: Bombeo de agua Fuente: López (1990)

El procedimiento es simple, la tubería que proviene del colector plano contiene un gas de bajo punto de licuefacción, que se expande al calentarse y ejerce una presión al interior del pozo, el cual

debe estar totalmente sellado para que el gas no escape. la presión ejercida por el gas empuja el agua por la tubería para depositarse en el tanque, después de lo cual puede ser utilizada.

En lo referente a los métodos fotoeléctricos que transforman la energía del sol en electricidad, el más convencional es el que utiliza dinamo-generadores, que usan el principio de electromagnetismo. Otro método más novedoso es el que usa células fotovoltaicas, las cuales convierten directamente una energía en otra, sin embargo, por requerir una técnica sofisticada y por el costo de fabricación, no es posible la fabricación de las células en un contexto rural, empero puede resultar más barato que poner un cableado hasta una localidad muy apartada. (López, 1990).

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Caracterización del lugar de estudio

El presente trabajo se hizo con datos de la Estación Meteorológica "Almaraz" en el Campo 4 de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la UNAM, ubicada a $90^{\circ}11'42''$ de longitud oeste y $19^{\circ}41'35''$ de latitud norte y a 2252 msnm, en el municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México (Ver anexo 1) fue creada en 1981 y cuenta con un registro continuo a partir de 1987 a la fecha.

Mercado y Baez reportan la caracterización climática en 1992 de la manera siguiente: temperatura promedio de 14.7°C , humedad relativa 67.9%, presión atmosférica 585.1 mmHg, precipitación de 569.1 mm, evaporación de 1471 mm, horas de insolación 7:18, radiación solar de 449.52 langley.

La zona se clasifica según el sistema de Köppen, modificado por García, como $\text{Cw}_0 \text{b}(\text{i}')$; esto es templado subhúmedo con lluvias en verano, el más seco de los subhúmedos, con verano fresco, poca oscilación de temperatura y sin presencia de sequía intraestival.

3.2 Metodología

El procedimiento utilizado fue el siguiente: primero se obtuvieron los datos de las gráficas de registro de un piranógrafo tipo Robitzsch, continuas desde 1988 hasta 1994 salvo en algunas ocasiones que por calibración del instrumento no fue posible la obtención de esos datos.

Para procesar esta información se siguió el procedimiento para evaluar los totales diarios de radiación solar global que propone Leyva et al (1990), los cuales son:

a) Determinación de la constante de la tira de graficación de un piranógrafo del tipo Robitzsch:

Esta constante se define como la equivalencia entre la energía por unidad de área (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, la que se representa como C_g , puede determinarse de la siguiente manera:

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

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

en donde, si consideramos que la tira tiene un rectángulo impreso dentro del que se realiza la graficación, ver figura 18.

entonces:

$(C_i \times a)$: representa la equivalencia de la altura del rectángulo de graficación en $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{min}$

m : es el número de minutos de siete días, que corresponden a la base del rectángulo de graficación (10 080 minutos), ver figura 19.

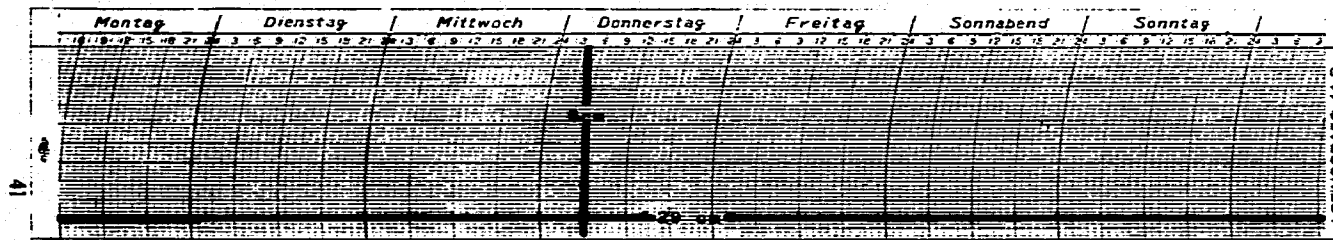
a : es la altura, en cm, del rectángulo de graficación medida desde el nivel cero (línea base) hasta la marca correspondiente al máximo de la escala impresa en la tira.

b : es la base en cm, del rectángulo de graficación correspondiente a siete días de registro.

b) Delimitación del área de registro

En la tira con registro se delimita la gráfica diaria marcando la hora de inicio y la hora 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 la gráfica de registro.

Figura 18: Area de La Gráfica del Actinógrafo tipo Robitzsch.

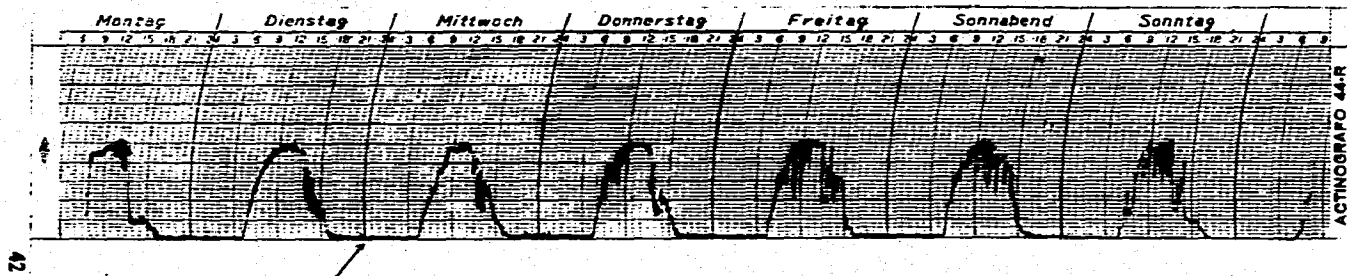


$a = 5$ cm. Corresponde a la altura en centímetros del rectángulo de graficación.

$b = 29$ cm. Corresponde a la base en centímetros del rectángulo de graficación.

$(a)(b) = 145$ cm². Corresponde al área en centímetros del rectángulo de graficación.

Figura 19: Gráfica del Actinógrafo.



Línea base.

m: base del rectángulo de graficación

Estación Almaraz, Comtitián Izcalli, México. UNAM:

Fecha: Semana del 31 de Julio al 6 de Agosto de 1995:

c) Determinación del área de registro

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.

d) Evaluación 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 en el inciso c, se multiplican por la constante de la tira del registro (C_g), que en nuestro caso es 198.2

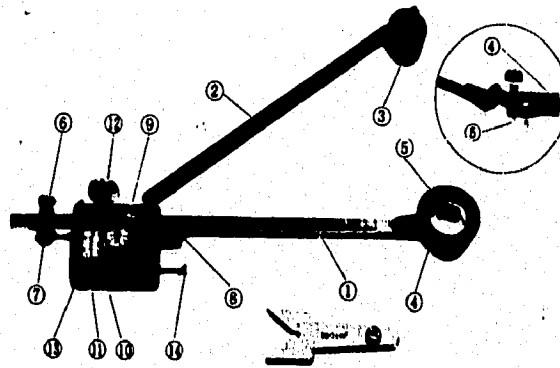
El resultado de esta operación es el total diario de la radiación solar global (R_g) en $\text{cal}/\text{cm}^2/\text{día}$

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

En suma, se obtuvo con el planímetro una lectura de cada uno de los días desde Enero de 1989 hasta Diciembre de 1994, el valor diario se multiplicó por la constante del planímetro y se obtuvo el área en centímetros cuadrados.

Posteriormente, se elaboró un listado promedio diario mes por mes en el que se registró el área obtenida con el planímetro, y después ese valor se multiplicó por la constante instrumental del Actinógrafo (C_g) y se obtuvo la radiación global por el Método Planimétrico.

Es importante señalar que el planímetro es un instrumento para la determinación de áreas de figuras en superficies planas ya sea en forma regular o irregular en mapas o planos, etc. ver figura 20.



- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1.- Brazo tira líneas | 8.- Vernier |
| 2.- Brazo polo | 9.- Revolucionador |
| 3.- Pesa | 10.- Rueda de medida |
| 4.- Mano asiento | 11.- Rueda de medida vernier |
| 5.- Lupa de trazo | 12.- Rueda ociosa |
| 6.- Tornillo de almeja | 13.- Carruaje |
| 7.- Movimiento fino de almeja | 14.- Marca cero |

Figura 20: Planimetro y sus componentes. Fuente: Manual del Instrumento (s/f).

En un listado mensual aparte se registró el número de horas de insolación de cada día del periodo de tiempo comprendido de Enero de 1989 a Diciembre de 1994 y se calculó la radiación global por el método de Angström, para lo cual fue necesario conocer los valores de Angot y la duración astronómica de la insolación que se muestra en los anexos 1 y 2 respectivamente.

Una vez concluidas ambas listas se promediaron con los datos de cada año obteniendo un promedio por día, así se redujo a tres columnas el número de datos haciendo más accesible su manejo, luego se hizo una correlación lineal simple de los valores de la radiación obtenida por el método planimétrico y la obtenida por el método de Angström, tanto a nivel diario como a nivel

mensual, para saber que tanto es la relación que guardan unos datos con otros . Esta correlación se hizo en la computadora con el paquete de Lotus 1-2-3.

IV RESULTADOS Y ANALISIS

Los resultados y su análisis correspondiente, obtenidos en este trabajo se presentan a continuación:

En la tabla 1 se tienen tres columnas, la primera reporta los valores promedio diario de la serie de datos del periodo de enero de 1989 a diciembre de 1994, obtenidos por el método planimétrico en Langley, con datos de un actinógrafo del tipo Robitzsch; en la segunda columna de esta tabla se tienen las horas de insolación promedio diario durante el mismo lapso de tiempo, obtenidas a través de un heliógrafo tipo Campbell-Stokes y en la tercera columna la radiación solar global promedio diario obtenida por el método de Amstrón o de insolación.

En la tabla 2, se muestran de nuevo esta tres columnas, solo que los datos están reportados como el promedio mensual. En ambas columnas se utiliza una coma en vez de punto para separar los números enteros de los decimales. Utilizando cada una de las tres columnas de las dos tablas se realizaron ocho gráficas que muestran el comportamiento anual de los datos registrados.

En la gráfica 1 se tiene a la insolación promedio diario, se marcaron 366 valores usando el año juliano, se observa que los valores van desde tres horas hasta once horas de insolación, el comportamiento durante el año es: para el mes de enero los datos se presentan muy variables, pero en general son bajos, tienden a aumentar de febrero a mayo, logrando en este último mes sus valores más altos, luego tiende a disminuir de junio a septiembre que es el periodo de lluvias para la zona de estudio, debido a la gran nubosidad característica de esta época del año, llegando a alcanzar los valores mínimos en septiembre, para luego incrementar de octubre a diciembre.

**TABLA No. 1 DATOS PROMEDIO DIARIO DE LA
ESTACION ALMARAZ, CUAUTITLAN IZCALLI, MEXICO.
PERIODO 1989-1994**

.ENERO	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
1	375,09	9,79	440,98
2	366,17	7,54	383,89
3	433,563	9,16	424,9
4	414,734	9,25	427,025
5	405,815	9,86	427,763
6	384,508	8,79	409,15
7	396,4	8,73	437,065
8	372,121	6,98	372,778
9	397,887	6,36	381,178
10	390,85	7,47	382,426
11	420,184	8,48	410,163
12	440,4	8,00	394,2
13	389,661	6,83	324,697
14	399,175	6,72	380,254
15	426,526	10,58	392,647
16	371,625	6,54	358,63
17	387,977	5,95	384,567
18	386,49	7,77	374,358
19	428,905	7,92	402,018
20	428,905	9,53	434,918
21	382,13	8,71	383,41
22	403,535	11,11	440,983
23	378,562	8,92	418,583
24	401,851	5,73	338,045
25	343,382	6,44	356,043
26	302,751	3,67	286,05
27	339,913	6,15	348,59
28	350,319	7,38	379,685
29	382,031	6,75	363,853
30	424,148	8,33	403,847
31	382,526	6,61	360,213
PROMEDIO MENSUAL	380,585	7,81	387,836

TABLA No.1 (CONTINUACION)

FEBRERO	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
1	395,409	6,35	388,583
2	407,499	7,48	419,446
3	437,626	7,88	430,063
4	475,68	7,56	421,565
5	467,356	7,83	426,997
6	393,427	6,74	399,164
7	424,941	5,90	376,332
8	500,653	6,35	442,907
9	475,68	9,50	474,25
10	488,563	9,96	486,673
11	502,933	9,74	480,875
12	509,87	9,92	485,614
13	499,464	9,37	470,635
14	510,035	9,63	477,64
15	512,942	10,13	490,998
16	539,897	9,57	476,117
17	499,464	9,75	481,1
18	526,221	9,96	475,423
19	504,915	9,32	471,088
20	520,275	8,36	443,27
21	522,852	9,79	482,145
22	500,257	9,79	482,188
23	501,446	9,02	461,258
24	556,548	10,13	491,43
25	569,23	9,88	479,198
26	478,158	8,31	441,953
27	494,014	7,29	414,16
28	533,654	9,73	480,558
29	531,176	4,75	345,18
PROMEDIO MENSUAL	492,42	8,88	461,897

TABLA No.1 (CONTINUACION)

MARZO	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
1	525,726	8,65	499,414
2	552,483	9,10	512,592
3	562,888	9,69	530,623
4	573,294	9,70	530,262
5	541,582	10,08	541,668
6	531,176	9,63	528,364
7	520,473	9,90	536,103
8	526,816	8,07	482,198
9	568,834	8,96	508,465
10	605,303	8,88	489,292
11	535,536	8,07	482,227
12	581,915	9,31	518,733
13	493,122	9,89	535,84
14	595,086	9,62	527,95
15	599,357	10,47	552,665
16	611,645	10,41	551,065
17	603,717	9,42	521,977
18	582,312	9,97	538,387
19	530,78	8,42	492,456
20	518,491	6,42	433,585
21	530,681	9,54	525,71
22	530,681	9,10	512,642
23	515,32	7,90	477,412
24	562,888	8,19	485,962
25	509,77	7,33	460,618
26	559,585	8,21	486,452
27	596,261	8,32	489,626
28	594,996	9,48	523,868
29	591,032	9,71	530,648
30	579,24	8,36	491,062
31	552,582	7,13	454,465
PROMEDIO MENSUAL	557,603	8,96	508,148

TABLA No.1 (CONTINUACION)

	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
ABRIL			
1	484,401	6,93	474,17
2	507,788	8,59	530,437
3	450,31	7,54	498,323
4	424,941	5,77	443,718
5	445,95	6,83	473,643
6	518,491	6,05	452,514
7	556,942	8,10	510,277
8	569,23	8,96	541,973
9	561,302	7,98	511,954
10	567,248	8,29	528,51
11	526,818	7,17	486,795
12	526,798	7,97	507,095
13	514,527	7,63	500,865
14	509,87	7,17	478,835
15	531,872	8,10	515,724
16	526,818	8,23	525,108
17	518,491	9,09	568,218
18	621,853	7,40	493,94
19	578,744	8,80	535,042
20	556,546	8,70	533,936
21	484,401	8,17	485,854
22	570,023	8,28	519,37
23	552,582	7,37	493,012
24	492,725	5,64	429,393
25	466,959	6,53	467,373
26	518,293	9,27	550,912
27	476,076	7,58	499,656
28	556,149	9,46	557,387
29	552,483	8,35	520,548
30	539,104	8,81	531,277
PROMEDIO MENSUAL	523,661	7,84	506,466

TABLA No.1 (CONTINUACION)

MAYO	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
1	511,752	8,36	532,22
2	547,825	6,72	426,572
3	535,536	9,04	553,038
4	527,212	7,31	499,98
5	501,446	6,97	489,815
6	557,438	6,32	469,534
7	566,357	6,64	479,435
8	514,131	7,70	511,778
9	526,221	9,33	562
10	484,401	8,00	521,115
11	605,006	7,35	501,214
12	441,59	6,88	486,67
13	419,689	5,74	468,612
14	471,716	5,98	459,248
15	535,536	9,15	571,515
16	569,23	9,48	568,62
17	556,546	9,63	569,784
18	520,771	9,20	557,834
19	531,672	10,11	585,803
20	536,627	9,25	559,455
21	578,249	8,53	537,223
22	589,15	10,47	596,868
23	642,168	10,95	616,334
24	650,096	8,77	605,938
25	560,906	9,53	567,915
26	526,221	9,42	564,775
27	433,862	7,78	514,452
28	642,664	9,32	574,032
29	607,681	9,43	565,006
30	607,681	8,83	546,616
31	620,366	10,46	606,188
PROMEDIO MENSUAL	545,792	8,47	537,719

TABLA No.1 (CONTINUACION)

	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
JUNIO			
1	569,23	9,03	558,286
2	581,915	8,97	550,332
3	558,942	8,13	527,443
4	551,987	9,08	553,715
5	538,827	9,03	550,383
6	637,543	8,98	367,038
7	593,411	8,39	563,013
8	534,347	8,73	542,98
9	593,279	8,13	524,854
10	504,749	6,20	488,153
11	424,544	6,69	488,738
12	543,464	9,68	585,355
13	530,185	7,14	498,75
14	508,053	5,89	448,155
15	481,298	5,79	453,928
16	596,252	7,02	491,032
17	625,851	9,78	574,685
18	582,888	6,73	482,484
19	531,176	6,50	478,447
20	460,164	5,27	442,018
21	435,379	4,12	403,178
22	390,454	4,51	424,082
23	483,392	6,62	478,984
24	352,135	3,30	378,44
25	493,518	6,37	468,782
26	523,909	6,71	481,885
27	513,999	7,78	514,105
28	500,785	6,40	470,356
29	493,518	5,68	507,16
30	496,63	7,42	503,22
PROMEDIO MENSUAL	519,554	7,17	482,468

TABLA No.1 (CONTINUACION)

JULIO	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
1	430,094	5,44	427,026
2	459,163	5,00	430,175
3	401,355	6,02	461,194
4	433,662	5,65	449,978
5	480,965	7,08	493,678
6	426,46	4,68	420,534
7	476,341	6,87	485,844
8	422,827	5,83	449,492
9	501,776	8,04	522,615
10	538,443	7,13	494,923
11	548,636	7,10	494,18
12	505,806	7,22	497,93
13	516,972	5,53	486,504
14	463,458	4,79	423,825
15	523,909	6,58	478,514
18	565,531	7,95	500,088
17	587,663	9,23	498,262
18	543,464	7,21	496,83
19	547,362	8,36	532,418
20	572,137	8,58	541,94
21	569,825	7,66	517,176
22	531,572	7,07	493,14
23	538,443	6,77	484,103
24	552,648	6,98	490,505
25	566,456	9,07	556,118
26	547,032	6,15	526,182
27	536,131	7,27	499,416
28	545,38	5,92	458,04
29	569,825	6,56	477,778
30	495,17	6,23	467,565
31	560,6	5,06	431,65
PROMEDIO MENSUAL	514,423	6,61	483,486

TABLA No.1 (CONTINUACION)

AGOSTO	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
1	555,356	8,06	518,407
2	578,348	8,77	541,365
3	552,582	8,13	521,458
4	527,212	7,40	499,088
5	486,959	6,69	477,338
6	483,608	5,11	428,605
7	493,122	7,17	492,02
8	531,176	6,52	472,11
9	527,212	7,02	487,376
10	518,623	6,21	482,503
11	489,224	5,72	447,592
12	538,443	8,57	535,156
13	539,104	8,15	522,242
14	539,5	8,62	567,573
15	545,05	7,67	514,89
16	520,275	8,50	532,988
17	442,647	5,72	445,647
18	499,134	6,23	463,195
19	520,275	7,85	512,672
20	535,801	8,08	517,975
21	538,443	9,02	548,804
22	548,684	7,87	513,745
23	505,41	6,77	479,752
24	414,238	5,19	431,22
25	481,626	5,65	445,376
26	515,32	7,78	510,928
27	558,924	7,88	513,77
28	527,212	8,87	538,138
29	518,623	8,52	534,048
30	531,672	7,33	497,214
31	453,217	5,80	449,928
PROMEDIO MENSUAL	516,833	7,34	497,828

TABLA No.1 (CONTINUACION)

	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
SEPTIEMBRE			
1	447,602	5,59	429,384
2	431,746	4,14	385,466
3	486,581	6,38	449,928
4	484,929	7,24	476,15
5	455,199	4,75	400,585
6	491,626	6,06	435,75
7	449,584	6,57	455,788
8	545,38	7,77	492,076
9	418,598	4,90	405,144
10	454,889	5,75	429,21
11	428,773	6,02	439,088
12	444,629	6,11	441,585
13	451,566	7,08	471,375
14	518,954	8,31	505,863
15	483,608	5,86	433,985
16	399,265	2,77	340,63
17	332,976	3,63	363,734
18	437,229	5,90	434,978
19	480,04	5,17	413,24
20	525,726	5,85	433,857
21	456,653	5,83	433,462
22	411,86	4,52	393,504
23	420,58	4,67	398,08
24	429,698	7,05	468,266
25	405,517	5,64	427,338
26	478,058	5,62	428,854
27	446,346	5,11	411,472
28	325,048	3,76	370,745
29	371,623	3,04	348,815
30	353,985	6,39	450,28
PROMEDIO MENSUAL	441,618	6,88	425,884

TABLA No.1 (CONTINUACION)

OCTUBRE	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
1	397,599	7,38	434,994
2	429,301	6,90	421,173
3	382,528	5,73	388,536
4	441,59	6,83	419,377
5	391,247	6,39	406,95
6	416,616	5,72	388,248
7	399,571	3,35	369,445
8	429,301	5,86	391,855
9	403,535	3,00	374,91
10	399,571	2,90	306,37
11	387,977	6,69	415,477
12	401,553	5,61	385,108
13	452,689	6,10	456,07
14	520,473	6,15	456,53
15	429,301	7,92	449,853
16	471,716	6,16	457,488
17	459,031	7,02	424,59
18	407,499	4,92	365,478
19	386,49	5,17	372,845
20	416,616	6,83	413,68
21	378,166	5,00	367,9
22	422,562	6,82	419,036
23	416,22	7,47	437,41
24	390,85	6,77	473,965
25	436,04	7,67	442,942
26	471,716	8,46	465,153
27	356,76	5,98	395,513
28	403,139	7,83	447,625
29	399,175	6,77	415,702
30	437,626	7,67	442,895
31	422,562	7,46	436,99
PROMEDIO MENSUAL	418,033	6,63	414,262

TABLA No.1 (CONTINUACION)

NOVIEMBRE	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
1	414,238	8,30	413,222
2	385,499	8,73	372,78
3	408,292	8,52	418,94
4	408,292	7,40	387,24
5	386,49	7,79	397,847
6	382,13	7,60	408,42
7	318,706	7,40	389,905
8	344,075	6,77	373,657
9	433,662	8,83	426,926
10	408,292	7,65	398,486
11	474,094	9,08	433,466
12	445,95	8,40	415,66
13	424,544	7,63	398,02
14	408,292	8,26	412,333
15	393,229	7,07	381,446
16	379,751	6,80	383,982
17	427,319	8,85	427,392
18	450,707	9,17	435,528
19	433,662	9,00	431,24
20	411,86	8,84	421,88
21	424,941	9,19	435,992
22	433,265	8,00	431,217
23	424,941	6,98	379,31
24	447,932	8,60	420,902
25	429,301	8,98	430,79
26	390,85	8,22	405,188
27	407,896	8,67	421,175
28	407,896	8,85	427,39
29	378,166	6,80	374,782
30	388,472	7,95	404,262
PROMEDIO MENSUAL	409,091	8,10	407,845

TABLA No.1 (CONTINUACION)

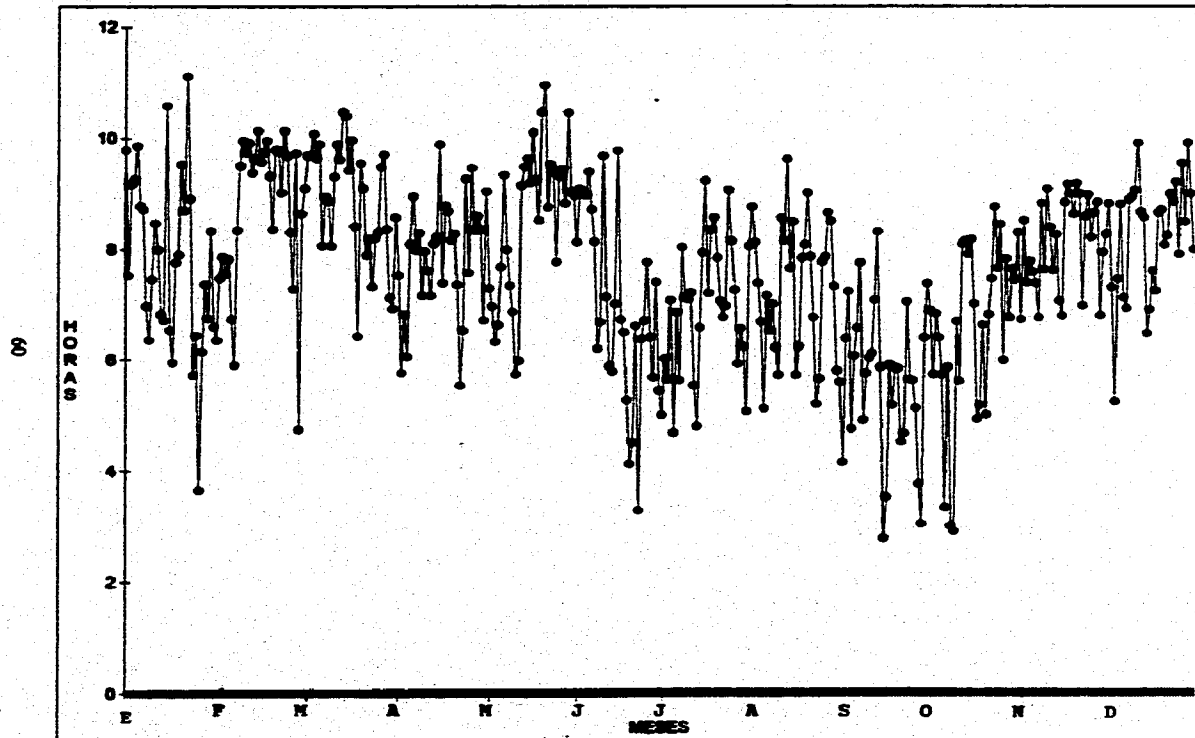
	Rg PROMEDIO PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION PROMEDIO (HORAS)	Rg PROMEDIO INSOLACION (LANGLEY)
.DICIEMBRE			
1	424,941	8,27	388,423
2	420,58	8,83	402,218
3	403,535	7,32	365,028
4	344,075	5,23	313,918
5	386,49	7,47	368,706
6	377,769	8,82	401,768
7	386,49	7,13	358,373
8	378,168	6,94	355,743
9	424,941	8,90	403,776
10	441,988	8,95	405,002
11	420,184	9,06	407,848
12	403,139	9,92	428,768
13	433,285	8,68	398,528
14	401,95	8,58	398,112
15	365,877	6,47	344,277
16	352,4	8,91	355,15
17	397,193	7,63	372,81
18	348,438	7,25	363,41
19	403,535	8,87	398,153
20	394,814	8,72	399,46
21	403,535	8,09	383,885
22	411,483	8,25	387,933
23	380,544	9,00	406,33
24	327,03	8,86	402,897
25	356,76	9,21	411,355
26	388,49	7,92	379,68
27	401,553	9,55	419,575
28	420,58	8,50	394,08
29	411,95	9,92	428,69
30	344,075	9,00	406,33
31	399,175	8,00	381,805
PROMEDIO MENSUAL	392,027	8,28	388,885

**TABLA No.2 DATOS PROMEDIO MENSUAL DE LA
ESTACION ALMARAZ, CUAUTITLAN IZCALLI, MEXICO.
PERIODO 1989-1994**

MESES	R_g PLANIMETRO (LANGLEY)	INSOLACION (HORAS)	R_g INSOLACION (LANGLEY)
.ENERO	390,585	7,81	387,636
.FEBRERO	492,42	8,68	451,697
.MARZO	557,503	8,96	508,145
.ABRIL	523,651	7,84	505,465
.MAYO	545,792	8,47	537,719
.JUNIO	519,554	7,17	492,458
.JULIO	514,423	6,81	483,485
.AGOSTO	516,033	7,34	497,526
.SEPTIEMBRE	441,615	5,58	425,554
.OCTUBRE	418,033	6,53	414,252
.NOVIEMBRE	409,091	8,10	407,845
.DICIEMBRE	392,027	8,26	388,065
PROMEDIO ANUAL	476,727	7,63	458,337

GRAFICA 1: INSOLACION PROMEDIO DIARIO. 1969-1994.

ESTACION ALBERAZ, CIUDAD DE IZCALLI. UNAM.



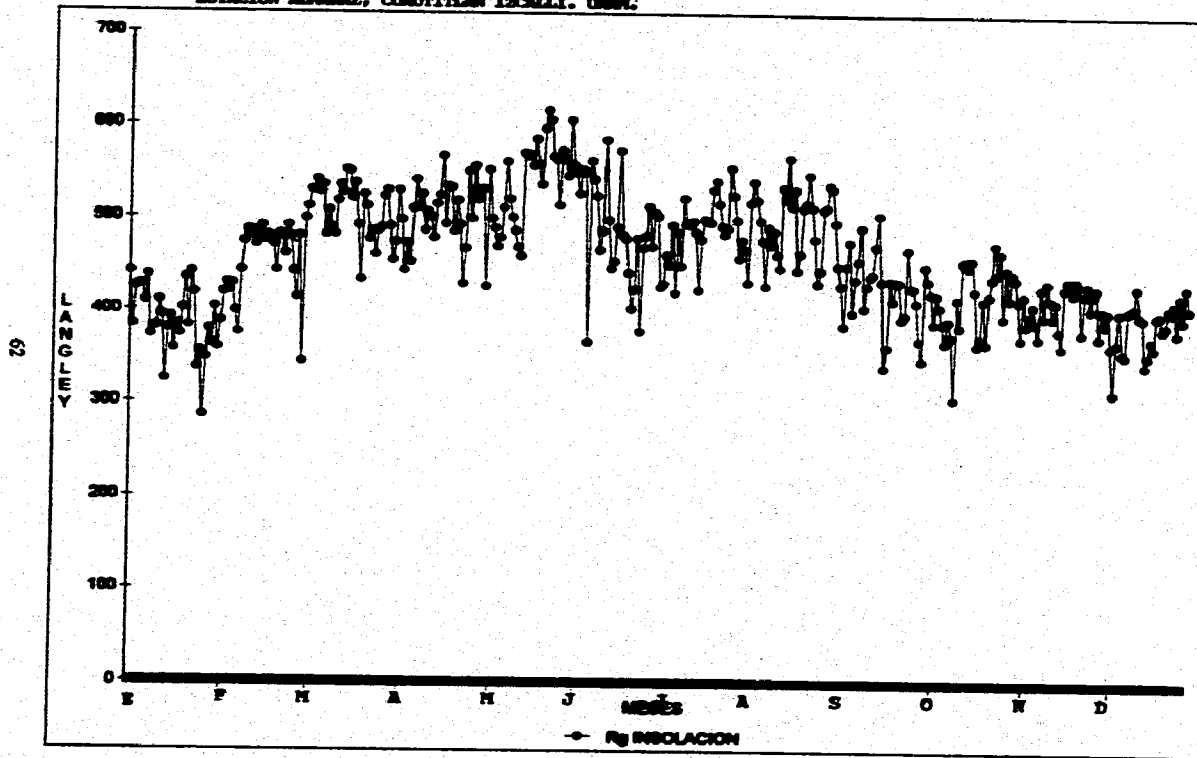
En la gráfica 2, se ve el comportamiento de la radiación solar global promedio diario calculada por el método de insolación. En enero los valores permanecen en un rango entre 300 y 450 Langley, lo mismo que los meses de octubre a diciembre, situación que cambia en febrero al incrementarse, pues la inclinación de los rayos solares empieza a ser más perpendicular, resultando una mayor radiación para el mes de mayo, posteriormente disminuye un poco de junio a septiembre a causa de la presencia de mayor nubosidad, característica de la época de lluvias en la zona.

En la gráfica 3 se presentan los valores promedio diario de la radiación solar global calculada por el método planimétrico, se observa que de octubre a enero los valores obtenidos son menores que en los otros meses, para aumentar en el mes de febrero hasta alcanzar los valores máximos en mayo, debido a la inclinación más cercana a la perpendicularidad en este periodo del año, después disminuye de junio a septiembre a causa del verano lluvioso que presenta el clima de la zona de estudio y que por la presencia de nubes disminuye la radiación que llega a la tierra a causa de fenómenos como la absorción, dispersión y reflexión de las partículas suspendidas en la atmósfera.

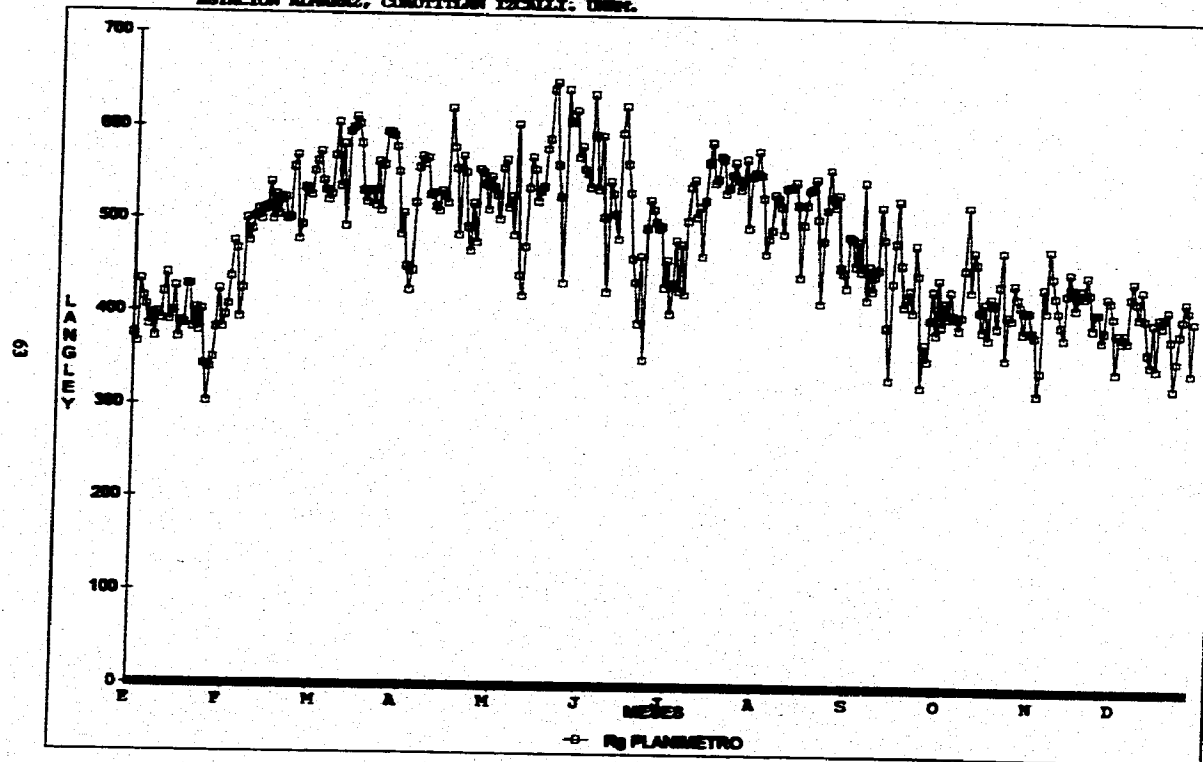
Si intercalamos las gráficas 2 y 3 obtendremos la gráfica 4: radiación solar global calculada por ambos métodos: insolación y planimétrico, en la que se ve una cierta similitud en el comportamiento a través del año, esta correspondencia va de los meses de octubre a enero en que los valores son menores comparados con los otros meses, después ambos métodos reportan un incremento para el mes de febrero que continua hasta mayo alcanzando valores máximos que disminuyen en el periodo de lluvias por la nubosidad y los efectos de ésta en la radiación solar, y es precisamente de esa tendencia similar que surge una pregunta obligada; ¿hasta dónde están relacionados unos valores con otros?, así que, para contestarla se realizó una regresión lineal simple, cuyos resultados se presentan en el cuadro 1 que muestra una $r^2=0.70$, indicando una correspondencia entre ambas columnas de datos del 70%.

Al resolver esta pregunta se cumplen algunos de los objetivos, pero al obtener los valores promedio mensual surgen otros cuestionamientos: ¿estarán relacionados de la misma forma unos valores con otros?, ¿la relación entre ambas columnas será mayor o menor?, para solucionar estas

GRAFICA 2: RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO DIARIO POR INSOLACION. 1989-1994
ESTACION ALBARRAZ, COMITULAN IZCMLL. UNAM.

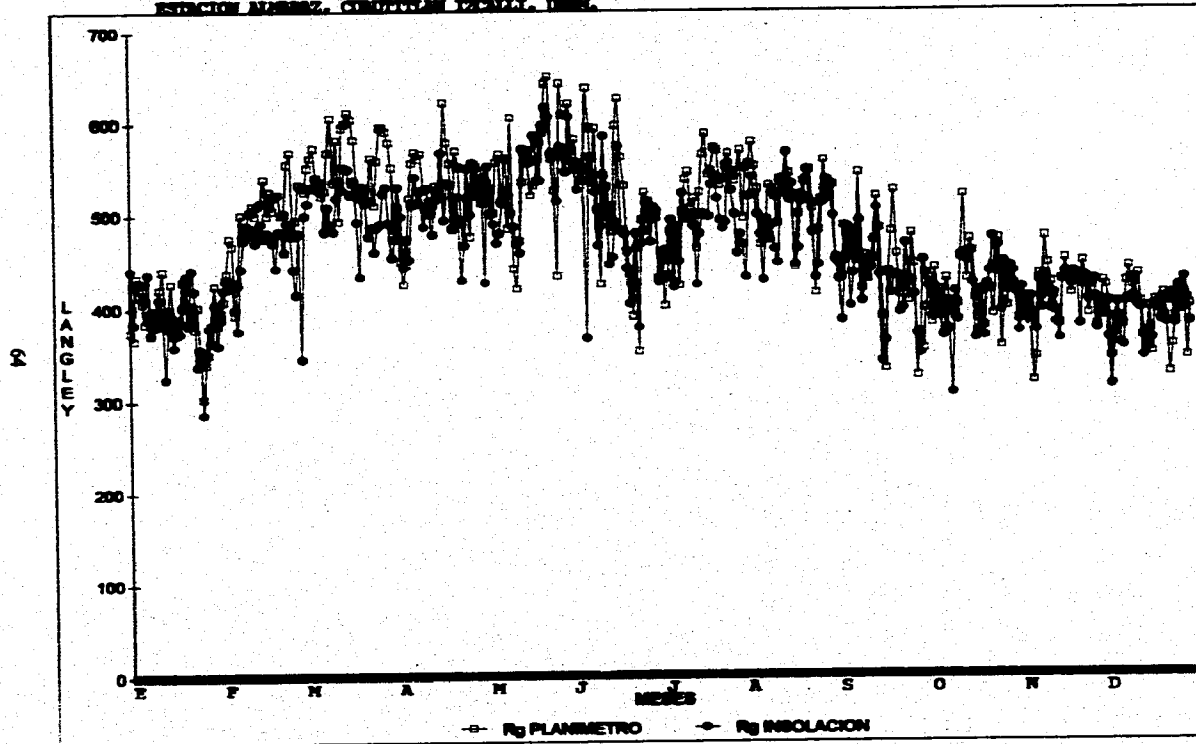


GRAFICA 3: RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO DIARIO POR PLANIMETRO. 1989-1994.
ESTACION ALPARRAZ, COMITIALEN LOCAL. UNIM.



GRAFICA 4: RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO DIARIO POR INSOLACION Y PLANIMETRO. 1989-1994.

ESTACION ALBERZ, CANTON SAN FCO, DHRG.



**CUADRO 1: RESULTADO DE LA REGRESION LINEAL ENTRE
LA RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO DIARIA
CALCULADA POR EL METODO DE INSOLACION
Y EL PLANIMETRICO.**

REGRESION

Constante	21.20
Error estándar de la Y estimada	40.43
R cuadrada	0.70
Número de observaciones	366
Grados de Libertad	364
Coefficiente(s) x	0.99
Error estándar del coeficiente	0.03

preguntas nos basamos en la tabla 2 y se realizaron cuatro gráficas mas que completan las ocho que se reportan.

La gráfica 5 nos muestra la insolación promedio mensual, que es alta para los meses de noviembre a mayo y que tiende a bajar de junio a octubre a causa de la nubosidad por el periodo de lluvias en verano.

En la gráfica 6 se tiene que la radiación solar global promedio mensual calculada por el método de Angström, o de insolación, en enero el promedio es cercano a 400 Ly y va en aumento con una ligera baja en abril hasta alcanzar en mayo un valor máximo 550 Ly en promedio y empezar a disminuir en los últimos meses del año.

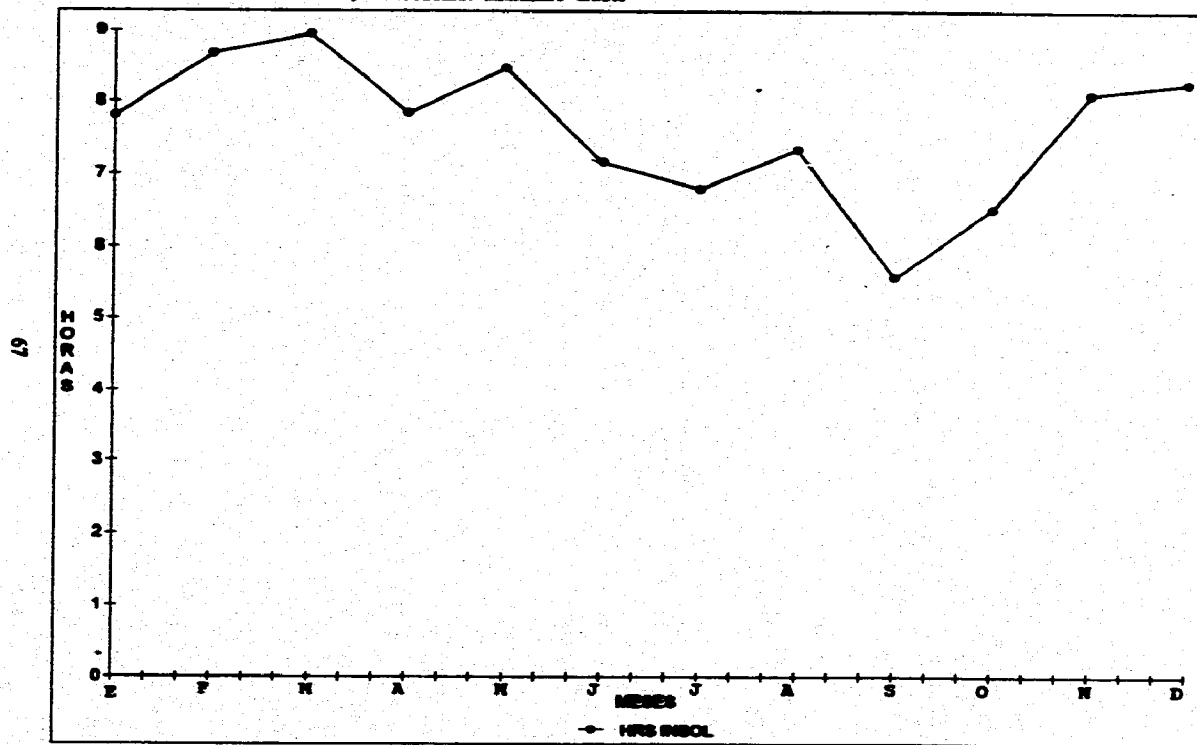
En la gráfica 7 observamos el comportamiento anual de la radiación solar global promedio mensual que presenta una asombrosa similitud con el comportamiento de la gráfica anterior, esto nos lleva a comparar en la gráfica 8 la radiación solar promedio mensual obtenida por los dos métodos, para darnos cuenta que efectivamente su comportamiento durante el año es muy similar, así que se hizo de nueva cuenta una regresión lineal simple entre esas dos columnas de valores y el resultado se ve en el cuadro 2 en que la r^2 es igual a 0.94 lo que nos dice que los valores promedio de las radiaciones obtenidos por los dos métodos guardan una correspondencia entre cada par de 94%.

La radiación solar sigue su curso diario independientemente si es cuantificada o no, empero conocer los datos de cantidad y calidad de luz que llega a la tierra es de gran utilidad, pues de la radiación solar que incide sobre las cubiertas vegetales una es reflejada y otra absorbida, de esta última se pueden tener tres efectos distintos en la planta, según la longitud de onda considerada: efectos dañinos o letales, efectos fisiológicos y efectos térmicos.

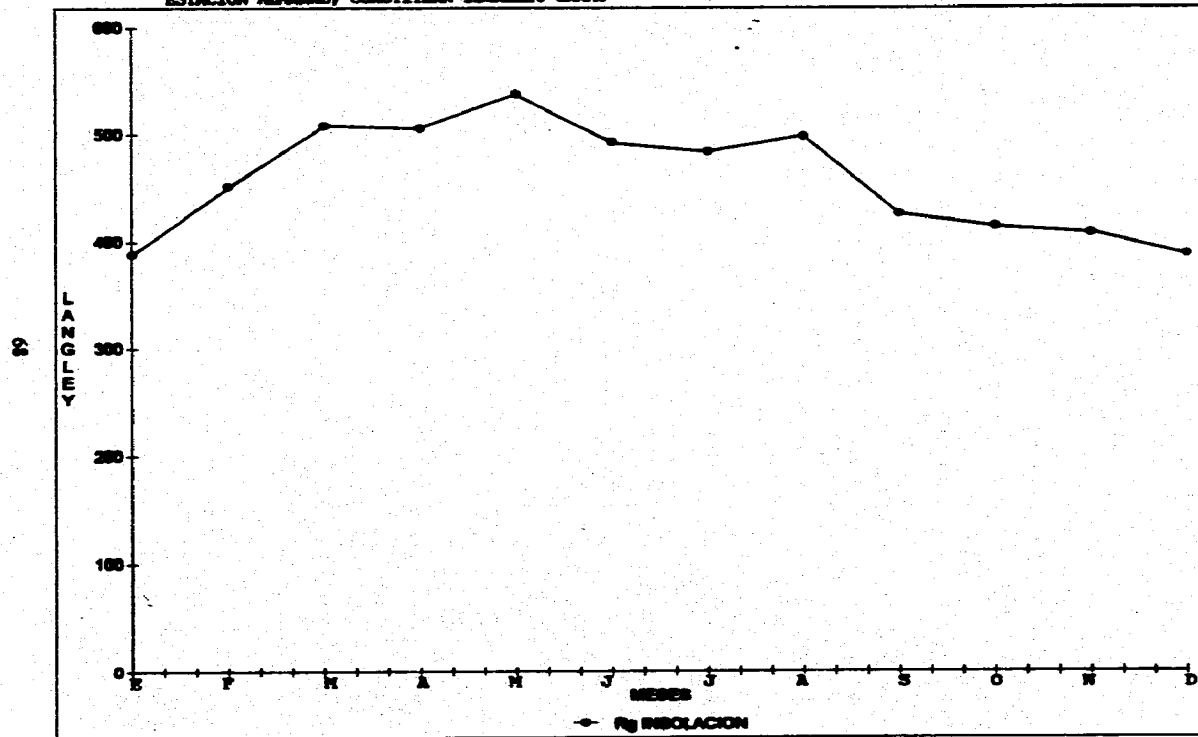
Tener conocimiento de la radiación solar es importante pues en ausencia de otros factores que limitan el desarrollo de las plantas, existe una alta correlación entre la radiación y el rendimiento del cultivo, que implica para el agricultor realizar prácticas de cultivo útiles como son la fecha de siembra, ya que se puede ver disminuido el rendimiento si se realiza en un periodo en que el día se acorta o se alarga demasiado, la orientación de siembras y plantaciones, los ciclos de cultivo, etcétera, existiendo cultivos como el café que requiere una cierta cantidad de luz y sombra; la

GRAFICA 5: INSOLACION PROMEDIO MENSUAL. 1989-1994.

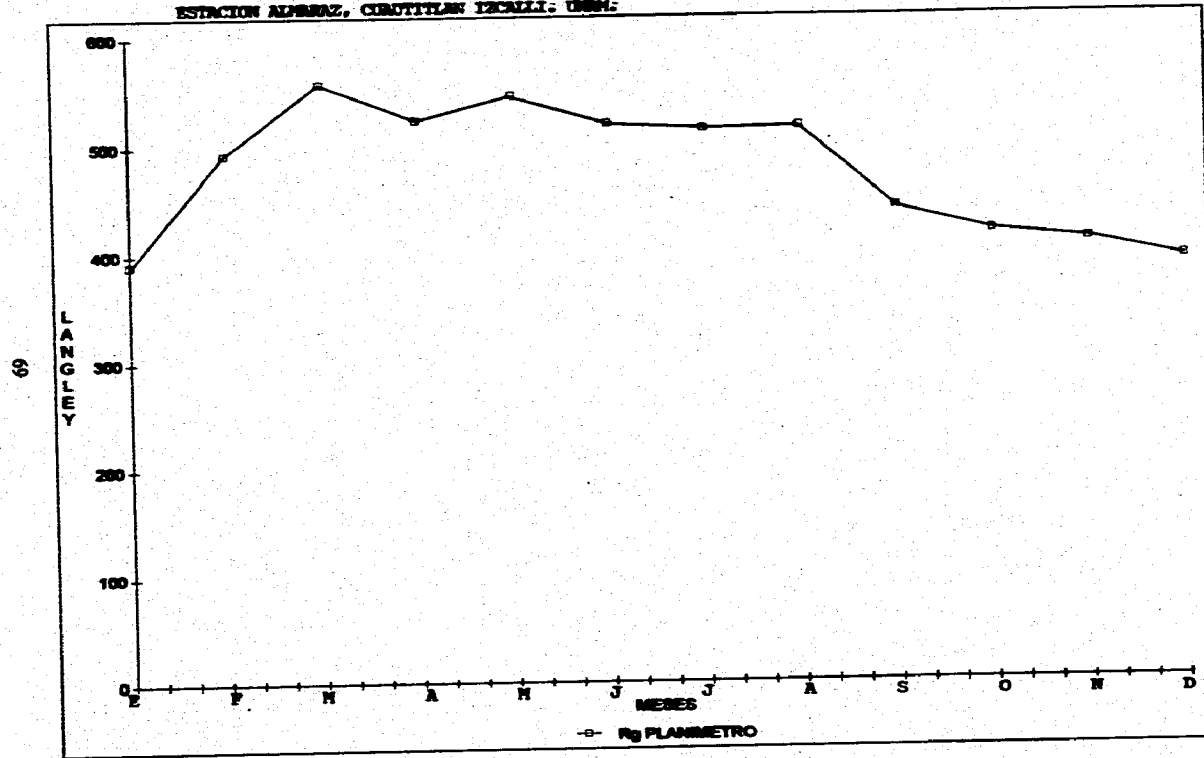
ESTACION ALFARIZ, CIUDAD DE LA PAZ, BOLIVIA.



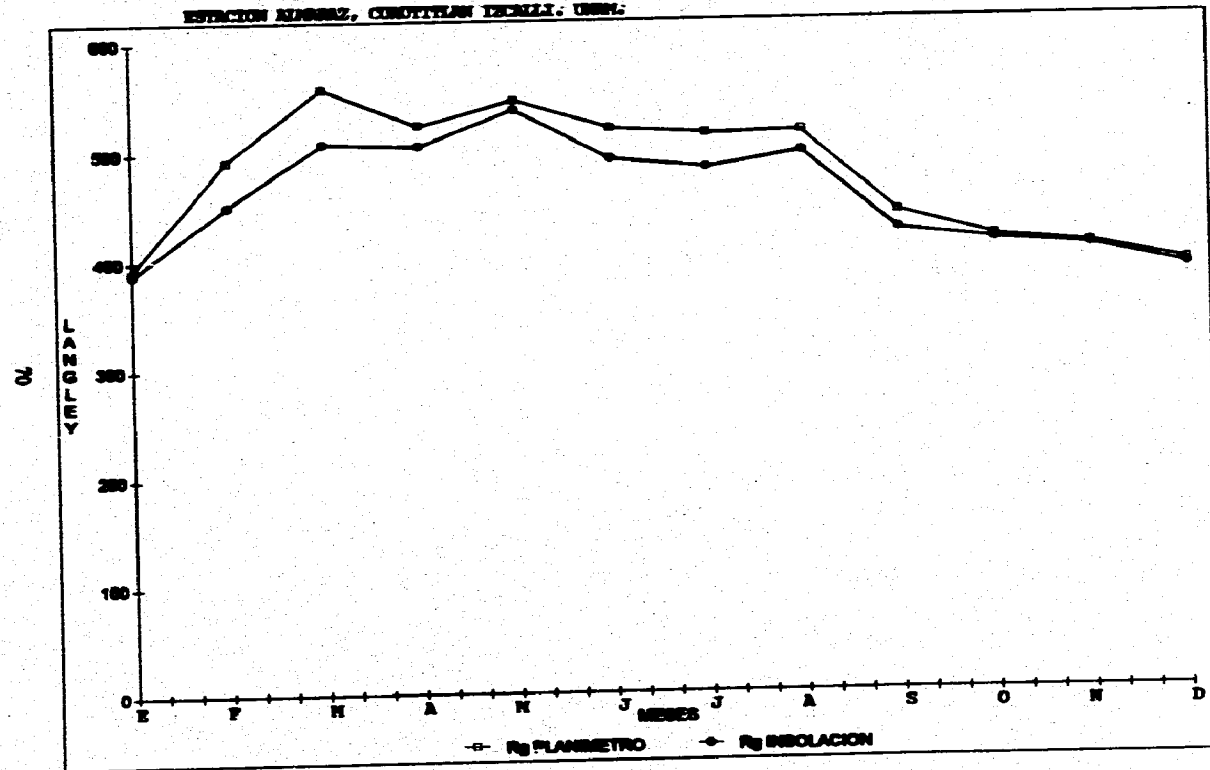
GRAFICA 6: RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL POR INSOLACION. 1989-1994.
ESTACION ALBUQUE, CUMOTITLAN IZCMLI: UNAM.



GRAFICA 7: RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL POR PLANIMETRO. 1989-1994.
ESTACION ALPARRAZ, CERRITOSAN IZCALLI, UNAM.



GRAFICA 8: RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL POR INSOLACION Y POR PLANIMETRO. 1989-1994.
ESTACION SANGREZ, CONDOTTIAN IZCMLI. UNAM.



**CUADRO 2: RESULTADO DE LA REGRESION LINEAL ENTRE
LA RADIACION SOLAR GLOBAL PROMEDIO MENSUAL
CALCULADA POR EL METODO DE INSOLACION
Y EL PLANIMETRICO.**

REGRESION

Constante	90.66
Error estándar de la Y estimada	12.82
R cuadrada	0.94
Número de observaciones	12
Grados de Libertad	10
Coficiente(s) x	0.77
Error estándar del coeficiente	0.06

selección de especies y variedades; en horticultura se utiliza la iluminación artificial para suplementar y complementar la radiación natural, controlando así la época de floración y aumentar el rendimiento; esto se aplica en cultivos altamente remunerativos.

Por otra parte, la agricultura se ve favorecida con el conocimiento de esta información para poder crear una infraestructura en que se aproveche la energía proveniente del sol de una forma mas eficaz esta área es un campo poco desarrollado y con grandes posibilidades, no solo para el secado de frutos, o la destilación y bombeo de agua, sino para la obtención de energía eléctrica , sobre todo en comunidades tan apartadas en que resulte más sencillo obtener esta energía del sol que hacer un tendido de cables de alambre tradicional, ambas situaciones son costosa, pero con una mayor investigación sobre el tema, se puede lograr un nivel comercial y no quedarse tan solo como investigación.

Los presentes resultados cumplen cabalmente los objetivos propuestos, pues se ha generado una valiosa información no existente para la zona de estudio acerca de la radiación solar global, que no es muy usual su medición, por ende su manejo y mucho menos el aprovechamiento de estos datos. Como se ve son varias las líneas de investigación en el área agrícola que puede fundamentar el presente trabajo; la medición de la radiación, su efecto a nivel fisiológico en las plantas y aprovechamiento en la infraestructura agropecuaria, etcétera, solo es cuestión de que los institutos y/o gobiernos se interesen por desarrollar un nuevo tipo de tecnología barata y accesible que utilice la mayor fuente de energía con que contamos: el sol.

V CONCLUSIONES

1.- La radiación solar global varía a través del año, en enero tiende a ser baja, de febrero en adelante se incrementa hasta llegar a un valor máximo en mayo, disminuye de junio a septiembre y después tiende a entrar en un rango menor en los últimos meses.

2.- Las horas de insolación son altas en el periodo de febrero a mayo y disminuyen en el verano a causa de la nubosidad característica de la época de lluvias.

3.- La correlación entre los valores promedio diario obtenidos para la radiación solar global por el método planimétrico y el de insolación es de 70% y aumenta hasta el 94% al relacionar los valores promedio mensuales.

4.- Dada la correlación obtenida, la fórmula de Angström puede ser utilizada en esta zona para obtener la radiación solar global con datos de insolación.

5.- El método planimétrico valida al método de insolación (Angström), por lo cual se presenta al heliógrafo como una alternativa para medir la radiación solar global.

VI RECOMENDACIONES

- 1.- Se recomienda seguir utilizando el heliógrafo para la medición de la radiación solar global.
- 2.- Se puede obtener a partir de estos datos, los coeficientes de regresión a y b utilizados en la fórmula de Angström para esta zona, incluso otras derivadas de ella.
- 3.- Se recomienda emplear estos datos para ajustar un modelo que considere la turbiedad de la atmósfera en la atenuación de la radiación solar.
- 4.- Se sugiere comparar los resultados obtenidos con otros modelos que empleen técnicas cuya información sea enviada por satélites meteorológicos.
- 5.- Se considera necesario profundizar en el estudio de la radiación solar en sus diversos niveles: la medición, su efecto en el rendimiento de las plantas y en su aprovechamiento en la infraestructura agropecuaria.

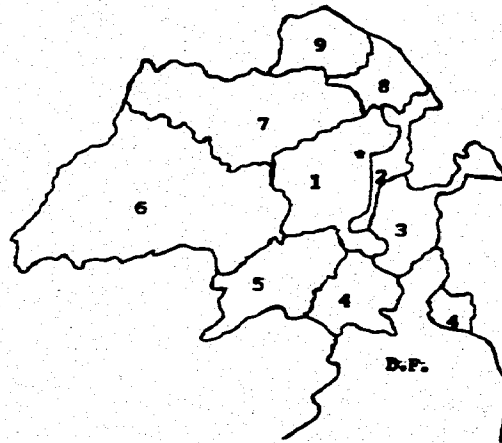
VII BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALVAREZ E.V. 1992** Compendio de apuntes de meteorología. UACH. México.
- AYLLON T.T./ GUTIERREZ R.J. 1983** Introducción a la observación meteorológica. Ed.Limusa.México.
- BESNIER F. 1980** La energía solar en la agricultura. Ministro de Agricultura de España. España.
- Cuerda et a 1987** Biblioteca práctica, agrícola y ganadera. Los fundamentos de la agricultura.Ed.Océano. España.
- DE FINA L.A./RAVELO 1979.** Climatología y fenología agrícolas Ed.Universitaria de Buenos Aires. Argentina.
- DEMEYER F.J. ET AL. 1985** La conversión bioenergética de la radiación solar y la biotecnología Ed. Alhambra.
- ESTRADA C.V. 1985** Análisis crítico de procedimientos para estimar la radiación solar. Ed.UNAM.
- ESTRADA C.V. 1985** Comparación de modelos para estimar la radiación solar. Ed.UNAM. México.
- ESTRADA C.V. 1985** Estudios recientes para la estimación de la radiación solar en México. Ed. UNAM. México.
- ESTRADA C. V. 1985** Irradiación solar global en el estado de Tamaulipas. Ed.UNAM.

- FUENTES Y.L. 1989** **Iniciación a la meteorología agrícola. Ed.Mundi-Prensa
3a Edición.**
- GALVAN R.A. ET AL 1988** **Comparación de modelos que estiman la radiación solar y
procesador de radiación. Tesis. UACH.**
- GARCIA L.J.J: 1979** **La energía solar, el hombre y la agricultura.Ministerio de
Agricultura. España.**
- GÓMEZ M.S.B./ ARTEAGA 1987** **Elementos básicos para el manejo de instrumental
meteorológico.Ed. C.E.C.S.A.**
- GRAJALES M.O/MARTINEZ O.E. 1987.** **Fisiología vegetal. Ed. UNAM.**
- GRIFFITHS J.F. 1985** **Climatología aplicada. Ed. Publicaciones Cultural. EUA.**
- LENHINGER A.I. 1982** **Principios de bioquímica. Ed. Omega. España.**
- LEYVA C.A. ET AL 1990** **Instructivo para el manejo de los piranógrafos del tipo
Robitzsch y la evaluación de la radiación solar global
medida con ellos. Ed. UNAM**
- LEYVA C.A. ET AL 1990** **Reporte de la calibración de 16 piranógrafos de la red
solarimétrica de la Comisión Federal de Electricidad
Instituto de Geofísica. UNAM.**
- LOPEZ C.C.E. 1990** **Física de la energía solar. Ed. UACH. México.**
- MANRIQUE J.A. 1984** **Energía solar: fundamentos y aplicaciones fototérmicas.
Ed. Haria.México.**

- MERCADO M.G./BAEZ P.A. 1993** Caracterización climática de la zona de influencia de la estación meteorológica Almaraz de julio de 1987 a julio de 1992. en foro de investigación UNAM.
- NORERO A. 1976** Evaporación y transpiración. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Venezuela.
- OMM 1975** Compendio de apuntes para la formación del personal meteorológico de la clase IV. Vol. I. Ciencias de la Tierra.
- ORTIZ S.A. 1987** Elementos de agroclimatología cuantitativa con aplicaciones en la república mexicana. Ed. UACH. México.
- RETA S.D.G: 1986** Crecimiento y aprovechamiento de la energía solar del Frijol (*Phaseolus vulgaris* Z.) en asociación con maíz (*Zea mays* L.) Tesis de Colegio de Postgraduados, Montecillos, México.
- RODRIGUEZ B.C. 1980** Boletín Técnico # 18 UACH
- ROMO G.J.R. 1989** Instrumental meteorológico Ed. UACH. México.
- TORRES R.E. 1989** Agrometeorología. Ed. Diana México.

ANEXO 1: LOCALIZACION DE LA ESTACION ALMARAZ EN CUATITLAN IZCALLI, ESTADO DE MEXICO.



* Estación Almaraz: UNAM

1.- Cuatitlán Izcalli

2.- Cuatitlán

3.- Tultitlán

4.- Tlalnepantla

5.- Atizapán de Zaragoza

6.- Nicolás Romero

7.- Tepotzotlán

8.- Teoloyucan

9.- Coyotepec

ANEXO 2: RADIACION SOLAR EXTRATERRESTRE. VALORES MENSUALES PROMEDIOS. (Langley/día)

LAT.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
15°	717	708	670	605	542	541	542	508	487	421	739	685
16°	684	701	653	592	530	535	533	537	486	786	707	680
18°	673	752	647	620	562	589	588	557	582	760	685	646
20°	661	742	641	618	562	582	589	537	587	761	635	636
21°	649	732	635	616	565	585	581	537	573	772	674	624
22°	637	722	628	613	568	589	584	538	588	764	682	612
23°	625	712	621	610	567	671	588	535	582	765	651	589
24°	613	701	614	607	568	674	587	533	557	745	639	587
25°	601	691	608	604	568	676	589	532	551	738	627	574
26°	588	686	788	600	568	676	670	530	545	728	615	561
27°	575	680	780	605	568	680	671	527	538	716	603	548
28°	562	668	762	602	568	682	671	525	532	705	590	534
29°	549	646	773	608	567	683	672	522	525	685	576	521
30°	536	634	765	603	568	683	672	519	518	684	565	508
31°	523	623	756	678	565	685	672	516	510	673	552	494
32°	510	611	747	673	564	685	671	513	503	661	539	481
33°	496	598	737	668	562	685	671	509	495	651	526	467

Fuente: Ramo, 1989

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA.

ANEXO 3: DURACION ASTRONOMICA POSIBLE DE LA INSOLACION, SEGUN LA LATITUD Y EPOCA DEL AÑO. (Horas al Día).

LAT.	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
15°	11,34	11,66	12,04	12,47	12,82	13	12,82	12,82	12,22	11,81	11,44	11,25
16°	11,29	11,63	12,03	12,5	12,87	13,06	12,98	12,88	12,23	11,79	11,39	11,19
17°	11,23	11,6	12,03	12,52	12,92	13,13	13,04	12,7	12,23	11,77	11,34	11,13
18°	11,19	11,56	12,02	12,55	12,97	13,19	13,1	12,73	12,24	11,74	11,3	11,08
19°	11,12	11,53	12,02	12,57	13,02	13,26	13,16	12,77	12,25	11,72	11,25	11
20°	11,07	11,5	12,01	12,6	13,07	13,32	13,22	12,81	12,26	11,7	11,2	10,94
21°	11,01	11,47	12	12,63	13,12	13,39	13,28	12,85	12,27	11,68	11,15	10,88
22°	10,95	11,44	11,99	12,66	13,18	13,46	13,34	12,89	12,28	11,65	11,1	10,81
23°	10,91	11,4	11,99	12,68	13,23	13,52	13,41	12,94	12,29	11,63	11,04	10,75
24°	10,85	11,37	11,95	12,71	13,29	13,59	13,47	12,98	12,3	11,6	10,99	10,68
25°	10,78	11,33	11,97	12,74	13,34	13,66	13,53	13,02	12,31	11,58	10,94	10,62
26°	10,71	11,29	11,97	12,77	13,4	13,74	13,6	13,06	12,32	11,56	10,89	10,55
27°	10,65	11,25	11,97	12,8	13,46	13,82	13,67	13,1	12,32	11,54	10,83	10,48
28°	10,59	11,22	11,97	12,82	13,53	13,89	13,74	13,15	12,33	11,51	10,78	10,4
29°	10,52	11,18	11,97	12,85	13,59	13,97	13,81	13,19	12,34	11,49	10,72	10,33
30°	10,45	11,14	11,97	12,85	13,65	14,05	13,88	13,23	12,35	11,47	10,67	10,26
31°	10,34	11,1	11,97	12,92	13,72	14,13	13,95	13,28	12,36	11,44	10,61	10,18
32°	10,31	11,08	11,96	12,95	13,78	14,22	14,04	13,33	12,36	11,41	10,55	10,1
33°	10,23	11,03	11,95	12,99	13,85	14,30	14,11	13,38	12,36	11,39	10,48	10,02

Fuente: Romo, 1989