



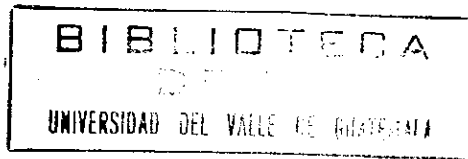
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ciencias y Humanidades

GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA  
CON  
CELDA SOLAR

LUCIA ISABEL SOLIS CLAVERIE

Guatemala

1992



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ciencias y Humanidades

GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA  
CON  
CELDA SOLAR

LUCIA ISABEL SOLIS CLAVERIE

Trabajo de graduación presentado para optar  
al grado académico de Licenciada en  
Ingeniería Electrónica

Guatemala

1992

GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

CON

CELDA SOLAR

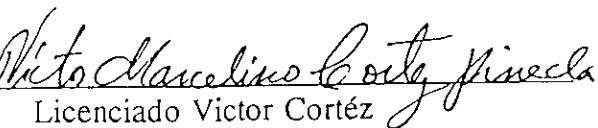
Vo. Bo. :

(f)   
Ingeniero Ricardo Córdón  
Asesor

Tribunal:

(f)   
Ingeniero Ricardo Córdón

(f)   
Doctor Jorge Antillón

(f)   
Licenciado Victor Cortéz

Fecha de aprobación: 9 de octubre de 1992.

## CONTENIDO

		Páginas
	RESUMEN	xi
I.	INTRODUCCION	1
II.	OBJETIVOS	3
III.	TEORIA	5
	A. Energía solar	5
	1. Crisis energética y contaminación ambiental	12
	2. Gráficas comparativas de condiciones meteorológicas en Guatemala	15
	3. Determinación de la intensidad solar y radiación solar	29
	B. Celda solar	36
	1. Características	37
	2. Fabricación	42
	3. Aplicaciones de los sistemas solares	55
	4. Energía solar convertida en corriente eléctrica	63
IV.	SISTEMA GCA	69
V.	SISTEMA SENSOR	75
	A. Mecánica	75
	1. Dimensionamiento de celda solar sensor	75

	Páginas
2. Dimensionamiento de tarjeta de control	76
3. Dimensionamiento de motor paso a paso	79
VI.    SISTEMA CONTROLADO	87
A.    Mecánica	87
1. Dimensionamiento de celda solar	87
2. Dimensionamiento de motor direccionador	89
VII.   SISTEMA GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA	93
A.    Mecánica	93
1. Dimensionamiento de etapa inversor	95
2. Dimensionamiento de transformador	103
3. Dimensionamiento de baterías	104
VIII.  ESTRUCTURA FISICA DEL SISTEMA GCA-I	113
IX.    PROGRAMACION DEL SISTEMA GCA-I	115
A.    Programa principal GCA-I version 1.0	115
X.      MANUAL DEL USUARIO DEL SISTEMA GCA-I	119
A.    Descripción del sistema GCA-I	119

	Páginas
B. Aplicación del sistema GCA-I	121
C. Servicio y mantenimiento	122
D. Costos de producción del sistema GCA-I	123
XI. RECOMENDACIONES	125
XII. CONCLUSIONES	127
XIII. BIBLIOGRAFIA	129
APENDICE	131
A. Especificaciones de celda solar M55	
B. Fotografías del sistema sensor y transformador 360W/120Vac	
C. Programa en lenguaje Assembler Z80 para el GCA-I, Versión 1.0	
D. Tabla de variación de la capacidad de una batería fotovoltaica	
E. Gráficas metereológicas de siete departamentos en Guatemala	

## LISTA DE TABLAS

TABLA	Página
1. Consumo de energía eléctrica en Guatemala	14
2. Listado de condiciones meteorológicas	28
3. Proceso químico para purificación del silicio	48
4. Datos de piezas del sistema Direccionador	90
5. Descripción de baterías HOPPECKE OP <sub>2</sub> S	111
6. Listado de Partes del sistema GCA-I	120
7. Listado de Partes del sistema GCA-I	121

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
1. Cálculo de distancia cenital del Sol	31
2. Celda Solar	37
3. Aplicación de un sistema híbrido o combinado	66
4. Sistema de generación de Energía eléctrica	67
5. Preguntas para diseño del sistema GCA	69
6. Inversor con transformador de toma media	96
7. Inversor con batería de toma media	97
8. Inversor con puente	98
9. Inversor simétrico con transistores	100
10. Curva de histéresis	102
11. Transformador 360 W/120 V	104

## LISTA DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA	Páginas
1. Diseño del sistema GCA	72
2. Sistema sensor	83
3. Estructura del sistema direccionador	90
4. Circuito eléctrico	112
5. Estructura física del sistema GCA-I	114
6. Sistema GCA-I	119

## RESUMEN

La problemática mundial sobre el eficiente aprovechamiento de la energía y la crisis energética, hacen que sin escatimar tiempo, dinero y esfuerzos, los científicos de países desarrollados y tercermundistas desarrollen programas para el estudio de opciones energéticas necesarias para aplicaciones tanto industriales como domésticas.

Este trabajo de graduación trata la problemática y disyuntiva entre la crisis energética y las opciones energéticas, como una llamada a la atención de diversos sectores de nuestra comunidad para la realización de importantes contribuciones a la causa mundial. La disyuntiva fue mi planteamiento y el sistema generador de corriente alterna con celda solar, mi propuesta y contribución.

A su vez, me atrevo a aseverar que es el aprovechamiento energético del Sol, fuente gratuita y libre de contaminación, la mejor y tal vez única respuesta para un mundo mejor.

## I. INTRODUCCION

La luz solar la consideramos tan poco, y olvidamos lo útil que es para el proceso de generación de los combustibles fósiles: como el carbón, el petróleo y el gas natural, entre otros. Todos estos hidrocarburos fueron originalmente producidos por la acción de la luz solar en la vegetación.

Sabemos, sin embargo, que la luz solar puede ser utilizada en su forma natural para generar energía, suficiente y capaz de proveer a ciudades enteras, sin que para ello necesite millones de millones de años en formarse, como es el caso de los hidrocarburos.

Para idear la alternativa energética debemos considerar, entonces, las características inherentes del Sol. Ya que siendo una fuente gratuita y no-contaminante de energía, podemos llegar a idear sistemas para uso industrial y doméstico de tal eficiencia y provecho que solucionaría dos de los mayores problemas del mundo: la crisis energética y la contaminación ambiental.

A su vez, debemos tomar en cuenta que la elaboración de los paneles solares con celdas elaboradas a base de silicio (material muy común que constituye un gran porcentaje de la corteza terrestre) son cada vez de mayor alcance y eficiencia, por lo que es otro factor coadyuvante de la elaboración de sistemas que aprovechen la energía del Sol.

El sistema generador de corriente alterna con celda solar, ayuda a desarrollar una dinámica de aprovechamiento

2

energético para uso doméstico. Es importante agregar que con ciertos cambios y nuevos dimensionamientos (escalas), se puede crear uno similar para uso industrial, ya que los criterios son los mismos.

El sistema, que de ahora en adelante llamaremos GCA-I, posee tres partes básicas y principales: el sistema sensor, el sistema controlado y el sistema de corriente alterna. Las tres partes constituyen un sistema que provee a la salida 360 W/120 V (81.523 AH) para uso doméstico.

El sistema generador GCA-I fue ideado para soportar factores externos como la humedad del ambiente. Es portátil, práctico y de bajo costo.

## II. OBJETIVOS

Los objetivos que persigue el trabajo de graduación, cuyo reporte se presenta en este documento, son los que se describen a continuación:

1. Elaborar el sistema generador de corriente alterna con celda solar (GCA-I) para uso doméstico con salida de 360 W/120 V-ac, y 81.523 AH.
2. Automatizar el sistema generador de corriente alterna con celda solar, incluyendo para el efecto un sistema sensor, el cual programado dirija al panel solar en la dirección del Sol.
3. Diseñar y construir el práctico sistema sensor para aprovechar la intensidad solar en su totalidad y mejorar la eficiencia inherente del panel solar.
4. Elaborar el sistema GCA-I, de tal forma que sean mínimos los costos y se utilice material accesible para la elaboración.
5. Elaborar el sistema GCA-I de fácil ensamblaje y de uso portátil para poder ser instalado en cualquier tipo de lugar.

4

6. Elaborar el sistema GCA-I de fácil mantenimiento y larga vida útil.
7. Proveer al usuario de un manual de mantenimiento.

desintegraciones radiactivas, la energía de las mareas, que se deben a la acción gravitacional del Sol y la Luna y la energía solar, que recibimos en forma de energía radiante. La energía solar puede utilizarse directamente, como en los hornos y calentadores solares, o indirectamente, a través de varios fenómenos inducidos por la radiación solar. Así, podemos hablar de la energía hidráulica o energía de los saltos y corrientes de agua, la energía eólica (o de los vientos), y la energía de las plantas, adquirida mediante el proceso de fotosíntesis y que eventualmente se convierte en alimento o en combustible.

Las principales fuentes comunes de energía primaria o no renovable son los combustibles fósiles: carbón, petróleo y el gas natural, como se mencionó con anterioridad. El carbón ha sido explotado desde hace mucho tiempo, mucho antes que el petróleo. Su falta de popularidad estriba en que la forma de explotación en las minas es un trabajo muy duro en donde la vida del obrero queda de por medio. Se han realizado estudios respecto del índice de mortandad de estos trabajadores de las minas de carbón y en realidad ha sido muy alarmante. No cabe duda, sin embargo, que el carbón ha ayudado a millones de hogares a permanecer a temperaturas adecuadas y cómodas. Mientras no se busque un modo alternativo de explotar las minas, su popularidad seguirá siendo bastante marcada.

La gasolina es la forma más compacta de energía portátil

que tenemos, de ahí su importancia y la necesidad doméstica e industrial de este producto. Los yacimientos de petróleo son escasos y poseen un límite de vida útil, bastante limitado. Los casos de contaminación por el petróleo son evidentes y van en aumento. Los países industrializados dependen del petróleo para realizar sus procesos.

El problema del petróleo y el gas natural es, por tanto, un problema de encontrar alternativas adecuadas.

Un problema clave de los hidrocarburos es el de los desperdicios, los cuales afectan al medio ambiente. El hidrocarburo es un compuesto de hidrógeno y carbón, el crudo contiene de 80-90% de peso de carbón, 10-15% de hidrógeno y el 4% de azufre, algo de oxígeno y nitrógeno y huellas de otros elementos.

Es muy interesante notar a su vez que, los planes para ingeniar una futura fuente de energía con seguridad fracasarán si no se toma en consideración las excelsas cualidades del petróleo, gas y carbón en la vida doméstica e industrial. Debemos sopesar entonces, para idear la alternativa energética, los costos, la eficiencia energética y la no-contaminación al medio ambiente.

Al considerar al Sol, como fuente de energía debemos recordar de que no necesitamos preocuparnos por la escasez del recurso, ya que es una reserva energética enorme, continua y gratuita. Un problema es que la energía solar no es muy

concentrada y no es compacta.

Casi toda la energía solar que llega a nosotros, llega en forma de radiación electromagnética. La radiación electromagnética es energía en forma de ondas que se trasladan, conocidas como ondas electromagnéticas.

La secuencia de la energía solar es, primero, que las reacciones de fusión nuclear liberan enormes cantidades de energía en el interior del Sol, manteniendo su temperatura a millones de grados. La energía que viaja hacia afuera es irradiada en forma de ondas electromagnéticas por medio de partículas cargadas de rápida oscilación de la región de la superficie caliente.

Cuando la radiación electromagnética alcanza a la Tierra, las partículas cargadas que conforman átomos o moléculas son empujadas de un lado a otro por medio del efecto eléctrico, recogiendo energía de las ondas.

La mayor parte de la energía, o sea el 99.98%, proviene del Sol (173 Pw) como energía radiante, pero el 77% de esta energía es reflejada o devuelta al espacio exterior y sólo el 23% es retenido de alguna manera en la Tierra. La casi totalidad de esta energía se emplea en el ciclo hidrológico, o sea la evaporación, convección, precipitación y corrientes de agua. Una pequeña fracción (370Tw o 0.124%) da lugar a olas, vientos y otros fenómenos de convección en la atmósfera, y una fracción aún menor (40Tw o 0.023%) es capturada por las

plantas en el proceso de la fotosíntesis y es utilizada finalmente por los animales, directamente como alimento o indirectamente por el mecanismo de putrefacción. Puede ser almacenada como combustible fósil en forma de carbón, petróleo, esquistos bituminosos y gas natural. Este último proceso es muy lento y las actuales reservas de combustibles fósiles en la Tierra han demorado unos 600 millones de años en formarse, aunque las gastaremos prácticamente en un período del orden de un par de cientos de años.

La energía gravitacional, resultante de la interacción de la Tierra con el Sol y la Luna, es del orden de 3Tw (o 0.002% de la energía solar).

La energía geotérmica llega a la superficie terrestre por conducción a través de las rocas con una potencia de 32Tw y por medio de volcanes y otras fuentes geotérmicas a razón de 0.3Tw (o 0.0002% de la energía solar).

Toda la energía en la Tierra que no es utilizada en alguna forma es eventualmente disipada en el espacio en forma de radiación electromagnética.

La sociedad moderna está basada en el uso intensivo de la energía. Por un lado, el desarrollo tecnológico ha permitido poner en práctica procesos que transforman más aceleradamente los recursos naturales para fines de alimentación, vivienda, vestido, transporte, control ambiental, etc., pero estos procesos requieren un insumo elevado de energía útil a

expensas de la energía disponible. Por otro lado, el aumento de población y del nivel promedio de vida exige un consumo cada vez mayor de energía.

Este aumento cada vez mayor en el uso de la energía trae consigo varios problemas. El primero, de carácter general: es que para convertir la energía molecular de los cuerpos en energía útil es necesario pagar cierto precio energético; es decir, que aunque la energía se conserva, parte de la energía pasa a ser un trabajo útil o aprovechable y otra que se transforma en otro tipo de energía, de modo que poco a poco va disminuyendo la energía que podemos utilizar, lo que se llama degradación de la energía. Con la tecnología actual la energía transformada en trabajo útil sólo alcanza el 30% en promedio, de modo que el 70% se desperdicia. Es importante, pues, buscar medios más eficientes de utilizar y conservar la energía.

Un segundo problema es que, hasta fines del siglo XIX la humanidad dependió básicamente del viento y de la energía solar a través de la madera, el carbón vegetal y el ciclo biológico de los vegetales, nuestra civilización actual se basa en el uso intensivo de los combustibles fósiles, que son un recurso no renovable. Por lo que se concluye, que la era del uso de los combustibles fósiles, que empezó a principios del siglo XIX, estará en sus postrimerías a fines del siglo XX.

Por lo que es inevitable desarrollar con urgencia nuevas alternativas a los combustibles fósiles. Es indispensable lograr un mejor aprovechamiento de la energía solar, captando parte del 70% que se pierde al espacio exterior. Además resulta necesario establecer una política global o mundial tendente a nivelar el consumo de energía sin afectar la calidad de vida y reducir las diferencias entre los consumos de energía de los países desarrollados y de los países en vías de desarrollo.

De las enormes cantidades de energía liberadas por el Sol, sólo llegan a la Tierra aproximadamente unas 2 billonésimas partes, pero a esta pequeña cantidad de energía se pueden atribuir casi la totalidad de los procesos meteorológicos y biológicos que se desarrollan en la Tierra. El Sol, pues, es fuente primordial de la energía que nuestro planeta ha recibido en el pasado, recibe en el presente y recibirá en el futuro.

Se ha estimado que la Tierra recibe del Sol una cantidad de energía del orden de  $1.73 \times 10^{17}$  watts, unas 20,000 veces más que el consumo anual de energía en todo el mundo.

La energía solar es la más limpia de todas las formas aprovechables de energía, no produce algún tipo de contaminación. Es abundante, está disponible en casi todo el mundo y es gratuita.

Los dos tipos de conversión de la energía solar son: la

conversión térmica y la de tipo fotovoltaica.

La conversión térmica es la más utilizada actualmente, ya que tiene un gran margen de aplicaciones, este tipo de conversión requiere un elemento concentrador y otro que absorba el calor.

La conversión fotovoltaica ha tenido un desarrollo lento, debido a que su eficiencia depende en gran parte de los materiales con que se construya el elemento de conversión o celda fotovoltaica. El proceso fotovoltaico se define como la generación de fuerza electromotriz, como resultado de la absorción de radiación ionizante (solar).

1. Crisis energética y contaminación ambiental. El aumento de la demanda de fuentes energéticas ha creado una necesidad de buscar mayores vetas para el abastecimiento. Esta búsqueda promueve un desenfrenado abuso del medio ambiente, ya que se destruye la vida silvestre del lugar y todo medio natural, con la instalación de personal y equipo para la explotación.

Esta polémica de búsqueda de recursos energéticos y medio ambiente, ha sido y será continuamente debatida. Debido a que los naturistas defienden que si alteramos o destruimos el medio ambiente, estamos afectando directamente al ciclo de vida de la Tierra. Esto tarde o temprano repercute en nosotros, ya que promueve a un desequilibrio natural. Asimismo no podemos dejar de pasar por alto, que nuestro estilo actual de vida demanda mayor fuente o suministro energético

para satisfacer las necesidades. Por lo que sin un suministro probablemente veríamos un paro en la industria, un conflicto con el desarrollo y un alto a la tecnología que promueve un bienestar al hombre y eleva su nivel de vida.

Todos estos criterios debemos tenerlos presentes y siempre tratar de encontrar un balance justo a esta disyuntiva: crisis energética y medio ambiente. No podemos parar el avance tecnológico, ni promover la destrucción del medio ambiente, por lo que los nuevos abastecimientos de energía deben basarse en estudios sobre alternativas energéticas.

La humanidad debe tomar conciencia de la necesidad de la ordenación racional de la Tierra y debe responsabilizarse en aplicar estrategias para una sociedad estable. Tal sociedad estable supone una conservación integral de los hábitats primitivos o al menos una perturbación mínima de los procesos ecológicos, mediante prevención o desarrollo de una tecnología adecuada, una conservación máxima de las materias no renovables y de la energía, una política demográfica equilibrada y un sistema social que garantice al individuo el disfrute de las tres primeras condiciones, en vez de sentirse limitado por ellas.

Varias alternativas se han pensado para la conservación del medio ambiente, como son la reducción de las actividades contaminantes mediante nuevas materias y fuentes de energía, la lucha contra la contaminación mediante la aplicación de

tecnología y las experiencias de reciclaje de las sustancias contaminantes.

Es conveniente el estudio de demanda de energéticos de un país, para realizar diseños formales y convenientes de los medios que favorecen a los usuarios para suplirlos de energía. También debemos considerar el estudio climatológico de la región para desarrollar sistemas que aprovechen al máximo la intensidad solar y se genere la energía necesaria. Debemos crear una conciencia de promotores de alternativas energéticas y llevarlas a la realidad.

En Guatemala, se consume alrededor de 1,716 Gwatt\*hora. El consumo público interno se distribuye así:

Tabla 1  
Consumo de energía eléctrica en Guatemala

Descripción	Gw*h	%
Industrial	540	31.63
Residencial	493	28.57
Comercial	380	22.14
Otros	303	17.35

Fuente: SIECA/1990

Podemos notar la gran demanda que los energéticos cobran día a día en nuestro medio, de ahí la importancia que tiene considerar fuentes alternas de energía para proveer de ésta al país.

Mucho se ha dicho sobre lo escaso que son ya los

yacimientos de hidrocarburos y lo necesario de racionalizar lo existente. Diariamente hacemos cosas que inconscientemente no notamos afecta en la racionalización de los combustibles. Pero, por mucho que racionemos, todo combustible fósil tiene un límite y los actuales yacimientos lo tendrán.

¿Entonces? Buscar alternativas energéticas es la idea. No es una tarea fácil, pero si se logran encontrar nuevas formas de energía, el mundo tendría seguro su bienestar, comodidad y tecnología para siempre.

2. Gráficas comparativas de condiciones meteorológicas en Guatemala. Al analizar y tabular los datos meteorológicos en forma de gráficas, podemos interpretar en mejor forma la diversidad de regiones en las que el sistema puede ser instalado en un futuro en Guatemala.

La dinámica a seguir es aprovechar el medio y el Sol, para obtener mejores resultados en el uso del sistema generador de corriente alterna con celda solar.

A continuación se muestran las gráficas meteorológicas del departamento de Guatemala, las cuales consideran un tiempo de diez años (1980-1989). Debemos mostrar a su vez, la suma importancia de elaborar y distribuir los sistemas generadores de corriente alterna con celda solar, con base en un previo estudio de la región climatológica.

Luego en el apéndice podemos encontrar una serie de gráficas climatológicas de otros seis departamentos

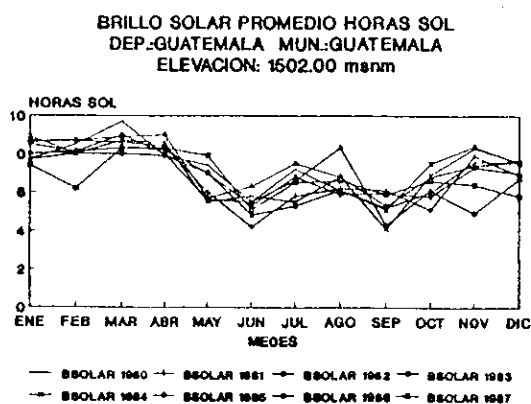
considerados para este estudio como los más aprovechables para instalar sistemas solares que provean de energía eléctrica.

Los datos fueron obtenidos del INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología), luego fueron graficados de tal forma que se pudiera apreciar el comportamiento metereológico en un mes, de un año o años determinados.

Las gráficas del departamento de Guatemala son las listadas:

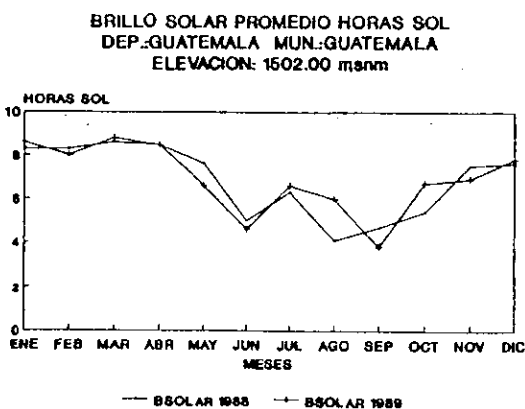
- a. Brillo solar promedio
- b. Radiación solar media
- c. Evaporación a la intemperie
- d. Evaporación a la sombra
- e. Precipitación total
- f. Temperatura mínima absoluta
- g. Temperatura máxima absoluta
- h. Temperatura media
- i. Días de precipitación
- j. Velocidad media del viento
- k. Presión atmosférica media
- l. Humedad relativa media

a. Brillo solar promedio. Esta gráfica considera los años de 1980 a 1987, para la descripción de las horas-sol que cada mes tiene. Existe una mayor intensidad de Brillo Solar (horas-sol), en los meses de noviembre a abril siendo su valor promedio de 7.97 horas-sol por día en el mes.



FUENTE: INBIVUMEH/1990

De noviembre a diciembre aproximadamente hay 7.25 horas-sol<sup>1</sup> disponibles por día. De enero a abril consideramos cerca de 8 horas útiles de Sol.

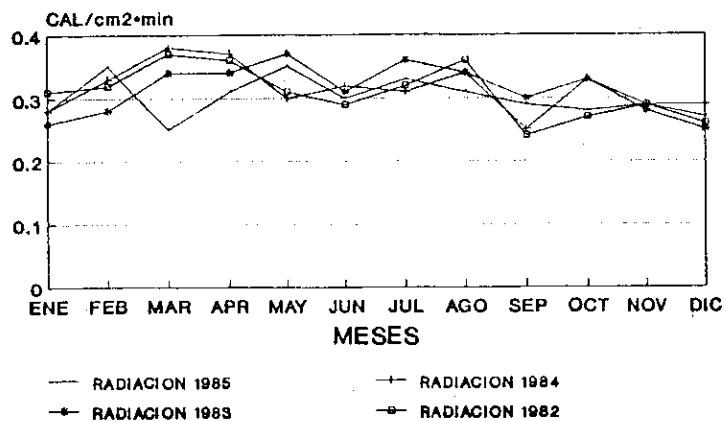


FUENTE: INBIVUMEH/1990

Las horas pico son menor que la duración del día. Para calcular las horas pico basta multiplicar el valor de la radiación en Langleys o calorías por centímetro cuadrado (1 langley = 1 cal/cm<sup>2</sup>) por el factor de 0.0116. Así una radiación de 595 cal/cm<sup>2</sup> el número de horas pico será = 595\*0.0116 = 6.9 horas. Por lo que podemos decir que: 1 cal/cm<sup>2</sup>-día = 0.0116 Kw-H/m<sup>2</sup>-día;  
1Kw-H/m<sup>2</sup>-día = 1 hora pico.

b. Radiación solar media. En el departamento de Guatemala tenemos que la máxima radiación solar se obtiene entre los meses de marzo a agosto, y es de 0.332 cal/cm<sup>2</sup>\*min. En esta gráfica podemos observar la radiación registrada para los años de 1982 a 1985.

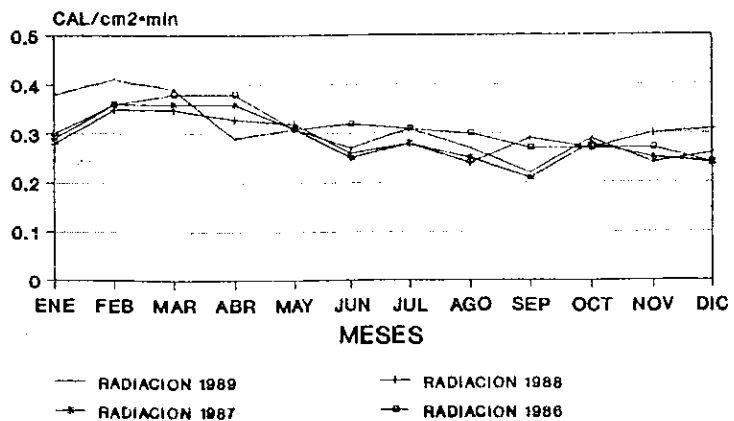
RADIACION SOLAR MEDIA MENSUAL Y ANUAL  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

En esta gráfica podemos apreciar el comportamiento en cuanto a radiación solar se refiere entre los años de 1986 a 1989. Durante noviembre a diciembre se aprecia una radiación de 0.275 cal/cm<sup>2</sup>\*min por mes. De enero a abril obtenemos un promedio por mes de 0.3475 cal/cm<sup>2</sup>\*min.

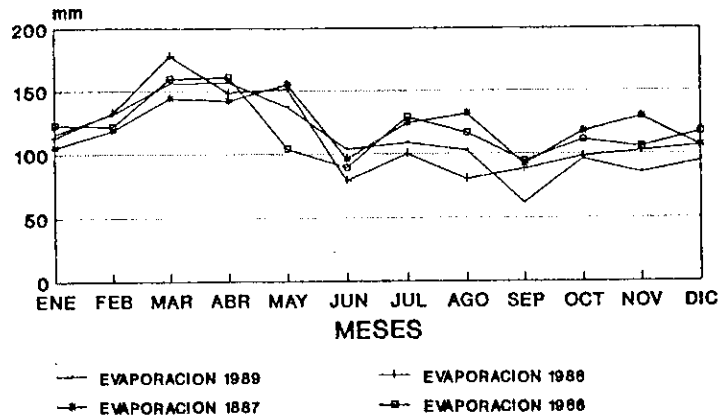
RADIACION SOLAR MEDIA MENSUAL Y ANUAL  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

c. Evaporación a la intemperie. La máxima registrada es de 140.92 mm por mes, en los meses de enero a mayo. Podemos apreciar en las gráficas este comportamiento.

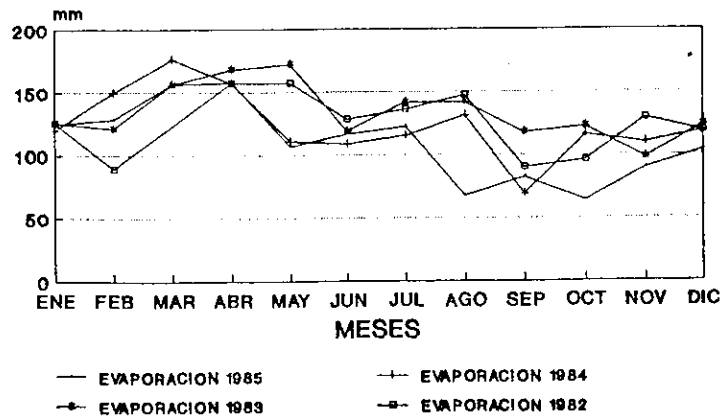
EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

En los meses de noviembre a diciembre tenemos una evaporación a la intemperie, por mes, de aproximadamente 111.05 mm. De enero a abril la evaporación es de 141.375 mm por mes.

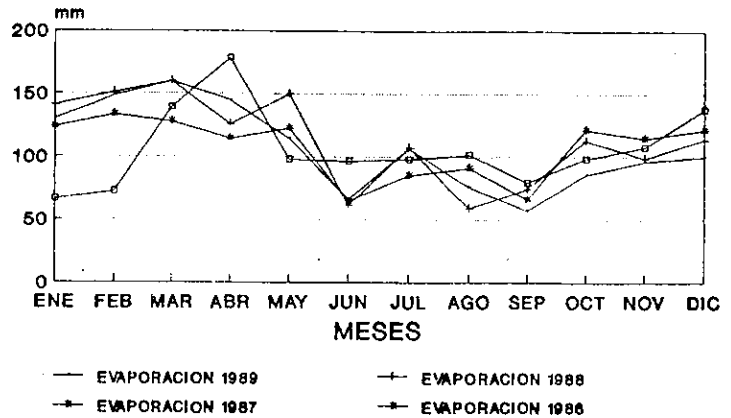
EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

d. Evaporación a la sombra. La máxima registrada para los años de 1980 a 1989 es de 114.2 mm; y es máxima durante los meses de enero a mayo.

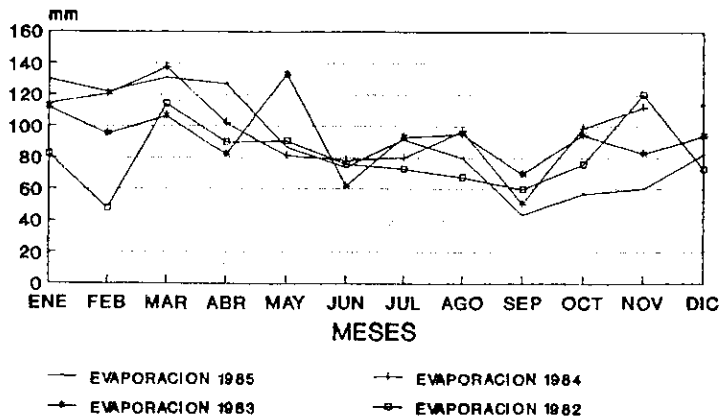
EVAPORACION A LA SOMBRA  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

En los meses de noviembre a diciembre encontramos que la evaporación a la sombra es de 92.85 mm. Durante los meses de enero a abril es aproximadamente de 116.425 mm.

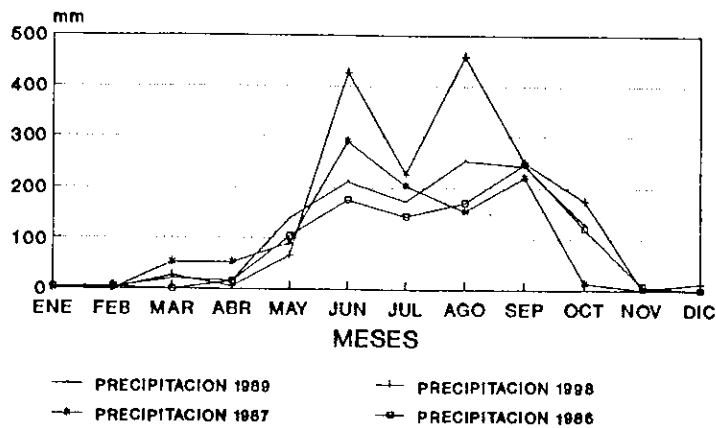
EVAPORACION A LA SOMBRA  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

e. Precipitación total. La máxima precipitación en milímetros ocurre en los meses de mayo a octubre y es de aproximadamente 174.72 mm. Siendo por ende los meses en donde los días de precipitación son mayores: 17.77 días.

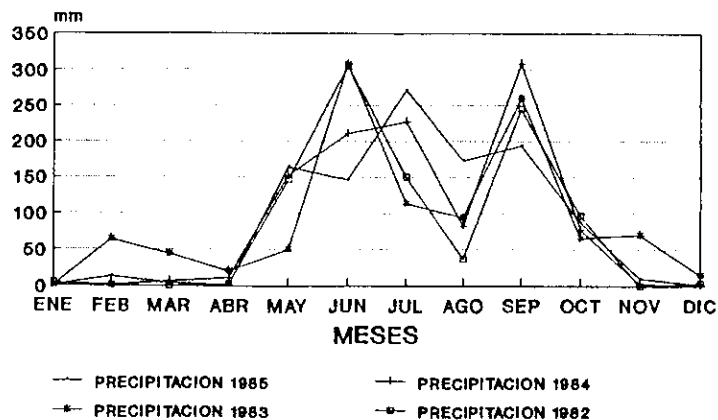
PRECIPITACION TOTAL MENSUAL Y ANUAL  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

En los meses de noviembre a diciembre la precipitación es de 9.29 mm por mes, siendo considerablemente mínima. Durante los meses de enero a abril la precipitación total es de 11.03 mm por mes.

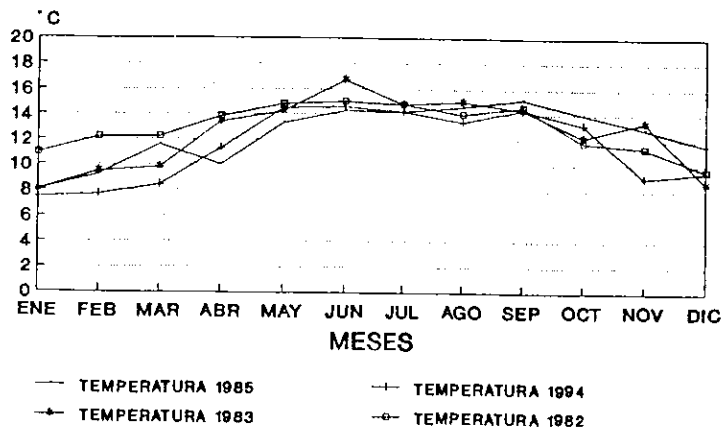
PRECIPITACION TOTAL MENSUAL Y ANUAL  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

f. Temperatura mínima absoluta. Encontramos la mínima temperatura entre los meses de enero a marzo. Se registró que en el período de 1980 a 1989 la temperatura en estos meses osciló en  $6.67^{\circ}\text{C}$  como promedio por mes.

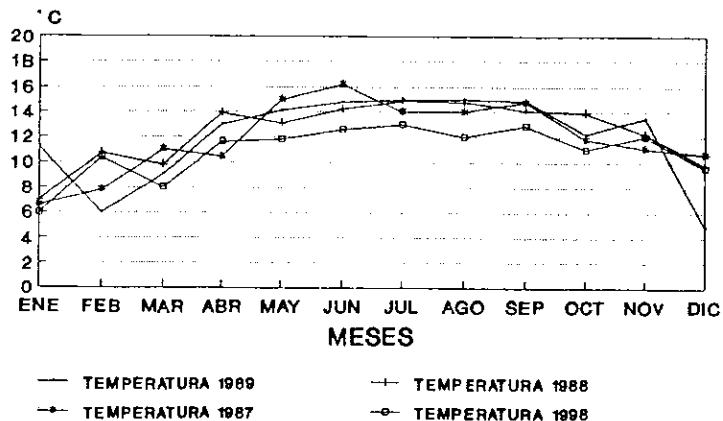
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

En los meses de noviembre a diciembre la temperatura disminuye a cerca de  $6.95^{\circ}\text{C}$  por mes. Logró a su vez disminuir en los meses de enero a abril a  $7.5^{\circ}\text{C}$  en promedio por mes. Las temperaturas mínimas no fueron inferiores a  $0^{\circ}\text{C}$ .

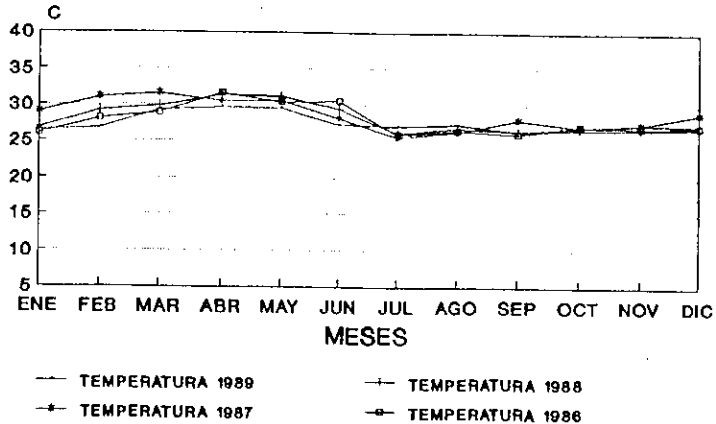
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

g. Temperatura máxima absoluta. En los meses de marzo a junio se aprecia una temperatura máxima de 31.25°C.

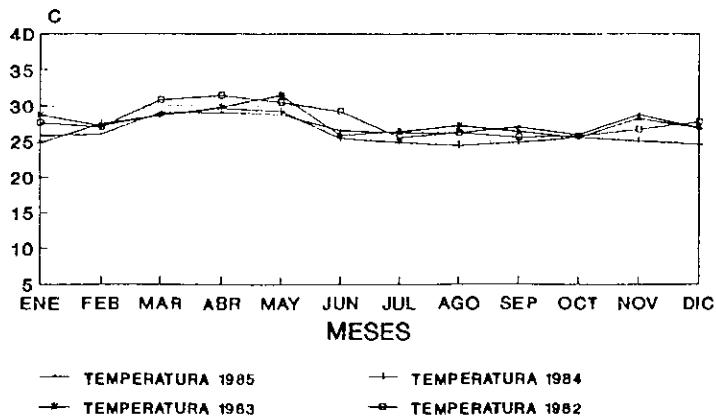
TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

Durante los meses de noviembre a diciembre se aprecia una temperatura máxima de 28.8°C, por mes. En los meses de enero a abril la temperatura se ve incrementada a casi 30.78°C por mes.

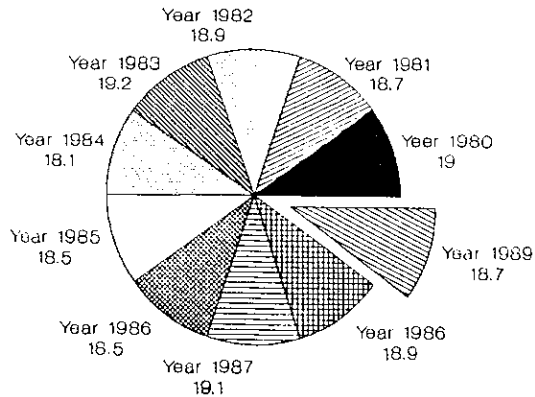
TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

h. Temperatura media. La máxima temperatura media la podemos encontrar en los meses de abril a septiembre y es de 19.62°C. En los meses de noviembre a diciembre el promedio de temperatura por mes es de 17.75°C, y de enero a abril es de 18.475°C.

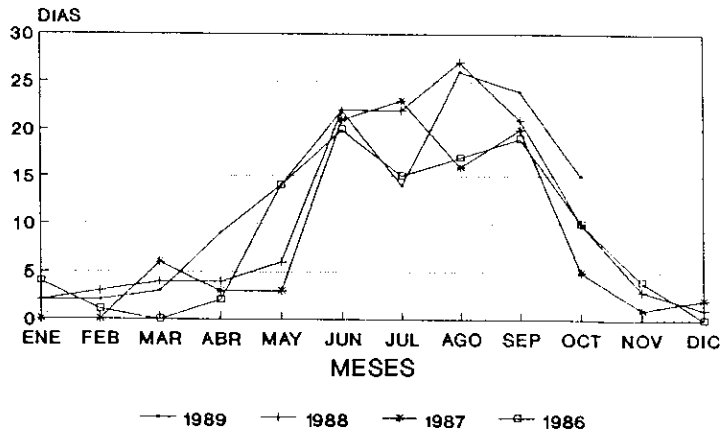
TEMPERATURA MEDIA EN GRADOS CENTIGRADOS  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 mnsnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

i. Días de precipitación. En los días de mayo a octubre se puede apreciar que por mes los días de precipitación fueron de 17.77 días. Estos meses fueron los de mayor precipitación.

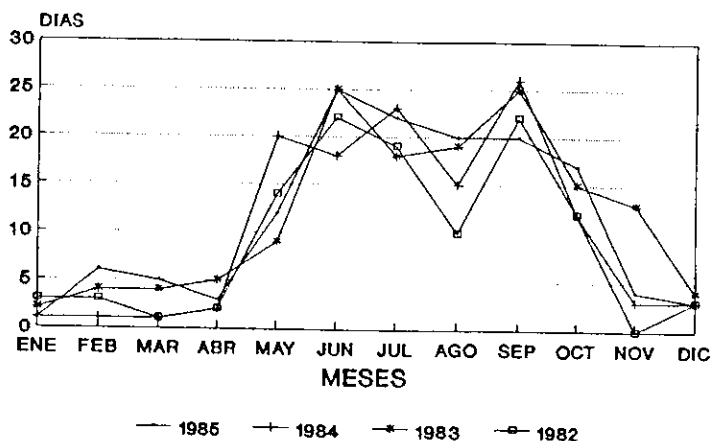
DIAS DE PRECIPITACION  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

En los meses de noviembre a diciembre, los días de precipitación aminoran a 2.9 días, y de enero a abril, los días de precipitación por mes son de 2.78 días por mes.

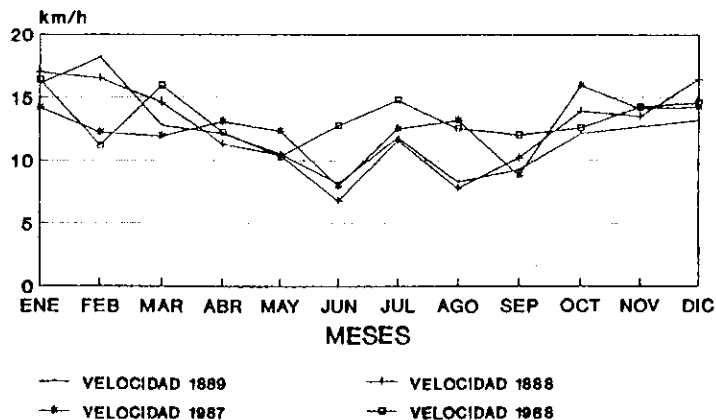
**DIAS DE PRECIPITACION**  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

j. Velocidad media del viento. Durante los meses de febrero a mayo se aprecia una velocidad de 12.8 km/h por mes. Esta velocidad es considerada como máxima velocidad media en el departamento de Guatemala.

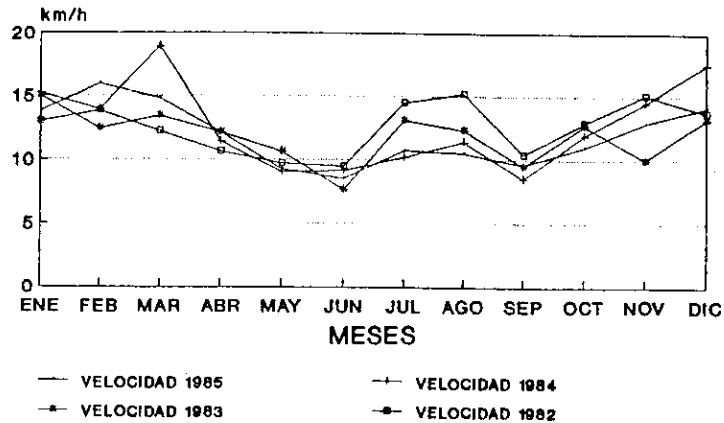
**VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO**  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

Durante los meses de noviembre a diciembre la velocidad media es de aproximadamente 14.5 km/h cada mes. En los meses de enero a abril la velocidad del viento es de 13.925 km/h.

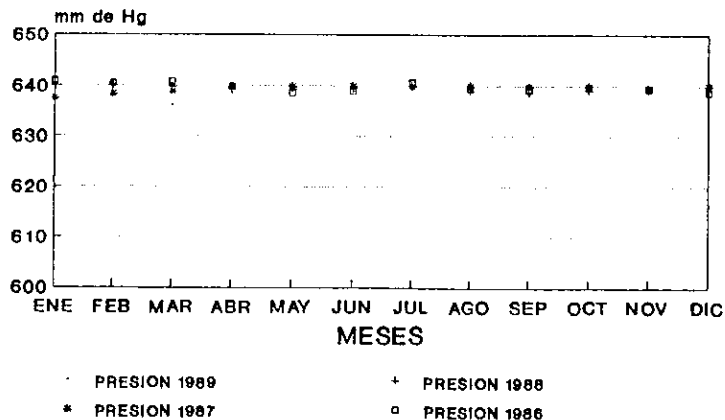
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH

k. Presión atmosférica media. La presión atmosférica permanece constante durante todo el año. Lo podemos observar de las gráficas que a continuación se presentan. El promedio de presión atmosférica observable es de 640.6 mm de Hg.

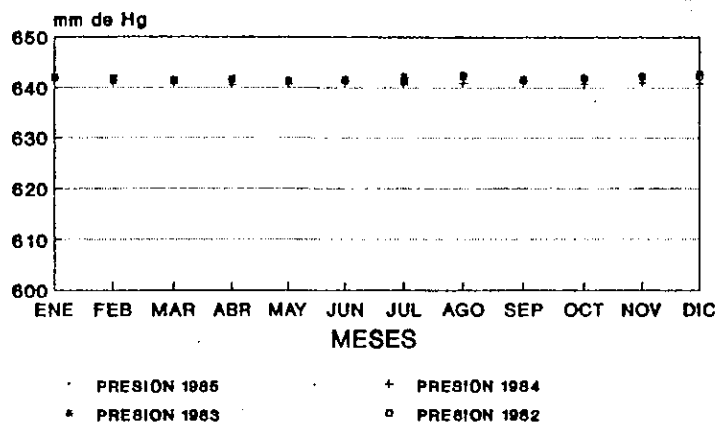
PRESION ATMOSFERICA MEDIA  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH/1990

En la siguiente gráfica notamos su comportamiento constante en todo el año.

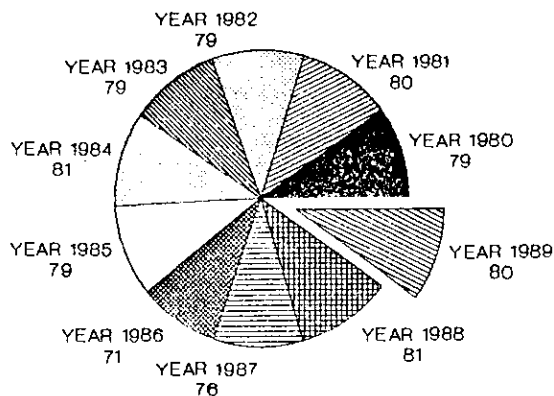
**PRESION ATMOSFERICA MEDIA**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



FUENTE: INSIVUMEH/1990 .

1. Humedad relativa media promedio. En esta gráfica, durante los meses de junio a octubre apreciamos el mayor índice de porcentaje de humedad, los cuales oscilan en esos meses de 83.6%. A su vez, en los meses de noviembre a diciembre la humedad es del orden del 77%, y en los meses de enero a abril es del 73%.

**HUMEDAD RELATIVA MEDIA EN %**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



FUENTE: INSIVUMEH/1990

Para un mejor estudio de las posibles condiciones meteorológicas que se podían presentar en seis departamentos de Guatemala (en varias de sus zonas climáticas), presentamos la siguiente tabla con todas las gráficas encontradas en el apéndice.

Tabla 2

## Listado de condiciones meteorológicas de Guatemala

<u>GUATEMALA</u>	<u>ALTA VERAPAZ</u>	<u>ESCUINTLA</u>
1.BRILLO SOLAR PROMEDIO	1.BRILLO SOLAR PROMEDIO	1.DIAS DE PRECIPITACION
2.DIAS DE PRECIPITACION	2.DIAS DE PRECIPITACION	2.EVAPORACION A LA INTEMPERIE
3.EVAPORACION A LA SOMBRA	3.EVAPORACION A LA INTEMPERIE	3.EVAPORACION A LA SOMBRA
5.HUMEDAD RELATIVA MEDIA	4.EVAPORACION A LA SOMBRA	4.HUMEDAD RELATIVA MEDIA
6.PRECIPITACION TOTAL	5.HUMEDAD RELATIVA	5.PRECIPITACION TOTAL
7.PRESION ATMOSFERICA MEDIA	6.PRECIPITACION TOTAL	6.TEMPERATURA MEDIA
8.RADIACION SOLAR MEDIA	7.RADIACION SOLAR	7.TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA
9.TEMPERATURA MEDIA	8.TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA	8.TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA
10.TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA	9.TEMPERATURA MEDIA	
11.TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA	10.TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA	
12.VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	11.VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	
<u>BAJA VERAPAZ</u>	<u>ZACAPA</u>	<u>QUEZALTENANGO</u>
1.DIAS DE PRECIPITACION	1.BRILLO SOLAR PROMEDIO	1.DIAS DE PRECIPITACION
2.EVAPORACION A LA INTEMPERIE	2.DIAS DE PRECIPITACION	2.EVAPORACION A LA INTEMPERIE
3.HUMEDAD RELATIVA MEDIA	3.EVAPORACION A LA INTEMPERIE	3.HUMEDAD RELATIVA MEDIA
4.PRECIPITACION TOTAL	4.HUMEDAD RELATIVA MEDIA	PROMEDIO
5.TEMPERATURA MEDIA	5.PRECIPITACION TOTAL	4.PRECIPITACION TOTAL
6.TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA	6.RADIACION SOLAR	5.RADIACION SOLAR MEDIA
7.TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA	7.TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA	6.TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA
8.VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	8.TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA	7.TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA
	9.VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	8.VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO

Es muy importante obtener un medio de medición esporádica de condiciones meteorológicas del país y poseer una base de datos ya sea en gráficas o en tablas para conocer datos precisos y así dimensionar e instalar el adecuado panel solar para el sistema GCA que se desee. Asimismo debemos conocer la localización geográfica del lugar (si es muy montañoso, altura

de árboles, etc.), la latitud y longitud del lugar, las temperaturas máximas y mínimas esperadas del lugar, y total de días sin luz solar entre otros datos, para el diseño y dimensionamiento preciso del sistema GCA.

3. Determinación de la intensidad solar y la radiación solar. El Sol es un cuerpo que gira lentamente, compuesto de gases calientes y altamente condensados, rodeado de una capa de gas rarificado.

La órbita de la Tierra alrededor del Sol es una elipse. La Tierra está más cerca del Sol el 10. de enero (la distancia del perihelio es de 98.3% de la distancia media solar) y lo más lejano del Sol como por el 10. de julio (la distancia del afelio, 101.7% de la distancia media solar). El Sol está en el cenit (normal a la superficie de la Tierra) sobre el ecuador terrestre en el tiempo de los equinoccios.

La radiación solar que incide sobre las capas superiores de la atmósfera terrestre varían de 0.97 a 1.04  $G_0$ , donde  $G_0$  es la constante solar.

$$G_0 = 1.94 \text{ cal/min*cm}^2 \quad (1)$$

La luminosidad solar es de  $9.33 \times 10^{25}$  cal/seg del Sol.

Consideraciones astronómicas y nucleares indican que la temperatura en el interior del Sol es mucho más alta que la temperatura efectiva, pero que la temperatura en las capas

exteriores del Sol, podría ser sólo del orden de 4,607 °C.

En ausencia de la atmósfera, la radiación solar que llega a un punto cercano de la Tierra depende sólo del ángulo cenital  $Z$  del Sol y de la distancia del Sol al punto. Si  $I_s$  denota la intensidad de radiación solar, la irradiación por unidad de área horizontal  $G_s$ , es

$$G_s = \int I_s \cos Z \, dw_s \quad (2)$$

donde la integral de la ecuación anterior se extiende sobre  $w_s$ , el ángulo sólido suspendido sobre el Sol respecto del elemento horizontal de área. Dentro de este pequeño ángulo,  $I_s$  puede considerarse como una constante y

$$(3) \quad G_s = I_s * w_s \cos Z = [I_s * (\pi R_s^2) * \cos Z] / L_s^2$$

donde  $L_s$  = distancia del Sol;  $R_s$  = radio medio del Sol.

Donde  $Z = 0$  y  $L_s = L_m$ , distancia media del Sol a la Tierra;  $G_s$  es la constante solar  $G_0$ . Observamos que la intensidad solar es una cantidad mucho mayor que la constante solar.

$$\text{Siendo } I_s = [G_0 * L_m^2 * \cos Z] / L_s^2 \quad (4)$$

La cantidad total de energía radiante recibida por unidad horizontal de área durante un período  $Q$  de 24 horas, se obtiene integrando la anterior ecuación a lo largo del período

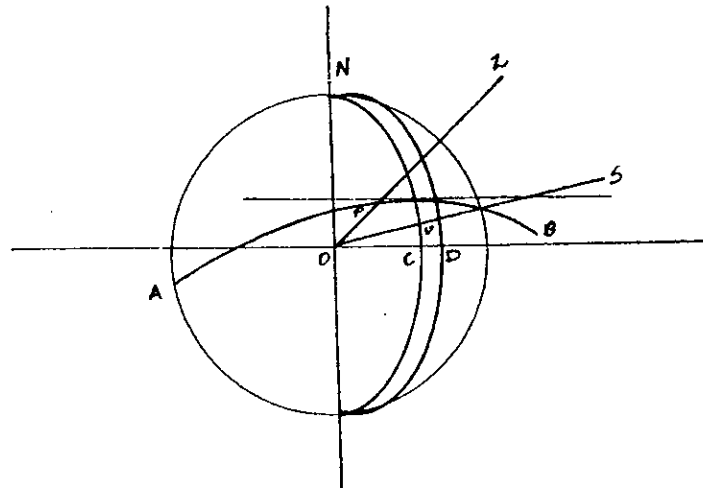
durante el cual el Sol está sobre el horizonte. Esta integración puede hacerse con la ayuda de ciertos datos atmosféricos.

La irradiación solar es directamente proporcional al coseno del ángulo cenital del Sol o al seno del ángulo de la latitud solar, que es  $90^\circ - Z$ . Pero ninguno de estos ángulos es directamente conocido y deben, en consecuencia, ser expresados en función de cantidades conocidas: la latitud; la hora del día, expresable como ángulo hora; y la declinación solar.

Sea P el punto de observación, con su cenit en Z y supóngase que el Sol está en la dirección OS o PS. Claramente entonces, los planos de OZ y OS, en su intersección sobre la superficie de la Tierra, conforman un ángulo ZOS medido por el arco PV y es igual a la distancia cenital del Sol, como se muestra en la siguiente figura:

Figura 1

Cálculo de distancia cenital del Sol.



Pero en un triángulo esférico NPV es obvio que el arco NV (donde V está directamente debajo del Sol) es la codeclinación, NP es la colatitud, y el ángulo h en N, medido por el arco CD sobre el ecuador, es el ángulo horario o ángulo que debe girar la Tierra para colocar el meridiano de P directamente debajo del Sol. De aquí que,

$$\cos Z = \operatorname{sen}\beta \operatorname{sen}\phi_s + \operatorname{cos}\beta \operatorname{cos}\phi_s \operatorname{cos} h \quad (5)$$

donde  $\beta$  es la latitud del punto P,  $\phi_s$  es la declinación solar y h es el ángulo horario, como se ha explicado.

A continuación se calcula el ángulo cenital Z para el día 19 de agosto de 1991:

Para aplicar esta ecuación primero encontramos la declinación solar y lo hacemos a través de la ecuación:

$$\phi_s = 23.45^\circ * \operatorname{sen} (360 * (284 + n) / 365) \quad (6)$$

donde n es el número de días que han transcurrido del año a partir del 10. de enero del año en cuestión.

Por ejemplo, para el día 19 de agosto  $n=231$ . Con este resultado obtendremos una declinación de  $\phi_s$  de  $12.45^\circ$ . La hora para hacer el cálculo de ángulo cenital fué a las 9 horas, que corresponde a un ángulo horario de  $h = 45^\circ$ . La latitud se tomó en  $\beta = 14.5^\circ$ .

Con estos datos obtenemos:

$$z = \cos^{-1} 0.73 = 43.35^\circ \text{ (ángulo cenital del sol)} \quad (7)$$

Para encontrar la cantidad de energía solar entregada durante el tiempo  $dt$  a un punto dado de la Tierra, tenemos la ecuación 8:

$$dQ = [Go (\sin \beta * \sin \phi_s + \cos \beta * \cos \phi_s * \cos h) dh] / \Omega \quad (8)$$

donde  $dh$  es el cambio en el ángulo  $h$  en el tiempo  $dt$  y  $\Omega$  la velocidad angular de la Tierra con referencia al Sol, o  $(\pi/12)$  rad/h. Para obtener la energía total entregada por unidad de área en el curso de un día, podemos considerar a  $I_s$  y  $\phi_s$  como constante para ese tiempo y, en consecuencia, escribir la ecuación 9:

$$Q = [2Go (H \sin \beta * \sin \phi_s + \cos \beta * \cos \phi_s * \sin h)] / \Omega \quad (9)$$

en que  $H$  es el ángulo horario entre medio día y la aurora o la puesta del sol.

Obviamente,  $H^2$  es una función de  $\beta$  y  $\phi_s$ . Al amanecer  $z = \pi/2$  y se tiene:

---

<sup>2</sup> Los valores de  $H$  (no confundir con  $h$ ) y de  $\phi_s$  pueden obtenerse en el "American Ephemeris and Nautical Almanac", publicado anualmente por el Superintendente de Documentos, Washington, D.C.

$$\cos Z = 0 = \text{sen } \beta \text{ sen } \phi_s + \cos \beta \cos \phi_s \cos H. \quad (10)$$

Y,

$$\text{sen } \beta \text{ sen } \phi_s = - \cos \beta \cos \phi_s \cos H \quad (11)$$

combinando estas ecuaciones se obtiene:

$$Q = [2Go \text{ sen } \beta \text{ sen } \phi_s (H - \tan H)] / \Omega \quad (12)$$

Ahora bien,  $\beta$ , la latitud del lugar en cuestión es conocida, y  $\phi_s$  la declinación solar para cualquier día dado, se puede obtener en una efemérides o de la ecuación 6. De aquí que, suponiendo una emisión constante de energía solar y dejando margen para variaciones en la distancia solar, las cantidades relativas de insolación por día, entregada a la atmósfera exterior de la Tierra a diferentes latitudes y en diversos momentos, puede ser calculada. Suponiendo que  $L_m = L_s$ , aplicada a la ecuación anterior se obtendrá:

$$Q = 24/\pi Go \text{ sen } \beta \text{ sen } \phi_s (H - \tan H) \quad (13)$$

para la cantidad total de radiación recibida por área superficial unitaria horizontal durante un período de 24 horas.

Para una superficie que está inclinada un ángulo  $\Gamma$  a la horizontal y cuyas caras normales están  $\alpha$  grados al oeste

(medidos a lo largo del horizonte desde el meridiano sur), la irradiación solar normal puede dividirse en dos componentes, una perpendicular y otra paralela a la superficie inclinada. Solamente la componente perpendicular incide sobre la superficie y si el ángulo entre la normal a la superficie y el sol es  $i$ , la irradiación efectiva  $G_i$  es dada por:

$$G_i = G_0 \cos z \cos i \quad (14)$$

donde

$$\cos i = \cos (A_z - \alpha) \cos (90 - z) \sin \Gamma + \sin (90 - z) \cos \Gamma$$

y

$$A_z = \sin^{-1} (\cos \phi_s \sin h / \cos (90 - z)) \quad (15 \text{ y } 16)$$

En la expresión anterior denotamos  $A_z$  como el acimut del Sol, esto es, el ángulo medido en un plano horizontal, en dirección oeste, desde el meridiano sur (los astrónomos miden  $A_z$  desde el meridiano norte), el ángulo horario  $h$  representa la rotación aparente de la esfera celeste alrededor del eje terrestre (se dice en sentido oeste en grados desde el meridiano sur) y  $\phi_s$  es la declinación solar (el ángulo medido arriba o abajo del ecuador celeste, hacia el polo más cercano).

Puesto que el análisis precedente despreció cualquier disminución de radiación solar debido a la absorción,

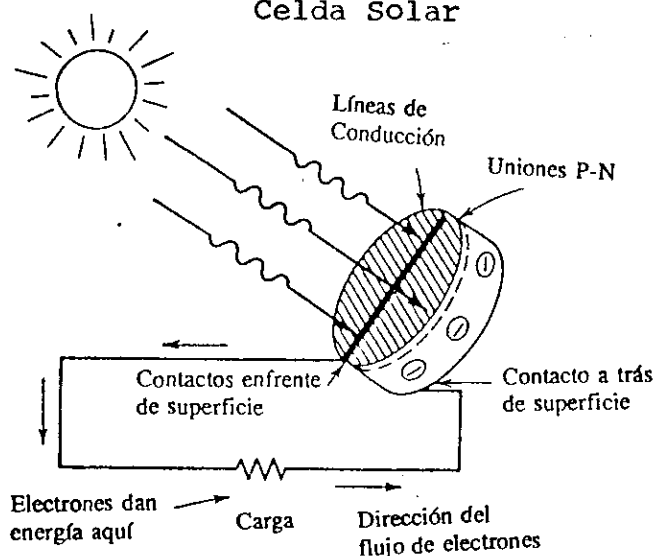
dispersión y reflexión en la atmósfera, las ecuaciones se pueden aplicar solamente a una superficie situada más allá de las capas exteriores de la atmósfera. Las ecuaciones de irradiación, pueden aplicarse a un satélite en órbita que no está muy lejos de la Tierra, una vez que sea conocida la situación de la superficie del satélite, en términos de su longitud, latitud y orientación a lo largo de la órbita. La irradiación instantánea, por supuesto, varía con el tiempo, a medida que el satélite se mueve en su órbita, porque las ecuaciones se aplican solamente a un tiempo y localización dados.

#### B. Celda solar

Las celda fotovoltaica es una celda elaborada en su mayor parte de silicio. La palabra fotovoltaica conlleva el significado de la conversión directa de la luz a electricidad. La celda fotovoltaica es un dispositivo semiconductor. El silicio es uno de los semiconductores usados más comunes. Es importante hacer notar que la posibilidad de que se escasee el silicio es mínima ya que consiste cerca del 25% de la corteza terrestre.

Figura 2

## Celda Solar



1. Características. Las celdas solares, usualmente en la forma de películas delgadas, son elementos semi-conductores que convierten desde 3% hasta casi 30% de la energía solar incidente en electricidad de corriente directa, dependiendo su eficiencia de la intensidad de la iluminación-espectro, de los materiales, diseño de la celda solar y la temperatura.

Una celda solar se comporta muy similarmente a una batería de bajo voltaje (0.5 volts), cuya carga se renueva constantemente a un promedio proporcional a la iluminación incidente.

Para comprender cómo la luz interactúa con un material semiconductor, podemos utilizar dos teorías de la luz: la corpuscular y las teorías de onda. Primero pensemos en la luz como conformada de partículas llamadas fotones. Cuando un

fotón penetra un material semiconductor como el silicio, éste puede forzar a un electrón a salir de su lugar en la estructura cristalina. A esta forma se le suele llamar par hueco-electrón. Si no se presenta otra provisión, este par hueco-electrón va a tener una vida corta. En un período de una millonésima de segundo, el electrón regresa al hueco en el cristal del que fue originario. A este proceso se le llama recombinación del hueco con el electrón.

La profundidad a la cual un fotón penetra el silicio depende de su energía.

Es más fácil explicarlo si utilizamos la teoría ondulatoria de la luz. La luz, que tiene una longitud de onda mayor, produce fotones que tienen mayor energía. En términos prácticos esto significa que el grado en que penetra el silicio depende de su longitud de onda. En general, la luz, que tiene una mayor longitud de onda, penetra más en el silicio.

Por supuesto, nosotros no tenemos algún control sobre la longitud de onda del Sol, pero la celda solar posee una alta respuesta a un gran rango de longitudes de onda desde la ultravioleta, a través de la porción visible del espectro y luego el infrarrojo. Esto significa que la celda solar va a producir energía eléctrica bajo varias condiciones. Llega a responder bien la celda solar, en días nublados, iluminados por luz incandescente o bien con lámparas fluorescentes.

Podemos considerar que existen varios tipos de celdas solares, y éstas son:

- a. Celda de silicio
- b. Celda de sulfuro de cadmio
- c. Celda de arseniuro de galio

a. Celda de silicio. Funciona a temperatura ambiental a una intensidad de AM0 (masa de aire 0)<sup>3</sup>. La producción de potencia utilizable de una celda solar desciende cuando sube la temperatura. Una celda solar de silicio convierte más energía cuando está a 20°C que a 70°C. El voltaje máximo desciende con la temperatura en una razón de 2mV/°C.

La potencia del circuito se mantiene relativamente constante con la temperatura, con un descenso de aproximadamente 0.02 mW/°C.

El rendimiento es la relación entre la energía eléctrica que se puede extraer al máximo punto de potencia de la curva intensidad-voltaje y la luz incidente.

Para la luz visible monocromática (rayo de luz amarillo o verde), el máximo rendimiento teórico de una celda es del 45% al 50%. Sin embargo, los rendimientos obtenidos son más bajos para la luz solar. Esto ocurre porque el espectro de la luz

---

<sup>3</sup> Se define como el ancho del paso de radiación a través de la atmósfera considerando el paso vertical al nivel del mar como unidad; masa de aire cero (m igual a 0, se escribe AM0) es la condición en el espacio.

solar se extiende hasta el ultravioleta, a través de la escala visible, hasta el infrarrojo lejano. Las celdas solares de silicio son insensibles a la luz no visible y muy cerca de la parte infrarroja del espectro.

La máxima luz sobre el suelo a nivel del mar se llama masa de aire 1 (AM1), con una intensidad de luz de  $1\text{kW/m}^2$ . En las altas montañas la intensidad aumenta hasta  $1.1\text{kW/m}^2$ . El máximo rendimiento teórico de conversión para las celdas solares de silicio, bajo máxima iluminación con luz solar en el suelo, puede ser de un 23%.

Consideramos apropiado incluir los diversos tipos de silicio que se pueden adquirir:

1. Silicio monocristalino: Muy puro se utiliza para construcción de dispositivos electrónicos. Su rendimiento es de aproximadamente 15%. Su costo depende de la oferta y demanda del mercado mundial de los semiconductores.
2. Silicio policristalino: Su pureza es menor, pues no posee una estructura monocristalina y en las fracturas se pueden encontrar impurezas. Su rendimiento es del 14%. Su costo es más bajo pues no depende del mercado internacional.
3. Silicio amorfo: Su rendimiento es del 7.8%, pero en los primeros 6 meses baja a 4%.

b. Celdas de sulfuro de cadmio. La tecnología a emplear es una celda de "pared frontal". Consiste en un substrato

sobre el cual se evaporan una capa de CdS (sulfuro de cadmio) en su parte superior. El conjunto es luego herméticamente puesto en una cápsula de vidrio. Se emplea un vidrio normal de pulverización química, se colocan en capas sucesivas, una lámina de óxido de estaño conductora transparente, una capa de CdS y, finalmente, una capa de  $\text{Cu}_2\text{S}$ .

La celda está pensada para la iluminación posterior, o sea, la luz debe atravesar el sustrato de vidrio y el grosor de la capa del semiconductor antes de alcanzar la capa barrera, o la unión. Este tipo de estructura se llama celda de "pared posterior".

El máximo rendimiento teórico de las celdas solares de película muy fina está entre el 11 y el 14%. Las celdas solares de CdS aún son inapropiadas para el funcionamiento, a pesar de la refrigeración externa. Por encima de los  $90^\circ\text{C}$  o  $100^\circ\text{C}$ , las celdas de CdS pueden sufrir deterioros que afecten la vida del sistema.

#### c. Celda de arseniuro de galio.

Cuando se le usa en forma monocristalina se pueden obtener altos rendimientos de conversión. A iluminación del suelo (AM1), el rendimiento máximo teórico es de alrededor del 27%.

Debido a su alto coeficiente de absorción para la luz visible, toda la luz se absorbe en una capa superficial no superior a  $1\ \mu\text{m}$  de espesor.

El consumo de material por unidad es considerablemente mayor que para las celdas de CdS, ya que se necesita un sustrato de GaAs monocristalino.

El arsénico, elemento básico, es raro y por lo tanto caro. El voltaje disminuye a razón de 1.7 mV/°C. La corriente es razonablemente constante. La potencia baja en una cantidad ligeramente menor que en una unidad de silicio.

2. Fabricación. Las tecnologías actuales de fabricación de celdas solares, incluyen procedimientos de:

- Purificación del silicio
- Tiraje del silicio en lingotes
- Descomposición de los lingotes a placas
- Procedimientos de fabricación de las celdas fotovoltaicas
- Producto final
- Celda en módulos

Los métodos de purificación pueden incluir:

- \* Arena  $\text{SiO}_2$  (90%).
- \* Metalurgia del silicio (98%) incluye una reacción con HCl.
- \* Condensación por destilación. Trichlorosilane ( $\text{SiHCl}_3$ ).
- \* Calidad del semiconductor trichlorosilane (99.999%) reducción por hidrógeno (H) a 900°C.
- \* Calidad del semiconductor silicio (99.99999%), tiraje

Czochralski o método de solidificación por fusión.

La realización de las placas de silicio conlleva dos posibles formas:

- \* Lingote de silicio mono-policristalino.
- \* Placa de silicio.

La realización de las celdas:

- \* Etapa de limpieza o desoxidación
- \* Realización de los contactos por serigrafía
- \* Depósito de antireflejo
- \* Probar las celdas
- \* Selección de las celdas

Purificación del silicio: Se introducen en un horno los elementos de silicio + boro, se sube la temperatura a 1300°C durante 3 horas para obtener líquido. Al bajar el pistón, empieza a bajar la temperatura, la cual llega a la normal en el transcurso de seis horas.

Al final del proceso, se tiene un lingote de 60 kg. policristalino dopado con boro y las impurezas quedan en la superficie.

Luego, se invierte el recipiente, se aumenta la temperatura a 1200°C, después de lo cual se inicia el período de enfriamiento final de 10 horas, obteniéndose así un lingote de 12 cm X 44 cm X 44 cm. de 60 kg de peso en un proceso que dura poco más o menos de 19 a 20 horas.

Se obtienen 16 bloques de 11 cm X 11 cm X 12 cm., los que luego de recortar las capas con impurezas quedan de 10 cm X 10 cm X 10 cm.

Los bloques se cortan con sierra de cinta, de características tales que el abrasivo no contamine mucho el silicio. Se trata de usar láser para el corte pero se debe usar mucha potencia.

Para cortar las celdas se utiliza una sierra con diamante, a una velocidad de 20 minutos/celda.

Es importante notar que el grosor necesario de la celda es de solamente 20  $\mu\text{m}$ , pero por razones prácticas no es posible cortarlas tan delgadas (800  $\mu\text{m}$ ).

Otra tecnología de corte es utilizar alambre de poco más o menos 3 km + abrasivo. Se logra obtener 150 placas en 3 horas, con una espesura de celda de 280  $\mu\text{m}$ , lo cual ayuda a obtener casi 3 veces más celdas y últimamente se logra cortar dos lingotes simultáneamente en tres horas.

Un hilo, dará para poco más o menos 5 lingotes, más lingotes se rompe el hilo y se pierde el lingote.

En el laboratorio, se ha logrado cortar hasta 100  $\mu\text{m}$ , pero es muy difícil procesar con los métodos actuales.

No se pierde mucho durante la etapa de corte más de lo que ocupa el grueso del hilo o la sierra.

A continuación viene el proceso de texturización pues hasta este momento poseemos placas dopadas de boro y con una

superficie irregular, luego se texturiza para llegar a un espesor de 150  $\mu\text{m}$ . Luego se coloca durante 10 minutos en un horno de 850 °C, para difundir una capa de fósforo en toda su superficie exterior.

Esa capa exterior se puede quitar si lo introducimos en un horno de plasma. A pesar de que aún posee la capa de fósforo en ambos lados ya está lista para el proceso de colocación de contactos. El proceso de colocación de contactos es básicamente serigrafía.

Al encapsulado no es fácil sacarle el polvo, no es muy resistente, le dañan los rayos ultravioleta. Posteriormente se cambió la resina por:

- \* vidrio templado
- \* vidrio texturizado

El vidrio templado posee las mejores características, pero contiene hierro, por lo que se debe buscar un tipo de vidrio que posea un coeficiente de transmisión de poco más o menos 97%.

En el vidrio texturizado, al principio, notamos alta eficiencia, pero finalmente el polvo se acumula.

No es utilizada la resina siliconada debido al difícil manejo, pues es muy pegajosa y requeriría automatización. Se usa una película química sobre la cual van las celdas, luego

otra capa de la misma película termoplástica<sup>3</sup>. Finalmente, se coloca otra capa (vidrio), cuyas características no sean necesariamente las mismas que el superior (la transparencia permite que no aumente tanto la temperatura).

Otra opción es el uso de telas químicas.

Finalmente se obtiene un sandwich, el cual se somete a pruebas con lámparas de xenon y  $1\text{kW/m}^2$  con celda de referencia.

Previo a amarrar el módulo se someten a prueba todas las celdas, clasificándose luego por igualdad de características y de acuerdo a ello se arman los módulos, lo cual puede resultar en varios tipos de los mismos de acuerdo a sus componentes. Si una celda es mala, el módulo sería malo, aunque todo lo demás sea bueno.

Finalmente, el sandwich es ensamblado en su estructura metálica de aluminio anodizado, tomándose en cuenta la diferencia de coeficientes de dilatación por temperatura del aluminio y del vidrio, usándose para ello una junta de sellamiento.

Todos los materiales deben ser resistentes a los daños por los rayos ultravioleta.

Además debe ser robusta y de diseño mecánico simplificado, haciendose mínima la cantidad de piezas y aumentando la

---

<sup>3</sup> a  $140^{\circ}\text{C}$  se hace líquido

confiabilidad.

En cuanto a la caja de conexiones hay dos posibilidades:

- Se hacen agujeros detrás de la primera y última celdas, se sacan los terminales positivo y negativo, y se unen las piezas. Una desventaja es que aumenta la temperatura y baja el rendimiento de la celda y por lo tanto del módulo.

- Se sacan las terminales por uno de los lados y se pega la caja al marco, dejando espacio suficiente para circulación del aire.

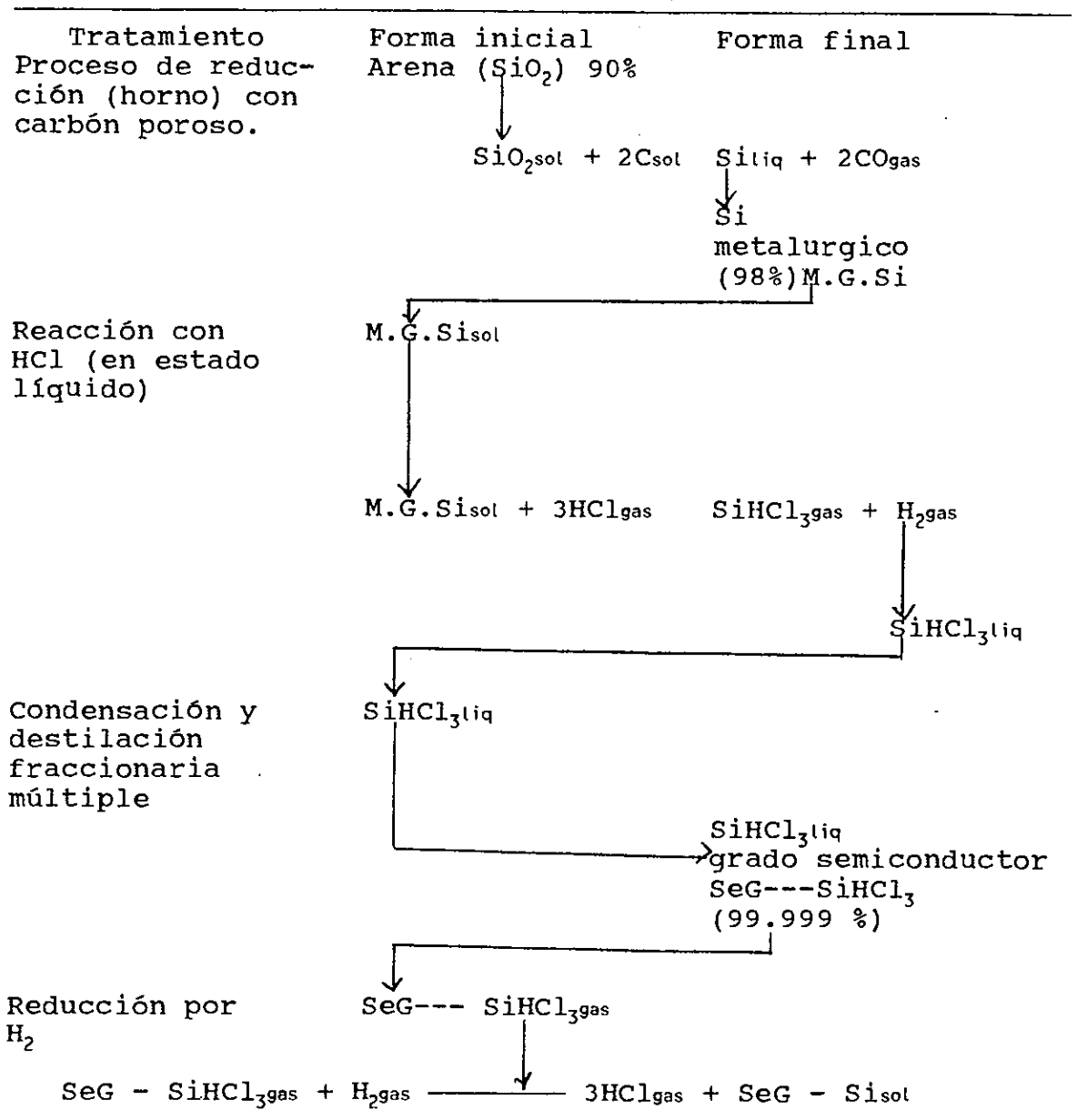
- Además se deben sellar y fijar adecuadamente los contactos, así como colocar grasa siliconada en los tornillos al terminar la instalación.

- Tener un terminal para protección de una celda obstruida (para colocación de un diodo bypass), aunque si el daño se puede dar en sistemas de más de 48 V, en sistemas de 12 y de 24 V, no es necesario.

Purificación del silicio: Para el tratamiento purificador se registra cierto proceso químico, el cual se describe en la tabla #3 que se muestra a continuación.

Tabla 3.

Proceso químico para purificación del silicio



Tiraje del silicio en lingotes. Para el tiraje del silicio en forma de lingotes podemos utilizar diversos métodos.

Para la construcción del lingote tipo monocristalino:

\* Tiraje Czochralski (CZ)

\* Tiraje en zona flotante (FZ)

Para la construcción del lingote tipo multicristalino:

\* Solidificación

El procedimiento de fabricación de las celdas solares, en sí es bastante complejo, conlleva una serie de pasos o procesos para la elaboración final de la misma. A continuación detallamos los procesos:

- Preparación del sustrato
- Difusión
- Apertura de la unión
- Realización de los contactos
- Deposición de anti-reflexión
- Prueba final

Antes de iniciar la descripción de cada uno de los puntos, es conveniente determinar y explicar ciertos términos que incluiremos con frecuencia, los cuales ocurren en el proceso de fabricación:

\* desoxidación química, la cual conlleva a la desoxidación por plasma.

\* difusión en donde se incluye el tratamiento de implantación (dopado) y un proceso de recocido térmico.

\* serigrafía, proceso utilizado para la realización de contactos, utilizando para el efecto materiales como la plata y el aluminio.

\* corte de los sustratos, se necesita que en un lingote podamos hacer varios cortes, por lo que la cantidad de cortes según la tecnología tiende a ir en aumento. Para el cortado de lingotes se usan varios tipos de sierras: multifilo, monofilo y de multihojas.

\* espesor de los sustratos, se desea lleguen a minimizarse los espesores de cada sustrato.

\* automatización, se requiere este proceso para agilizar la producción y realizar eficazmente los tratamientos.

Preparación del sustrato. El objetivo principal es de eliminar la zona de perturbación o desuniformidad de la superficie.

métodos:

-Tratamiento ácido: la ventaja del proceso es la uniformidad que deja en el sustrato. Las desventajas incluyen el costo de los materiales, el cual es elevado, el desperdicio que deja que es en forma de ácidos y la falta de seguridad presente en cuanto a la elaboración del proceso se refiere.

-Tratamiento básico: la ventajas del proceso conlleva su bajo costo de elaboración y la seguridad presente en el

proceso. En cuanto a los inconvenientes tenemos la falta de uniformidad y el constante rechazo de las bases.

-Tratamiento por plasma: como ventajas tenemos el bajo costo de la realización, la uniformidad en que se deja el sustrato, incluir la automatización como medida para acelerar el trabajo y que no se presenta algún tipo de rechazo en el proceso químico. Como inconvenientes tenemos la dificultad de llevar a cabo el proceso de las investiduras (dopados) de materiales.

Difusión. El objetivo principal: La realización de la unión.

métodos:

-Difusión  $\text{POCl}_3$ : como ventajas tenemos el bajo costo y la seguridad de la elaboración del proceso. Como inconvenientes consideramos relevante incluir el gran consumo de energía que este proceso conlleva y la actual imposibilidad de automatizar el proceso.

-Difusión  $\text{PH}_3$ : como ventaja es el bajo costo que el proceso necesita para la elaboración. Como inconvenientes encontrados tenemos la falta de automatización del proceso, la falta de seguridad en elaboración y el alto consumo de energía.

-Serigrafía: como conveniente tenemos que el proceso puede llegar a ser automatizado. La desventaja considerada es en lo que respecta a la realización de

las inversiones (dopados).

-Nebulización: la ventaja es que se cierra de tal forma la unión que no puede correrse el riesgo de encontrar una abertura en ésta. Como desventaja del proceso es su alto costo y la problemática en la eliminación de los excesos de depósitos.

Abertura de la junta:

métodos:

-Máscara química: como ventaja podemos decir que se puede obtener una total eliminación de los bornes en la zona de la junta. Como inconvenientes tenemos el precio alto y la falta de seguridad en la elaboración del proceso.

-Deposición de silicio antes de la difusión: como conveniente se considera que el proceso puede ser automatizado y que elimina en casi un 100% los bornes de la zona. Como desventajas están el elevado precio del proceso y que deja un espacio (cerco) en la zona de la junta.

-Plasma: como ventaja tenemos el bajo costo, la existencia de un espacio infinitesimal en la junta (cerco). En cuanto a las desventajas tenemos, que el proceso aún no puede ser automatizado, por lo que el tiempo de la elaboración es mucho mayor.

-Mecánica: en las ventajas consideramos que es el bajo

costo y la presentación de un espacio infinitesimal en la juntura (cerco). El inconveniente principal son los escapes residuales presentes en el proceso.

Realización de los contactos. El objetivo principal es la colección de corriente.

métodos:

-Evaporación en el vacío: la ventaja del proceso consiste en la confiabilidad presente. En cuanto a las desventajas están el alto costo, la extensión de la juntura que es mucho mayor de lo deseado y no poder incluir la automatización como proceso.

-Deposición química + estañadura: como convenientes incluimos la confiabilidad del sistema y que la juntura es muy pequeña (separación de la unión). Como inconvenientes tenemos que el costo es muy alto, que el proceso de automatización no lo podemos incluir tan fácilmente y la falta de reproductibilidad.

-Serigrafía: como conveniente tenemos que el sistema puede ser automatizado, el costo es bajo y la reproductibilidad es eficiente. Como desventaja es que no hay extrema confiabilidad del proceso y que la unión entre la juntura es muy grande.

Los contactos no afectan, ya que sí se daña uno, se pierde solamente el 10% de la energía.

La soldadura de los contactos externos se hace por fusión

usando dos electrodos y una diferencia de potencial de poco más o menos 1000 V.

El patrón de la parte posterior de las celdas lleva además una aleación de aluminio, el cual penetrará en la celda atravesando la capa de material fosforado inutilizándola.

Finalmente, se coloca una capa de antireflejante por proceso de nebulización de óxido de titanio, lo cual queda color azul (color complementario del amarillo, el de los fotones principales), que aumenta la eficiencia.

Deposición del anti-reflexión. El objetivo principal es la adaptación de los índices de refracción.

métodos:

-Evaporación: como ventajas tenemos la uniformidad del producto final. Como inconvenientes tenemos el alto costo, la distancia de la unión muy ancha y no poder utilizar los procesos de automatización.

-Nebulización: como conveniente tenemos un bajo costo, el espesor de la unión muy estrecho y sí se puede utilizar el proceso de automatización. El inconveniente es la falta de uniformidad del producto final.

-Depósito LPCVD: tenemos como ventaja la uniformidad, y como inconvenientes el costo elevado y que no podemos hacer uso de la automatización.

3. Aplicaciones de los sistemas solares. Podemos considerar dos tipos de abastecedores de energía y estos son:

\*Sistemas solares de generación tipo térmico

\*Sistemas solares de generación tipo FV<sup>4</sup>

Es conveniente tener presente las variadas aplicaciones del orden térmico para observar otra variante en cuanto a obtención de energía solar se refiere.

Mucha de la demanda de energía que ocurre en los edificios industriales y comerciales puede ser abastecido, en alguna parte, por los sistemas de energía solar.

Muchos de los edificios comerciales necesitan de la iluminación y, en menor caso, sistemas de ventilación o aire acondicionado. Los sistemas de calefacción pueden ser provistos por sistemas solares, ya sea activos o pasivos.

La demanda de agua caliente es generalmente baja en los edificios de oficinas, siendo de aproximadamente 1 galón por persona al día. Los restaurantes, por otro lado, requieren grandes cantidades de agua caliente: 2.4 galones por cada comida servida. Los edificios institucionales, como los hospitales, casas-cunas, casas de asilos, etc., requieren de grandes cantidades de agua caliente para la preparación de los alimentos, lavandería e higiene personal. Los hoteles también

---

<sup>4</sup> Fotovoltaico

requieren grandes cantidades de agua caliente y de calor para los servicios de aire acondicionado, con temperaturas que oscilan de 49°C a 88°C, las cuales pueden ser abastecidas por los colectores solares de superficie plana. Para ciertos requisitos comerciales, como la de las lavadoras de platos automáticas, las temperaturas del agua deben oscilar entre 82°C a 99°C, para la esterilización de los utensilios. Las lavanderías, a su vez necesitan de los sistemas calentadores solares de agua.

Las temperaturas usadas para diferentes procesos de manufactura en la industria, están en el rango de relativamente bajas para el secado de productos agrícolas (granos y frutas), a muy altas temperaturas encontradas en los procesos de manufactura del hierro y el vidrio.

El agua caliente, vapor y aire caliente (gases en combustión), pueden ser usados para abastecer de calor a estos procesos:

-Procesos de aire a baja temperatura (21° a 71°C), pueden ser abastecidos por colectores solares planos para calentar aire. Este tipo de proceso es usado en el secado de textiles o de maderas.

-Procesos de agua a baja temperatura (38°C a 71°C) pueden ser abastecidos por colectores solares planos

para calentar líquido (ej. agua). El líquido en este rango de temperatura es usado para el procesamiento de alimentos y para la industria de las bebidas, para el lavado y limpieza de los alimentos, antes del proceso de refrigeración, embotellamiento, enlatado o conservas. El uso de agua a éstas temperaturas ocurre en algunos procesos químicos.

-Procesos de agua (71°C a 100°C), tienen que ser abastecidos por colectores solares planos de alto desempeño o concentradores solares. Esta temperatura es usada para cocinar en la industria de procesados (alimentos), y también para el lavado y limpieza de partes en la manufactura.

-Procesos de vapor (100° a 177°C), pueden ser abastecidos por concentradores solares. Este rango de temperaturas puede ser usado para el calentamiento de soluciones químicas, procesamiento de plásticos, hules y alimentos.

En cuanto a los generadores solares de tipo FV, debemos mencionar variadas aplicaciones, las cuales van desde la industria y el comercio, hasta ser de uso doméstico.

En un inicio el generador solar-eléctrico, siendo de alto costo, era usado en donde las fuentes de energía eléctrica no

eran prácticas. Por lo que la primera aplicación de las celdas solares fue en los programas espaciales. Además todo el desarrollo obtenido referente con las celdas solares ha sido trabajado bajo los programas espaciales y ahora lo podemos observar en el uso de otras aplicaciones.

En la actualidad podemos notar un cambio drástico, el costo de los combustibles hidrocarburentes sube, mientras que el costo de los generadores solares-eléctricos decrece paulatinamente. Esto, sumado a la actual escasez de los combustibles convencionales, ha demandado una continua búsqueda de nuevas aplicaciones de los generadores solares-eléctricos. Las celdas solares son usadas, no sólo en lugares en donde las líneas de energía no son accesibles, sino que también en lugares en donde simplemente es más conveniente y eficaz. En muchas aplicaciones el generador solar-eléctrico está convirtiéndose en la más económica fuente de energía eléctrica.

Podemos encontrar varias formas de aplicar los sistemas a base de energía solar:

- \*Sistemas de programas espaciales
- \*Sistemas de radio y televisión
- \*Sistemas de comunicaciones: fibra óptica
- \*Aplicaciones en la agricultura
- \*Industria de la construcción
- \*Areas remotas y distantes de difícil acceso

\*Sistemas de protección

\*Aplicaciones recreativas

Sistemas de programas espaciales. Es en los programas espaciales, en donde la idea de aplicar y aprovechar la energía solar tomó un importante papel. Muchos de los satélites trabajan en base de conversión de energía solar a eléctrica. Debido a que no requieren los sistemas solares de combustible, oxígeno para la combustión, y mantenimiento, los sistemas solares son de primaria aplicación para la industria espacial.

Sistemas de radio y televisión. La transmisión de señales de televisión y radio dependen del uso de lugares óptimos para la antena transmisora. El mejor lugar es usualmente el que se encuentra en un punto elevado. Desafortunadamente en este tipo de lugar encontramos que las instalaciones eléctricas son escasas e ínfimas. A su vez, este tipo de lugares hacen que llevar el combustible necesario para los generadores sea hasta cierto punto muy costoso. Por lo que, debido en gran parte a la naturaleza geográfica del lugar, varias instalaciones de radio y televisión se ven limitadas a instalar sus sistemas repetidoras, por lo que la energía solar se ve muy bien aplicada a esta problemática. En el pasado, el hecho que la energía eléctrica fuera accesible era considerada como de

orden prioritario, actualmente ya no lo es.

Sistemas de comunicaciones: fibra óptica. Las fibras ópticas actualmente están compitiendo con el cable coaxial, por las ventajas que se obtienen y su eficiencia. Tanto el cable coaxial como los sistemas que utilizan fibra óptica requieren de amplificadores repetidores a intervalos a lo largo del camino. La desventaja actual de la fibra óptica es que siendo un aislante, no se puede transmitir la potencia de operación para el amplificador repetidor en la misma señal transmitida. Por lo que una fuente de potencia es necesaria para cada lugar en donde se encuentre el repetidor. En la actualidad se utilizan los generadores solares, los cuales hacen mínimo el costo.

Aplicación de la agricultura. La agricultura cada vez más se ve necesitada de energía eléctrica. El inconveniente que ha encontrado el agricultor es la gran extensión de área que se necesita para hacer uso de energía eléctrica (riego, mantenimiento, etc.), por lo que se han empezado a aplicar los sistemas generadores de energía solar para ser instalados en estos lugares. Además se aplica la energía solar para ser instalado en los equipos como tractores, sierras, podadoras y otros necesarios para el mantenimiento de una finca o granja de grandes o medianas extensiones de tierra. A su vez, vemos

lo útiles que son estos generadores solares, en caso de no haber electricidad convencional.

Industria de la construcción. Se puede construir una estación temporal de generador solar cuando se realizan trabajos de albañilería y luego se traslada a otra edificación. Otra aplicación interesante es la de iluminación de emergencia cuando una carretera está siendo construida o remodelada.

Áreas remotas y distantes de difícil acceso. En muchas de las grandes ciudades, la electricidad se da por sentada. Uno de los aspectos que detiene la utilización de muchas áreas es el simple hecho que no hay fuente eléctrica. Claro que se podrían hacer uso de generadores alimentados por hidrocarburos, en ciertas regiones hoy día se utilizan, pero existe el problema de transportar constantemente el combustible a estos remotos lugares.

En ciertos lugares abastecer de sistemas generadores de electricidad se ha visto como una necesidad, por lo que se han ideado innumerables formas de abastecer eléctricamente. La más idónea, sin embargo, sigue siendo el generador de corriente con paneles de celdas solares. Se han elegido por su bajo costo de mantenimiento y la simplicidad de operación.

Sistemas de protección. La corrosión electrolítica es una

de las mayores causas de deterioro de todos los tipos de estructuras metálicas existentes. La corrosión electrolítica puede ocurrir cuando tenemos dos metales disímiles en contacto, uno frente al otro, o cuando están conectados eléctricamente. Actualmente también debemos considerar como productores corrosivos de los metales a las impurezas presentes en el metal. Existe un método de protección contra la corrosión electrolítica y es el llamado protección catódica. El método requiere una fuente de energía eléctrica, la cual puede ser un generador de electricidad solar.

Aplicaciones a la industria. Los procesos de manufactura son procesos químicos que conllevan un alto grado de refinamiento día a día y exigiendo, en la mayoría de los casos, una fuente exclusiva de electricidad, la cual sea capaz de generar la suficiente corriente para hacer operar las máquinas. Por lo que es necesario encontrar más fuentes de energía y que mantengan el suministro constante de corriente. Es entonces, que se ha pensado en la energía solar como una buena alternativa energética y, actualmente, se han instalado grandes generadores solares en varias empresas e industrias.

Aplicaciones recreativas. Para usos de recreación, la energía solar es usada para juegos electrónicos, ventiladores, aire acondicionado, sistemas de supervisión, refrigeración,

radio, televisión, etc.

4. Energía solar convertida en corriente eléctrica. Una de las aplicaciones muy interesantes, en cuanto a los generadores solares de tipo fotovoltaico, es cuando se refiere a convertir energía solar a corriente eléctrica. Es en este punto donde podríamos decir que se basa el trabajo de graduación dando origen a sus principios y estructura.

Podemos resumir, que en los procesos fotovoltaicos pensamos en la luz o iluminación consistente en infinidad de fotones. Algunos fotones tienen suficiente o más que suficiente energía para expulsar un electrón de valencia fuera del átomo de silicio (1.08 eV o más), y otros no. Hay que recordar, a su vez, que sin importar qué tan grande es la energía de un fotón, éste sólo puede expulsar un electrón<sup>5</sup>. El exceso de energía de fotones de alta energía no muestra energía eléctrica aprovechable, ya que ésta es absorbida por la celda como calor, para luego ser disipada por conducción, convección y re-radiación.

Parte de la luz es reflejada por la superficie de la celda, y parte es bloqueada por puntos con soldadura (estaño) y no alcanza la superficie de silicio.

Algunos fotones pasan completamente a través de la celda

---

<sup>5</sup> Esto es la interacción uno a uno descrita por Einstein, según su explicación del efecto fotovoltaico.

y son absorbidos por el plato. Debido a estos factores es que encontramos pérdidas que ocurren en el proceso de conversión de luz a electricidad.

A medida que los fotones entran en la celda, la mayoría de éstos pasan a través de la delgada capa de dopado de fósforo (silicio - N) y la mayoría de ellos son absorbidos. Arrancan cada electrón libre producido por la absorción del fotón, un hueco es creado y actúa como una carga positiva, una infinidad de huecos se forman en la superficie de la capa tipo P-silicio. Este proceso se repite una infinidad sí y sólo sí hay presencia de fotones.

Los electrones permanecen en estado de espera cuando son llevados dentro del campo eléctrico en la juntura P-N. Ellos, luego, son acelerados a través del campo, perdiendo parte de su energía en colisiones en la rejilla de cristal. Bajo condiciones normales, sin embargo, ellos tendrían un potencial residual de cerca de 0.5 volts, luego de pasar a través de la juntura P-N. Su energía cinética y el campo eléctrico los mueve a la parte central de la celda, donde los puntos soldados y las líneas guías (rejillas) proveen caminos que conducen a un circuito externo.

El frente de cada celda posee una o más interconexiones de listones<sup>6</sup>, los cuales son conectados en serie en la parte

---

<sup>6</sup> es decir, wafleras

posterior de la siguiente celda del módulo, por lo que el flujo de electrones gana 0.5 voltios al pasar por una celda.

La conexión en serie de las celdas permite al módulo proveer de corriente del voltaje deseado a la carga. Los electrones regresan de la carga a la parte posterior de las celdas y llenan los huecos en el silicio tipo P, completando el circuito.

La eficiencia de trabajo de un panel solar se define como el cociente de la potencia eléctrica de salida entre la potencia de insolación en la superficie total de la unidad fotovoltaica.

Si consideramos celdas solares ya elaboradas y montadas en paneles solares y baterías (o acumuladores) ya hechas, en el proceso de adquirir corriente eléctrica nada es desperdiciado, nada es contaminado, no hay ruidos y el producto adicional es una cierta cantidad de calor que se disipa en el aire.

Los sistemas de potencia fotovoltaicos pueden ser clasificados con base en la fuente de energía, en dos categorías:

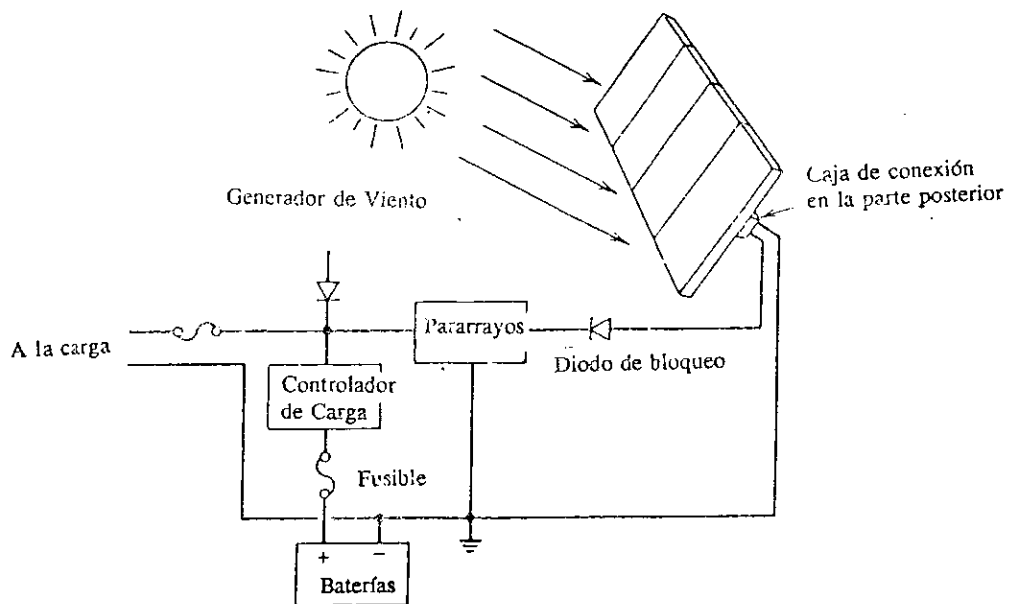
\*Sistemas únicos: en el cual la única fuente de energía disponible es el sistema de energía fotovoltaica.

\*Sistemas combinados o sistemas híbridos: en el cual otro tipo de fuente de energía es unido al sistema fotovoltaico, como por ejemplo el generador de viento,

generador por diesel, generador hidroeléctrico o la energía de la compañía eléctrica.

Figura 3

Aplicación de un sistema híbrido o combinado



Un módulo fotovoltaico provee de energía eléctrica solamente cuando está presente la luz solar, por lo que hay que proveer de medios de almacenamiento de energía, para luego ser utilizada cuando esté ausente la luz solar.

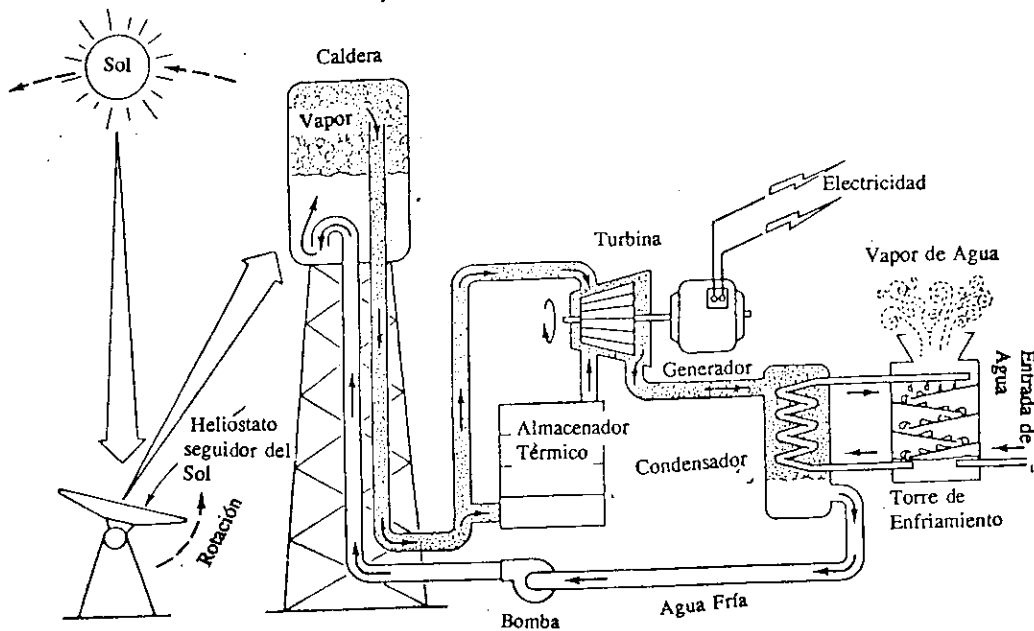
Muchos sistemas de almacenaje son posibles, incluyendo sistemas de almacenaje mecánico, almacenaje de hidrógeno de gas y almacenaje utilizando baterías.

Para diseñar un sistema generador de energía solar a corriente alterna, debemos considerar factores o requisitos de energía y la naturaleza de la carga eléctrica. Es decir,

debemos tener presente a qué tipo de demanda energética el sistema debe proveer de energía eléctrica. A su vez, podemos enfatizar que un control de demanda mensual y anual de energía eléctrica debe monitorearse para tener una mejor idea de la demanda necesaria.

Figura 4

## Sistema de generación de energía eléctrica





#### IV. SISTEMA GCA

La dinámica del Sistema GCA es simple y se puede explicar como la búsqueda o monitoreo del mayor punto de intensidad solar para dirigir la celda solar en la ubicación precisa en donde se obtendrá el valor de la máxima capacidad de potencia especificada en corriente alterna. Se requiere entonces de un sistema generador de corriente alterno para obtener la señal de salida deseada.

Para lograr el buen dimensionamiento del sistema generador de corriente alterna debemos conocer su ubicación geográfica donde se instalará y el uso que se le dará. Debemos conocer:

#### Figura 5

#### Preguntas para el diseño del sistema GCA

---

---

Nombre de la empresa/usuario: \_\_\_\_\_  
Fecha: \_\_\_\_\_  
Uso del sistema GCA: \_\_\_\_\_

---

Sistema requerido en: corriente alterna, corriente directa o ambos: \_\_\_\_\_  
Voltaje de salida corriente alterna: \_\_\_\_\_  
Voltaje de salida corriente directa: \_\_\_\_\_  
Corriente requerida corriente alterna: \_\_\_\_\_  
Corriente requerida corriente directa: \_\_\_\_\_  
Potencia de salida del sistema: \_\_\_\_\_

Lugar geográfico donde se hará la instalación.  
País: \_\_\_\_\_ Municipio/Aldea: \_\_\_\_\_  
Latitud: \_\_\_\_\_ Longitud: \_\_\_\_\_

Celda solar a utilizar.  
Especificación: \_\_\_\_\_  
Voltaje de celda solar: \_\_\_\_\_  
Corriente de celda solar: \_\_\_\_\_  
Temperatura de la celda solar: \_\_\_\_\_

Autonomía del sistema GCA-I:  
Días de autonomía: \_\_\_\_\_  
Total de ampere-horas/día: \_\_\_\_\_

Información adicional:  
Horas pico de luz solar (intensidad solar)/día: \_\_\_\_\_  
Temperatura mínima ambiente °C \_\_\_\_\_  
Temperatura máxima ambiente °C \_\_\_\_\_

---

---

Luego de obtener los datos, el diseñador tiene una mejor percepción de lo que el usuario desea y necesita.

Este trabajo de graduación consiste en el diseño de un sistema GCA con características propias, las cuales ejemplificarán las múltiples aplicaciones que éste pueda proveer.

Para el efecto, listaremos lo indispensable para lograr diseñar un sistema GCA con salida de 360 W/120 V-ca<sup>7</sup> para un sistema de iluminación en una región del país (Guatemala). De ahora en adelante le llamaremos sistema GCA-I. Los pasos a seguir son:

- Obtener los datos lo más precisos posible.
- Dimensionar el sistema sensor.
- Programación del sistema sensor conectado al motor del sistema controlado.
- Dimensionar el sistema controlado
- Dimensionar el sistema generador de corriente alterna
- Dimensionar el sistema de apoyo o estructura que sostiene al sistema GCA-I
- Pruebas finales en el lugar requerido.

El Sistema GCA-I busca hacer óptima la eficiencia de su salida por medio de un sensamiento o monitoreo de la intensidad solar en varios puntos, a una inclinación

---

<sup>7</sup> Los 360 watts son una estimación que se basa en el uso que se le dará al GCA, y los 120 voltios-ca se emplea por los aparatos que se usan generalmente.

permanente del sistema en 15°<sup>8</sup>.

El sistema GCA-I conlleva la integración de tres sistemas principales, los cuales se dividieron de la forma siguiente:

- Sistema de medición sensor
- Sistema controlado
- Sistema generador de corriente alterna

Cada una de las partes procede a un principio y funcionamiento independiente, estudiado en forma individual para lograr un mejor acoplamiento del sistema integrado GCA. A cada uno de los sistemas se le hizo el estudio mecánico en cuanto a dimensionamiento se refiere. La parte del sistema de sensor y sistema controlado incluye una programación en lenguaje assembler Z-80. Por lo que a su vez podemos diferenciar la parte de programación (software) y mecánica (hardware) del GCA en:

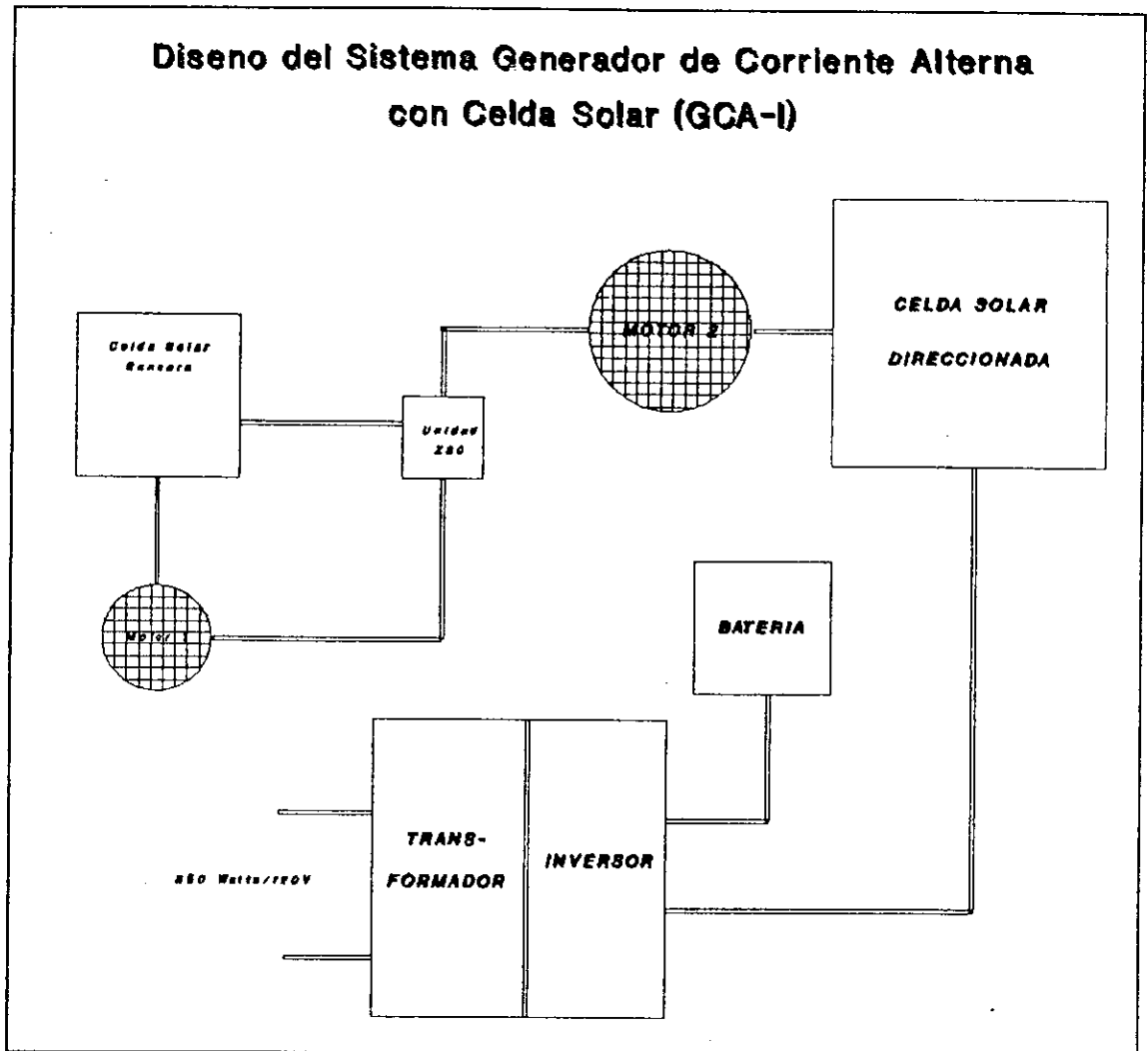
- Programa principal
  - \*Programa sensor
  - \*Programa direccionador

A continuación presentamos el diagrama de bloques del Sistema GCA-I.

---

<sup>8</sup> Para la ciudad de Guatemala se recomienda esta inclinación.

Diagrama 1  
Diseño del sistema GCA-I



Al tener la aplicación que se dará al sistema GCA-I, se llena el cuestionario presentado en la Figura #5, para luego pasar a los siguientes puntos enunciados por la lista de pasos de diseño del sistema GCA-I.

Figura 5

**Preguntas para el diseño del Sistema GCA**

Nombre de la empresa/usuario: Universidad del Valle de Guatemala./Depto. Ing. Electrónica Fecha: enero 1992

Uso del sistema GCA: para alumbrado de una oficina utilizando 9 tubos fluorescentes a 40 watts c/u.

Sistema requerido en: corriente alterna, corriente directa o ambos: corriente alterna

Voltaje de salida corriente alterna: 120 voltios

Voltaje de salida corriente directa: n/e

Corriente requerida corriente alterna: 3 A

Corriente requerida corriente directa: n/e

Potencia de salida del sistema: 360 watts

**Lugar geográfico donde se hará la instalación.**

País: Guatemala Municipio/Aldea: Guatemala

Latitud: 14.3610° Longitud: 90.3134°

**Celda solar a utilizar.**

Especificación: ARCO SOLAR M55

Voltaje de celda solar: 16 volts-dc

Corriente de celda solar: 3 A

Temperatura de la celda °C 47°

**Autonomía del sistema GCA-I:**

Días de autonomía: 7

**Información adicional:**

Horas pico de luz solar (intensidad solar)/día: 8

Temperatura mínima ambiente °C 10°

Temperatura máxima ambiente °C 30°



## V. SISTEMA DE MEDICION SENSOR

### A. Mecánica

La mecánica utilizada para el sistema sensor es construir un sistema pequeño que sea capaz de medir la intensidad solar. El material utilizado fue de acero inoxidable para proteger al sistema del medio ambiente y los cambios bruscos de temperaturas. Posee un compartimiento que almacena en su interior el equipo electrónico que conforma al sistema sensor (i.e.: unidad de control y demás circuitos).

1. Dimensionamiento de celda solar sensor. Para esta parte del sistema GCA-I, no necesitamos adquirir un medio que genere gran cantidad de potencia, ya que el fin último de esta parte es alcanzar una comparación inmediata entre posiciones, para luego determinar cuál es el punto de mayor intensidad solar y así mover el motor 2 a la posición requerida y adecuada, a la espera de otro punto que dé mayor eficiencia al sistema GCA-I.

La eficiencia es la característica básica que describe a una celda solar. A continuación enunciamos su ecuación:

$$\eta = [P_{o(\text{eléctrica})} / P_{i(\text{luminosa})}] * 100\%$$

Debido a que en el sistema GCA-I en la parte sensora no necesitamos obtener una potencia eléctrica, podemos elaborar el sistema sensor como un estereotipo de medición de intensidad solar, el cual se usará acoplado al sistema direccionador para generar la electricidad a potencia

eléctrica necesaria.

2. Dimensionamiento de tarjeta de control. Para el caso se utilizó la unidad de control mapeada<sup>9</sup>.

El hardware de la tarjeta de control se puede dividir en tres partes:

- la unidad de control (Z80)
- la entradas analógicas/digitales (ADC0808)
- los periféricos (8255)

Se emplea como único microprocesador el de 8 bits, que es el Z-80 de la familia Zilog. La unidad de control está conformada por varias partes que son:

- La unidad central de proceso (CPU)
- Unidades de memoria (6116, 2372A)
- Unidad de entrada/salida
- Elementos motores
- Unidad de energía
- Reloj

Unidad central de proceso CPU:

La unidad está compuesta por un microprocesador de ocho bits Z-80.

Unidad de memoria:

La unidad de memoria la conforman la memoria ROM, memorias RAM y decodificadores.

---

<sup>9</sup> Mapeo #1 y #2 páginas 82 y 83, respectivamente.

La memoria ROM está conformada por la memoria EPROM 2732 de 4 Kbytes de capacidad de almacenamiento. El mapeo de memoria está entre la dirección 1000H hasta la 1FFFH (4 Kbytes).

La memoria RAM está compuesta por 2 memorias 6116 de 2 Kbytes de capacidad cada una. Dichas memorias están mapeadas en la posición de memoria 7000H a la 7FFFH (4 Kbytes).

Los decodificadores utilizados fueron 74LS138 Y 74LS154.

#### Unidad de entrada/salida:

Esta la compone un ADC0808 y un circuito voltímetro analógico/digital, el cual se conecta a la entrada del ADC0808, y el interés primordial es medir la diferencia de corriente para conocer a qué intensidad solar se encuentra la celda solar sensora.

El convertidor ADC0808 es un circuito integrado CMOS, que posee la capacidad de convertir señales analógicas en digitales con una longitud de palabra de 8 bits. Posee ocho entradas analógicas ( $IN_0$ -  $IN_7$ ), las cuales pueden ser seleccionadas por medio de un conjunto de bits de direccionamiento (ADR A, ADR B, ADR C).

El ADC0808 posee dos etapas para realizar una conversión: inicio de conversión y lectura de conversión. En la primera etapa necesita una dirección de lectura para saber cuál entrada deberá convertir. Esta dirección es proporcionada en las entradas ADR A, ADR B, ADR C del ADC0808, las que están

conectadas a las patas PC0, PC1, PC2 del periférico 8255A.

Para que el convertidor análogo-digital capture la dirección, se proporciona un pulso de captura de dirección en el ALE (Address Latch Enable) más un pulso de START.

#### Elementos Motores:

Los elementos motores están compuestos por 2 motores paso a paso. Son manipulados por el controlador de puertos 8255, el cual está programado en modo 00 con el puerto A de entrada, el puerto B de salida y el puerto C de salida. El mapeo del 8255 es:

Puerto A se le asigna COH

Puerto B se le asigna C1H

Puerto C se le asigna C2H

Palabra de Control se le asigna C3H

A la salida del periférico 8255 se utiliza flip flops, los cuales sirven como latches antes de pasar la información a los transistores de potencia. Los flip flops actúan como retenedores de la información y por consiguiente de la posición del motor, hasta que no sea necesario o requerido su movimiento, se mantiene así la posición fija sin ninguna dificultad.

La unidad de reloj la conforma un cristal TTL de 2MHz conectado a Z-80, ADC0808 y 8255.

#### Unidad de Energía

Como se trabaja con motores paso a paso, esto provoca que

la carga no sea estable en todo momento, ya que cada cambio de posición de los motores provoca que las bobinas de los motores sufran cambios que van de conducción a no conducción y viceversa. Estos cambios generan picos de corriente, los que pueden llegar a generar ruido en la unidad de control. Por lo que se ha diseñado una alimentación separada para la unidad de control y para los motores. Utilizamos entonces, 3 baterías solares tipo HOPPECKE (2 V-dc c/u) para ser usadas como fuente de energía a la unidad de control y 3 batería solares tipo HOPPECKE (2 V-dc c/u) en cada uno de los motores (6 en total). Por lo que en total necesitamos 9 baterías solares tipo HOPPECKE (2 V-dc) en el sistema sensor.

3. Dimensionamiento de motor paso a paso. Los motores paso a paso son actuadores electromecánicos que convierten impulsos eléctricos en movimientos mecánicos. Ante cada impulso de excitación, el eje de salida del motor gira un ángulo específico que se repite exactamente para cada impulso sucesivo. El sentido de rotación del motor viene definido por el sentido de excitación de los arrollamientos. Estos están dispuestos en círculos y al ser excitados con un impulso, actúan sobre un núcleo de hierro dulce o imán permanente y lo hacen girar un ángulo  $\theta$ .

La velocidad media de rotación del eje del motor en revoluciones/min es de:

$$N_m = 60(f/n)$$

en la que,

$f$  = frecuencia de los impulsos

$n$  = número de bobinas

El desplazamiento angular al pasar de una bobina a la otra es de  $2\pi/n$ , lo que representa una conversión de las señales digitales de excitación a una posición angular definida del eje del motor.

En el interior de cada zona de trabajo del motor, éste puede arrancar, parar o cambiar de sentido, estando siempre en sincronismo con los impulsos de excitación. Si la velocidad aumenta unidireccionalmente, el motor entra en sobrevelocidad sin que sea posible su cambio de sentido, a menos que se reduzca la velocidad hasta la zona de reversibilidad.

Una de las ventajas principales del motor paso a paso es su característica de control de la posición o de la velocidad del elemento final de actuación (por ejemplo válvula de control industrial, máquina herramienta de control numérico, platina de microscopio, etc.) sin necesidad de realimentación del valor de estos parámetros, es decir el motor se coloca en la posición final gobernada por el controlador de forma exacta sin que haya que realimentar la señal de error al controlador.

El motor paso a paso se adapta muy bien al control por computador, ya que la señal digital de salida de éste posiciona directamente el eje de salida del motor y, por lo tanto, a través de mecanismos adecuados, la posición del

vástago de la válvula de control.

Otra ventaja importante del motor paso a paso es la relación absoluta que presenta entre el número de impulsos de excitación y la posición angular analógica final del eje del motor, es decir, el motor se comporta realmente como un convertidor digital-analógico.

El motor paso a paso presenta otras ventajas: respuesta rápida de menos de 1 milisegundo, es insensible a las variaciones lineales y a los choques, su vida útil es muy larga, es insensible a las variaciones de tensión y a la amplitud de los impulsos y su posicionamiento es exacto.

Los motores paso a paso encuentran cada día mayor número de aplicaciones. Según su potencia, las aplicaciones pueden clasificarse en:

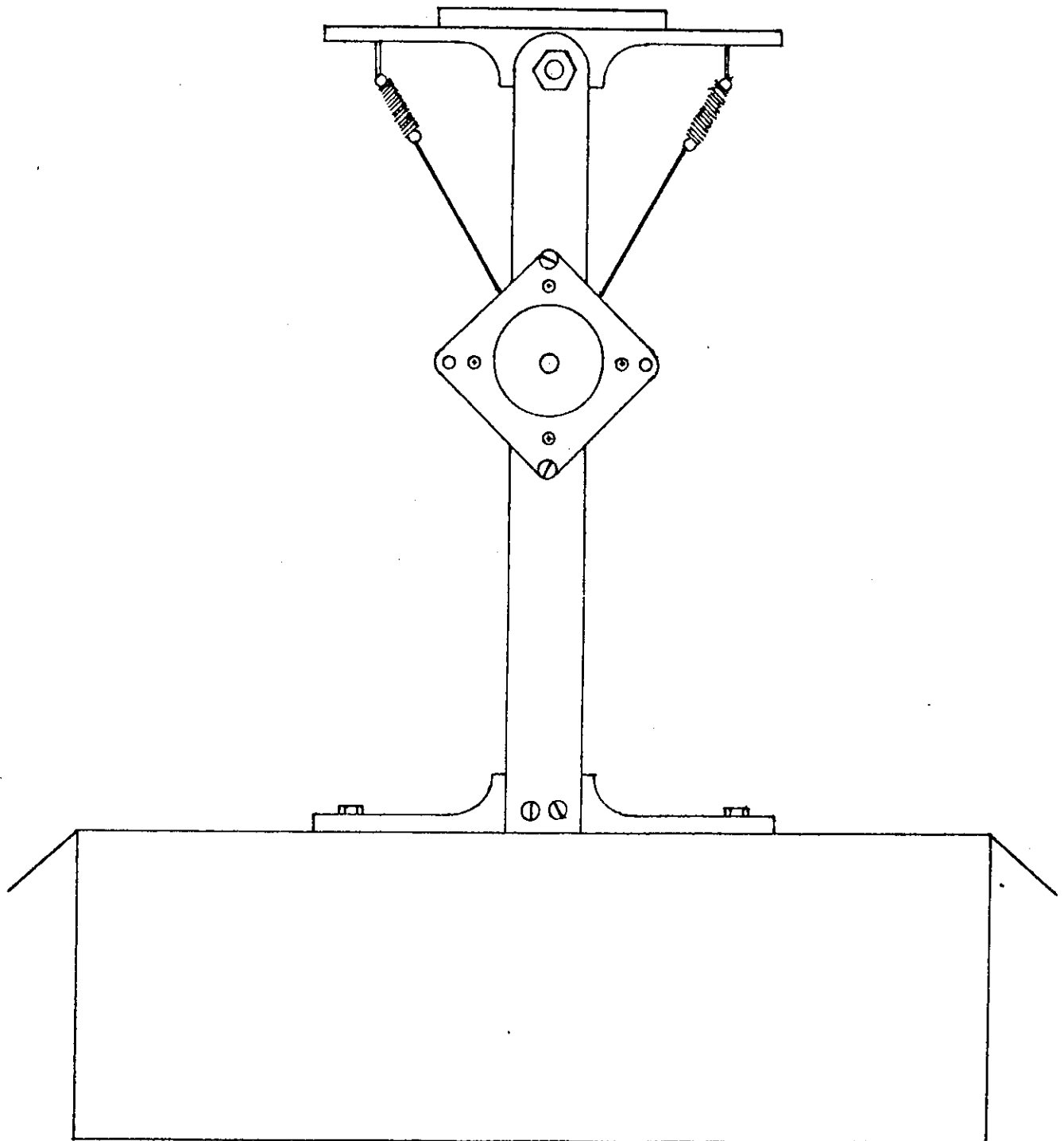
- Servomotores paso a paso de pequeños tamaños, empleados en servomecanismos, a menudo en el campo de la aeronáutica.
- Motores paso a paso de media potencia utilizados en el campo de los periféricos de ordenadores, tales como impresores, lectores, perforadores de cinta, etc., y en el campo de máquinas herramientas.
- Motores paso a paso de gran potencia empleados en posicionamiento de máquinas herramientas, válvulas de control, etc.

El tipo de motor paso a paso utilizado en el Sistema Sensor es de  $1.8^\circ/\text{paso}$  (200 pasos por revolución), ya que se necesita

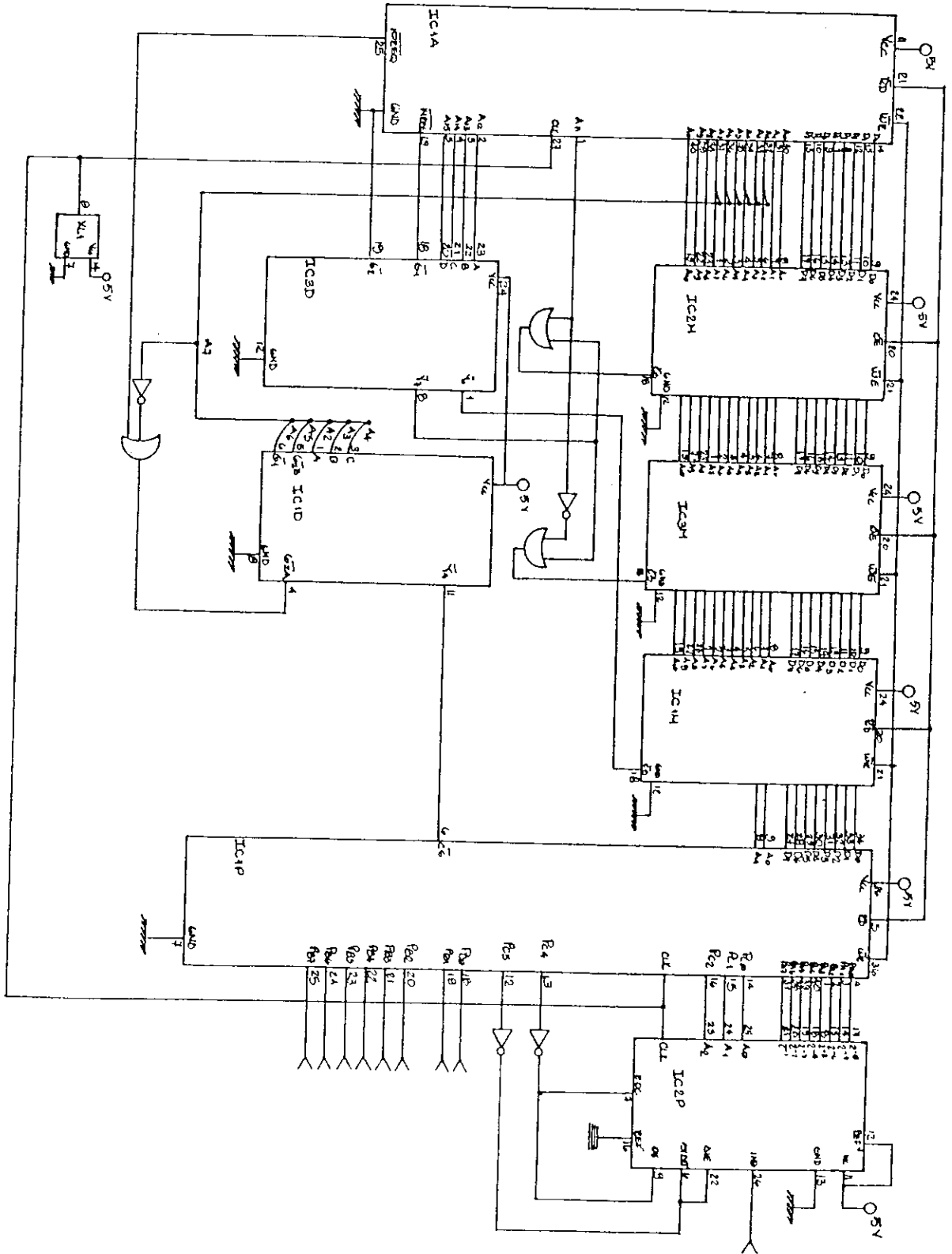
82

una respuesta rápida de movimientos, alta velocidad, alta potencia y amortiguamiento bueno.

Diagrama 2.  
Sistema Sensor



Mapeo 1.  
Sistema GCA-I







## VI. SISTEMA CONTROLADO

### A. Mecánica

El Sistema Controlado consiste en el acoplamiento de ocho celdas solares M55 Arco Solar Cells, montadas en una superficie tal que haga posible un movimiento eficaz en el momento en que el motor 2 sea direccionado por el sistema para mover la celda solar. En este capítulo mostraremos el procedimiento utilizado para dimensionar la celda solar del sistema controlado y la mecánica utilizada para diseñar el sistema acoplado al motor 2, encargado de mover la celda solar.

1. Dimensionamiento de la celda solar. Las dimensiones de la celda solar direccionada por el motor 2 está analizada por el siguiente proceso:

Potencia continua: **360 watts**

Voltaje nominal: **24 volts**

Profundidad de la descarga de la batería: **20%**

Autonomía requerida en días: **7 días**

Horas de uso o trabajo: **5 horas**

Capacidad requerida:

$$[\text{W-Hora total/semana}]/7 \text{ días/semana} = 12,600 / 7$$

$$= 1800 \text{ Wh/día}$$

$$[\text{Promedio de W-horas/día}]/\text{Eficiencia promedio} = 1800/0.92 \text{ (dc)}$$

$$=1,956.52 \text{ Wh/día}$$

$$\begin{aligned} [\text{Carga total}]/\text{Voltaje de entrada del inversor} &= 1,956.52/24 \\ &= 81.523 \text{ Ah/día} \end{aligned}$$

Ahora procedemos a dimensionar la celda solar direccionada considerando los siguientes aspectos:

Capacidad requerida: **81.522 Ah/día**

Angulo de inclinación: **15°**

Eficiencia del inversor CD/CA ( $n_{inv}$ ): **0.9<sup>10</sup>**

Eficiencia coulombica promedio de la batería ( $n_{coul}$ ): **0.95<sup>11</sup>**

Utilizamos el módulo: **M55 Arco Solar**

Horas pico en Guatemala ( $H_p$ ): **8 horas/día**

Corriente en corto circuito ( $I_{mp}$ ) típica: **3.4 A**

Procedimiento matemático:

$$Ah = \text{Hora Pico} * I_{mp}/\text{módulo} = 8 * 3.4 = 27.2 \text{ Ah/día/módulo}$$

$$F_s = \text{Factor de sobredimensionamiento del sistema} = 1.1^{12}$$

$$I_m = \text{Corriente pico del módulo solar para módulo de 46 W:} \\ 3.0 \text{ A}$$

$$V_m = \text{Voltaje promedio de operación del módulo solar una vez} \\ \text{conectado al banco de baterías: 12.5 volts.}$$

---

<sup>10</sup> Obtenido de documentacion CONDUMEX. Energía Solar dado por NRECA/USAID para dimensionar equipo solar con aplicaciones variadas

<sup>11</sup> Obtenido de documentacion CONDUMEX. Energía Solar dado por NRECA/USAID para dimensionar equipo solar con aplicaciones variadas

<sup>12</sup> Obtenido de documentacion CONDUMEX. Energía Solar dado por NRECA/USAID para dimensionar equipo solar con aplicaciones variadas

Por lo que primero obtenemos la cantidad de módulos conectados en paralelo:

$$NMP = [Ec * Fs] / [Im * Vm * Hp * n_{inv} * n_{cout}]$$

$$NMP = [1800Wh/día * 1.1] / [3A * 12V * 8 * 0.9 * 0.95]$$

$$NMP = 8 \text{ módulos}$$

Las dimensiones de cada módulo son:

longitud = 1.293 m; ancho = 0.33 m; espesor = 3.6 cm  
y peso = 5.73 kg

El sistema GCA-I posee un módulo de celda solar direccionada de las siguientes dimensiones totales:

longitud = 2.586 m; ancho = 1.32 m; espesor = 3.6 cm  
y peso = 45.84 kg.

2. Dimensionamiento de motor direccionador: para el análisis del motor apropiado, debemos considerar ciertas características del sistema, que son el torque al cual se verá sometido, la potencia y capacidad que deberá poseer para que el movimiento sea preciso y a su vez firme, por ello la primera parte del análisis se resuelve analizando cada una de las piezas que conforman el sistema direccionado.

Tabla 4.

Datos de las piezas del sistema direccionado

Pieza	Forma	Peralte de la canal/tamaño nominal	Material	Peso	Largo
A	Perfil canal	0.1016 m	acero inoxidable	1 kg.	0.10 m
B	Angulos de lados iguales	0.051 m	acero inoxidable	33 kg.	2.6 X 1.35m
C	Perfil canal	0.1016 m	acero inoxidable	4 kg.	0.50 m

El peso total del sistema direccionado es de 84 kg (incluyendo los paneles solares). Debemos tener presente luego la realización del análisis de torques para poder determinar el tipo de motor a usar. A continuación se pasa a analizar el torque. Sabemos que,

$M_p$  = masa de la plancha (pieza B) (kg)

$M_v$  = masa de la varilla (pieza A) (kg)

$l$  = al largo de la varilla (m)

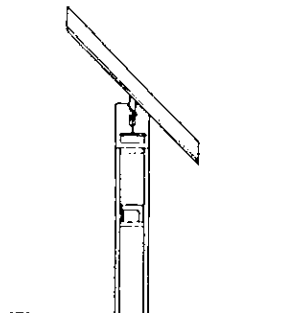
$p$  = centro de masa de la placa

$v$  = centro de masa de la varilla ( $l/2$ ),

$\alpha$  = máximo ángulo =  $60^\circ$

Diagrama 3.

Estructura del sistema direccionador



Cálculo de centro de masa + varilla:

$$CM_{pv} = [(M_p * l) + (M_v * l/2)] / (M_p + M_v)$$

$$CM_{pv} = [(33 \text{ kg} + 45.84 \text{ kg}) * 0.10 + (4 * 0.10/2)] / 34 \text{ kg}$$

$$CM_{pv} = 0.23335 \text{ m}$$

Cálculo del torque:

$$\Gamma = \text{radio} * \text{fuerza} * \text{seno del ángulo}$$

$$\Gamma = CM_{pv} * (M_p + M_v) * g * \text{sen} (90^\circ + \alpha)$$

$$\Gamma = 67.34 \text{ Nm}$$

Potencia especificada Motor 2:

$$P = \Gamma * \omega$$

$$P = 67.34 * 7.5 \text{ rad/seg}$$

$$P = 505.05 \text{ W}$$

Por lo que se necesita un motor de paso a paso de  $5^\circ/\text{step}$  y de 0.5 HP.

El motor paso a paso número 2 que se necesita para levantar 84 kg requiere que sea de 0.5 HP. Este tipo de motor se adquiere en Grundfos Pumps Corporation, Estados Unidos bajo catálogo. Recomendamos al ingeniero que se encargue de otras aplicaciones tipo GCA (con diferentes torques) contactar a la oficina:

Grundfos Pumps Corporation  
2555 Clovis Avenue  
Clovis, CA 93612  
Tel: 209 292 8000



## VII. SISTEMA GENERADOR DE CORRIENTE ALTERNA

### A. Mecánica

La producción de energía eléctrica es una de las más fuertes aplicaciones para la energía solar. Un sistema que utiliza celdas solares tiene, típicamente, además las siguientes partes:

- sistema controlador de voltaje
- sistema de reserva o batería
- inversor de DC-AC.

Cada una de estas partes posee una pérdida de potencia que debe ser considerada al momento de diseñar el sistema generador de corriente alterna. De tal forma, que se debe idear el sistema con pérdidas bajas en potencia y, además, ser elaborado con bajos costos.

La unidad de control fue diagramada utilizando el procesador Z80 y unidades de memoria, periféricos y convertidores de análogo a digital.

El sistema GCA-I consta de una celda solar ARCO solar cell de sensamiento, cuyas dimensiones son 7.5 cm X 4.5 cm. Su voltaje es de 0.3 V a una temperatura ambiente de 33°C. La conexión de esta celda solar va a la unidad Z80 en su entrada y por medio de un circuito voltímetro analógico/digital, conectado a la parte posterior, se logra medir la caída de tensión en un punto cualquiera del movimiento, lo cual es

necesario para apreciar cuál es el punto o posición angular en donde la caída de voltaje es mayor. La unidad Z80 se mantiene en constante movimiento buscando la tensión máxima (el motor 1 es Pulse Motor OKI 1.8°/step, 4 V-dc, 0.9 A). Al recibir la información de entrada, si el voltaje es máximo en 5 minutos, la unidad dirige al motor 2 (el motor 2 es DC Servo Motor Gear ratio 1/20.26, 5°/step, 24 V-dc) en la posición angular requerida para que se mantenga en ésta posición al panel solar (8 paneles solares M55 ARCO conectados en serie) el tiempo necesario hasta que se logre encontrar, por el monitoreo del sistema sensor, un mejor punto que el anterior y se le dirija a él. Con ello se obtiene una mayor eficiencia. La celda solar direccionada luego va conectada al sistema generador de corriente alterna. El sistema de generador de corriente alterna lo constituye un inversor y un transformador acoplados (con las baterías para mantener constante la salida en caso de días nublados), de tal forma que a su salida apreciamos 360 W/120 Volts.

Antes de continuar con la etapa de integración del sistema GCA-I, debemos diseñar el sistema generador de corriente alterna. Por lo que se procede al dimensionamiento de las etapas inversor, transformador y baterías.

1. Dimensionamiento de etapa inversor. Los inversores transforman energía eléctrica de corriente continua en corriente alterna. Se pueden utilizar en la actualidad

circuitos inversores con base en semiconductores, los cuales son más compactos, con buena confiabilidad y rendimiento del orden del 70 al 90%. Se utilizan generalmente transistores para potencias inferiores de 2 kVA y transistores para potencias superiores.

Los semiconductores involucrados en los inversores trabajan al corte y en saturación y no en la zona activa, pues se busca la mayor reducción de pérdidas posibles.

Las configuraciones existentes de etapas de inversión son:

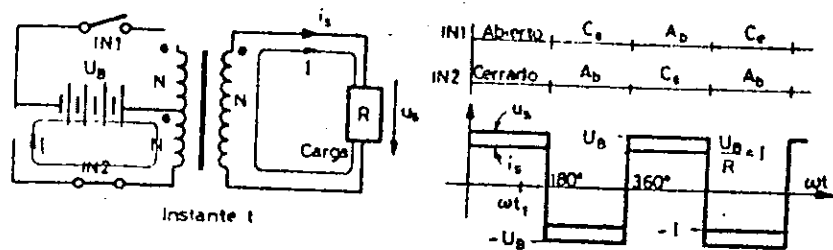
- Configuración con transformador de toma media.
- Configuración de batería de toma media.
- Configuración en puente.

La configuración con transformador de toma media, posee la batería o fuente de alimentación de continuo o de tensión ( $U_b$ ), que es conectada por uno de sus polos al punto medio del primario de un transformador. El otro extremo del primario se conecta a interruptores que simbolizan los transistores o tiristores de un circuito real. Con IN2 cerrado, la tensión del secundario resulta  $u_s = U_b$ , suponiendo igual número de espiras en el secundario y cada uno de los primarios. Esta tensión se mantiene mientras no se sature el transformador, y antes de que esto suceda se abre IN2 cerrándose simultáneamente IN1. La tensión de salida cambia de sentido  $u_s = -U_b$  y mantiene el mismo valor absoluto. Repitiendo estas operaciones a la velocidad requerida por la frecuencia a

obtenerse, se consigue en el secundario del transformador una tensión alterna cuadrada de amplitud  $U_B$ . Esta configuración somete a los semiconductores, en el estado de bloqueo, a una tensión doble de la batería, por lo menos, y por ello no se adecua a tensiones de entrada alta (ello se debe al bajo coeficiente de utilización del primario). Por lo que la configuración no es apropiada para potencias altas.

Figura 6

## Inversor con transformador de toma media

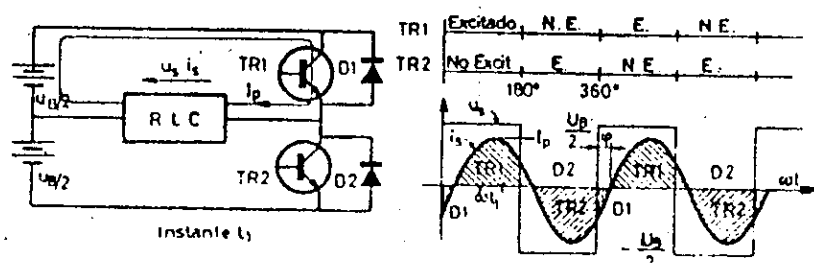


La configuración de batería de toma media, posee una batería que tiene una toma a la tensión media permanentemente conectada a un extremo del circuito RLC, cuyo otro extremo está conectado alternativamente al positivo y al negativo de la batería. La forma de onda de la intensidad de carga depende de la configuración del inversor. De la observación de la evolución de las ondas de tensión y corriente de salida se deduce que ésta se ve obligada a circular en determinados intervalos en sentido contrario al de conducción del semiconductor excitado; para ello se disponen de los diodos

antiparalelo D1 y D2. La tensión de los semiconductores en bloqueo es igual a la tensión de batería, por lo que esta configuración se adapta a baterías de tensión media y elevada. Sin embargo, el hecho de necesitar una toma media en la fuente es a veces un inconveniente, sobre todo cuando ésta se halla alejada del equipo y cuando se manejan potencias elevadas.

Figura 7

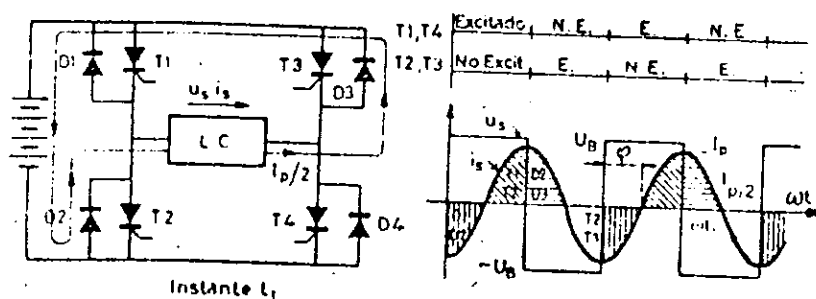
## Inversor con batería de toma media



La configuración en puente está formada por dos ramas de semiconductores similares a los de la configuración anterior. La carga está conectada a los puntos medios de ambas. Al disparar T1 y T4, la tensión aplicada a la carga es  $u_s = U_b$ . Al bloquear aquellos y disparar T2 y T3, la tensión pasa a ser  $u_s = -U_b$ . Alternando estas dos situaciones a la frecuencia conveniente, se obtiene una tensión de salida

alterna cuadrada de amplitud  $U_b$ . La tensión aplicada a los semiconductores bloqueados es igual a la de la batería, como en la configuración de batería de toma media. Esta configuración se adapta bien a potencias y tensiones de batería elevadas.

Figura 8  
Inversor en puente



Las tres configuraciones necesitan diodos en antiparalelo con los transistores para conducir la corriente reactiva. Puede prescindirse de ellos en las dos últimas configuraciones con una carga resistiva y, en la del transformador de toma media, con una carga resistiva suficientemente elevada como para compensar la corriente magnetizante de pico del transformador.

Todos los inversores explicados con anterioridad, pertenecen a la categoría de inversores autónomos, que pueden mantener una tensión y corriente alterna en una carga pasiva

sin necesidad de una fuente de tensión alterna exterior.

Se emplean configuraciones de transformador de toma media y batería de toma media para potencias de hasta 500 VA (en puente para potencias mayores). La tensión de alimentación no suele superar los 100 o 200 V, debido a limitaciones de tensión para los transistores comerciales.

Actualmente se han construido inversores de más de 10 kVA con base en combinaciones de varios inversores en puente, con transistores que resistan la potencia.

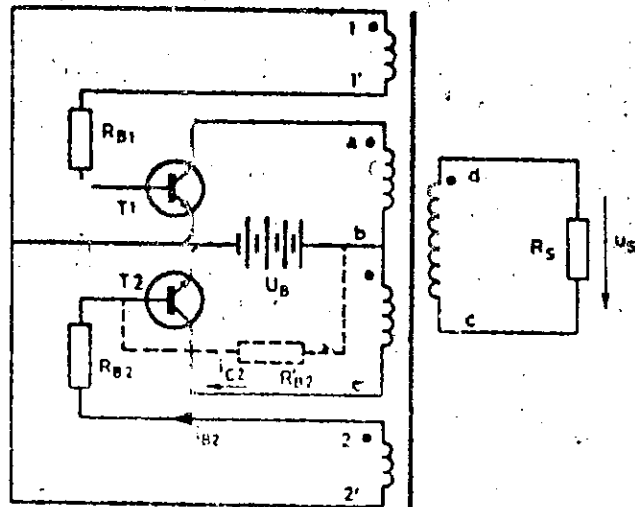
El inversor más apropiado para utilizar en el sistema GCA-I es del tipo inversor simétrico con dos transformadores independientes y, el cual utiliza transistores para bajas potencias (2 ó 3 kW) en el diseño. El transistor puede trabajar en su zona activa o en conmutación (cuando trabaja en su zona activa da origen a elevadas pérdidas y ocasiona en equipos un bajo rendimiento). Si trabaja en conmutación, es decir, solamente con dos estados de trabajo: en corte y en saturación, es más eficiente.

Recibe el nombre de inversor simétrico el inversor del tipo transformador con toma media y devanados auxiliares de autoexcitación. Los devanados están puestos de tal manera que cuando el transistor T1 está saturado, T2 se mantiene en corte y viceversa; entonces  $-u_{a-b}$  es aproximadamente igual a  $U_B$ , por lo que se introduce una tensión en los puntos 1-1' llamado  $+u_{1-1'}$ , el cual excita al transistor T1 y es generada una

corriente de base positiva  $+i_b$  que mantiene a T1 en saturación.

Figura 9

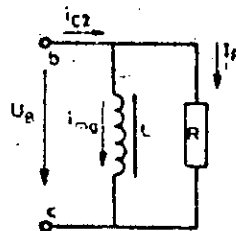
Inversor simétrico con transistores



La tensión de los puntos entre b y c es negativa ( $-u_{b-c}$ ) e igual a la tensión entre los puntos de a y b ( $u_{a-b}$ ), ya que tienen igual número de espiras.

La tensión del transistor T2 entre el colector y emisor es dos veces la tensión de la batería ( $U_B$ ). T2 está en corte y se introduce una tensión  $-u_{2-2'}$ , y la base es entonces polarizada inversamente respecto del emisor.

Si T2 está saturado y T1 en corte, se observa el siguiente circuito:





La frecuencia de salida puede calcularse considerando que la inducción en el transformador varía de forma lineal durante un semiperíodo entre los valores de  $-B_{max}$  y  $+B_{max}$ , debido a que la tensión en los devanados permanece constante.

Se puede escribir:

$$f = 1/T = U_B / 4N_{ab}SB_{max}$$

Siendo  $N_{ab}$  las espiras del devanado ab, S la sección del núcleo y T el período de la onda de salida. La tensión de salida es una onda cuadrada de amplitud dependiente de la tensión de batería y de la relación de espiras primario/secundario. Se ha despreciado, en lo precedente, las caídas de tensión en los transistores y en los devanados.

De la ecuación anterior se deduce que la frecuencia aumenta con la tensión de batería debido al hecho de que la saturación del núcleo se alcanza más rápidamente.

En algunas aplicaciones conviene independizar ambas variables y mantener constante la frecuencia con variaciones considerables de la tensión de alimentación. Esto se consigue mediante la adición de un segundo transformador TF2 de poca potencia encargado de excitar las bases de los transistores. Se alimenta este transformador TF2 de un circuito multivibrador conectando en su entrada un panel solar, en el caso del sistema GCA-I.

2. Dimensionamiento de transformador. El transformador fue elaborado al utilizar una serie de fórmulas de dimensionamiento básicas.

El procedimiento fue:

Transformador requerido: 120 V-ac/360 W

$S = \sqrt{600/0.72836} = 33.63 \text{ cm}^2$  nucleo tipo Z

$N_p$  (devanado del primario) =  $23 \times 10^4 / (4.44 * 6 * 33.63 * 8)$

$N_p = 32.08$  vueltas

$N_s = 120 * (32.08/48) = 80.21$  vueltas

Tipo de calibre usado en los alambres de cobre:

Para el primario,  $S_{A11} = (600/16.20) \div 3$

$S_{A11} = 12.34 \text{ mm}^2$  (calibre AWG #6)

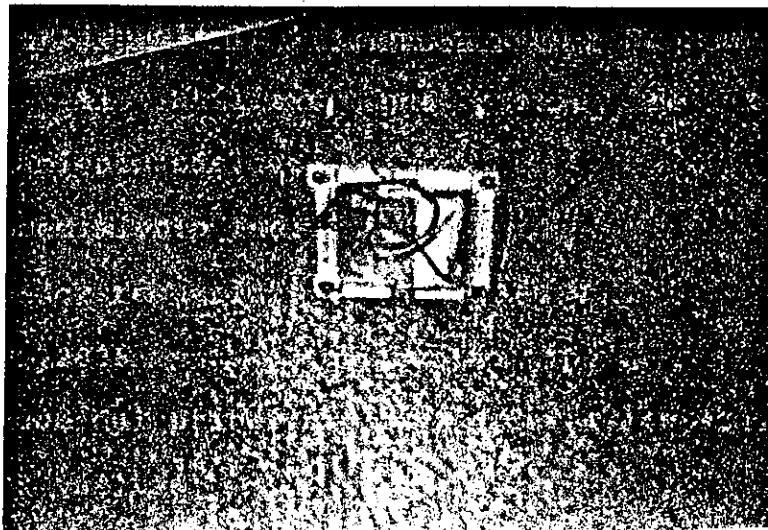
Para el secundario,  $S_{A12} = (500/120) \div 3$

$S_{A12} = 1.39 \text{ mm}^2$  (calibre AWG #15)

A continuación mostramos el transformador utilizado en el sistema GCA-I.

Figura 11.

Transformador 360 W/120 V



3. Dimensionamiento de baterías. Uno de los principales factores que determinan las características del sistema son: la carga, el consumo de energía eléctrica, su magnitud, profundidad de descarga y frecuencia, y la duración del mismo.

El sistema generador de corriente alterna permite utilizar dos tipos diferentes de unidades de energía:

- 2 acumuladores 12 V c/u
- 12 baterías solares 2 V c/u

Los acumuladores, si se utilizan en el diseño del sistema generador de corriente alterna, deben conectarse en serie. Pero, el sistema de banco de baterías más conveniente es el de conectar en serie 12 baterías solares.

La vida útil de la batería depende del número de ciclos y de la profundidad asociada de descarga o de la cantidad de carga extraída de ella.

La carga de una batería solar difiere de la de otros muchos acumuladores inmóviles, ya que generalmente entrega cada día entre el 10 y el 30% de la energía almacenada.

Este tipo de batería solar tiene muy buenas características de operación, es decir, soporta un número grande de ciclos de descarga y carga. El objetivo primordial es el de almacenar y sacar la energía obtenida con un mínimo de pérdidas. Las instalaciones solares frecuentemente operan en áreas o zonas apartadas y de acceso difícil. La instalación de baterías solares es bastante simple y los costos de mantenimiento son

bajos.

Las baterías HOPPECKE OP<sub>2</sub>S Solar están equipadas con conectores enchufables para simplificar ensamblaje y no se requiere herramienta. Los recipientes plásticos transparentes permiten la verificación visual de los elementos.

Los elementos o partes de la batería solar (HOPPECKE OP<sub>2</sub>S) incluyen lo siguiente:

- Recipiente plástico transparente
- Tapa (unión al recipiente y a los casquillos de los polos hermética al gas).
- Bornes de la batería (para conectores de enchufe).
- Tapones de cierre recombinadores AquaGen<sup>R</sup>.
- Placas positivas (placas tubulares)
- Placas negativas
- Separador microporoso
- Grupo de placas positivas
- Grupo de placas negativas
- Prismas en la base del recipiente donde se apoyan los grupos de placas.

Las características de la batería HOPPECKE OP<sub>2</sub>S son:

\*La batería está lista para su uso tan pronto se le añade la solución de ácido. En ese momento tiene por lo menos un 80% de su capacidad. La carga no es necesaria para ponerla en operación.

\*Las placas positivas y tubulares garantizan una larga

vida de servicio; más de 10 años con un 20% de descarga diaria.

\*La reserva electrolítica y el sistema de recombinación AquaGen<sup>R</sup> prolongan los intervalos de mantenimiento de 5 a 10 veces. Esto significa que la batería está virtualmente libre de mantenimiento.

\*El hecho que los recipientes son transparentes hace posible una verificación rápida de las condiciones del elemento.

\*El atornillado simple de las conexiones hace posible a los usuarios que ellos mismos ensamblen los elementos sin ninguna dificultad.

\*Las baterías pueden ser transportadas sin ningún tipo de problemas sobre malas carreteras, en zonas no desarrolladas y desérticas.

La designación "OP<sub>2</sub>S Solar" está especificada en la norma alemana DIN 40736. El electrodo positivo de tales elementos está compuesto de placas tubulares. El material activo de éstas placas está circundado por tubos adyacentes de material resistente al ácido y de gran rigidez mecánica, obteniéndose así el efecto que el material activo no pueda perderse. Los núcleos de plomo en los tubos sirven para la circulación de corriente y para garantizar la estabilidad mecánica.

El material activo de los electrodos negativos está encajado en una rejilla de plomo endurecido.

Las placas positivas están aisladas por separadores microporosos<sup>13</sup>.

Los grupos de placas positivas y negativas descansan sobre prismas en la base del recipiente.

El elemento de construcción arriba indicado asegura un alto grado de confiabilidad de servicio, alta resistencia de ciclaje y estabilidad mecánica.

El estado de una batería o de un elemento es fácilmente verificable, ya que los recipientes de las baterías HOPPECKE OP<sub>2</sub>S Solar están fabricados con plástico transparente y resistente al impacto. Hay un sellado hermético al gas entre el recipiente y la tapa.

Los conectores enchufables están totalmente aislados, como una protección contra choques eléctricos casuales. Así se asegura que no pueda penetrar ácido dentro del área de contacto. Las baterías HOPPECKE OP<sub>2</sub>S Solar pueden ser utilizadas con conectores atornillados.

El tapón de cierre es denominado AquaGen<sup>R</sup> y consiste de un catalizador que recombina el hidrógeno y el oxígeno (gas explosivo) a agua. Estos gases resultan de la descomposición electrolítica del agua durante la carga de la batería, especialmente en la fase de sobrecarga, a partir de un voltaje de elemento de aproximadamente 2.4 volts.

---

<sup>13</sup> Ver figura sobre las baterías HOPPECKE OP<sub>2</sub>S en el apéndice.

El volumen resultante del gas explosivo es proporcional a la corriente. Sin embargo, se requieren diferentes recombinaciones AquaGen<sup>R</sup> para distintas intensidades de corriente de gaseado<sup>14</sup>.

La designación del tipo de los tapones de cierre AquaGen<sup>R</sup> corresponde a la corriente de gaseado de intensidad máxima: 5 A, 10 A y de 15 A. La corriente real de carga no tiene importancia en cuanto a los recombinadores AquaGen<sup>R</sup>.

El agua obtenida de la reacción química es retornada a los elementos de la batería. De esta manera hay una compensación por la pérdida de agua.

Para baterías sometidas a operación cíclica normal, o sea para carga y descarga brusca una vez al día, el sistema AquaGen<sup>R</sup> tiene una eficiencia del 85% al 90%. Esto prolonga los intervalos de mantenimiento de 5 a 10 veces y significa que la batería está virtualmente libre de mantenimiento.

En operación continua, la eficiencia alcanza hasta un 96% dependiendo de la intensidad de corriente de gaseado.

A continuación mostramos el procedimiento para dimensionar baterías HOPPECKE OP<sub>2</sub>S Solar a ser usadas en el sistema generador de corriente alterna; éste consiste básicamente en calcular la capacidad máxima en Ah, que necesitaría para abastecer al sistema durante un período de N días de

---

<sup>14</sup> La corriente de gaseado se mide en amperes. Esta corriente ocurre cuando la batería se carga y produce o libera hidrógeno.

autonomía.

Consumo (Wh) = 1800 Wh/día

Días de autonomía = 5

Voltaje al cual trabaja la batería = 12 volts

Factor de uso<sup>15</sup> (fu) = 0.5

Factor de incremento de la capacidad de la batería<sup>16</sup>  
(Fi)=1.05

Capacidad de batería = Consumo (Wh) \* Días de autonomía / V \* fu \* Fi

Capacidad de batería = 1,800 Wh \* 5 / 12volts \* 0.5 \* 1.05

Capacidad de batería = 1,428.5714 Ah

Luego se le multiplica un factor de corrección de 1.4<sup>17</sup> a  
descarga de 50 horas<sup>18</sup>, lo que da el siguiente resultado:

<sup>15</sup> Fracción de la capacidad total de la batería que se usa cuando se ha tomado la autonomía del diseño del sistema. fu=0.5 para baterías de placa delgada y fu=0.8 para baterías de placa gruesa.

<sup>16</sup> Este factor es respecto de su valor nominal comercial, como resultado de un tiempo de descarga más lento que el especificado comercialmente. Fi= 1.05 para baterías de placa delgada y hasta 1.35 en baterías de placa gruesa tipo tubular.

<sup>17</sup> De la tabla encontrada en el documento se obtuvo:  
Programa CYTED-D. Sistemas solares fotovoltaicos. Diseño de sistemas fotovoltaicos. Normas de montaje y utilización. 49 pp.  
La tabla utilizada corresponde a la página 16 del mismo documento bajo el nombre de Figura 8. Variación de la capacidad de una batería fotovoltaica con el tiempo de descarga. Ver apéndice D.

<sup>18</sup> Este dato se obtuvo al considerar la siguiente ecuación  
**Razón de descarga pico** = Capacidad de batería / (número de módulos \* corriente máxima de cada panel)

Por lo que Razón de descarga pico = 52.91h , por motivos prácticos se considera en el diseño una razón pico de descarga de 50 h. A su vez esto nos indica que el sistema necesita un regulador de 360 a

Nueva capacidad =  $1,428.5714 \text{ Ah} * 1.4 = 2000 \text{ Ah}$  a 10 horas de descarga.

Entonces las baterías a utilizar son las que corresponden a la denominación de 16 OP<sub>2</sub>S Solar 2000.

El dato se obtuvo de observar la Tabla 5 que a continuación se presenta.

Tabla 5.

Descripción de baterías HOPPECKE OP<sub>2</sub>S.

Tipo de Elemento	Capacidades en Ah según el tiempo de descarga indicado					
	10h	24h	48h	72h	100h	120h
3 OP <sub>2</sub> S Solar 150	150	176	198	210	218	223
4 OP <sub>2</sub> S Solar 200	200	235	264	280	290	298
5 OP <sub>2</sub> S Solar 250	250	294	330	350	363	372
6 OP <sub>2</sub> S Solar 300	300	353	396	420	436	446
5 OP <sub>2</sub> S Solar 350	350	420	473	504	525	540
6 OP <sub>2</sub> S Solar 420	420	504	567	605	630	648
7 OP <sub>2</sub> S Solar 490	490	582	662	706	735	756
6 OP <sub>2</sub> S Solar 600	600	713	797	850	900	936
8 OP <sub>2</sub> S Solar 800	800	950	1063	1133	1200	1248
10 OP <sub>2</sub> S Solar 1000	1000	1188	1329	1416	1500	1560
12 OP <sub>2</sub> S Solar 1200	1200	1426	1595	1699	1800	1872
12 OP <sub>2</sub> S Solar 1500	1500	1872	2038	2131	2232	2304
16 OP <sub>2</sub> S Solar 2000	2000	2377	2658	2832	3000	3120
20 OP <sub>2</sub> S Solar 2500	2600	3120	3396	3552	3720	3840
24 OP <sub>2</sub> S Solar 3000	3120	3744	4075	4262	4464	4608

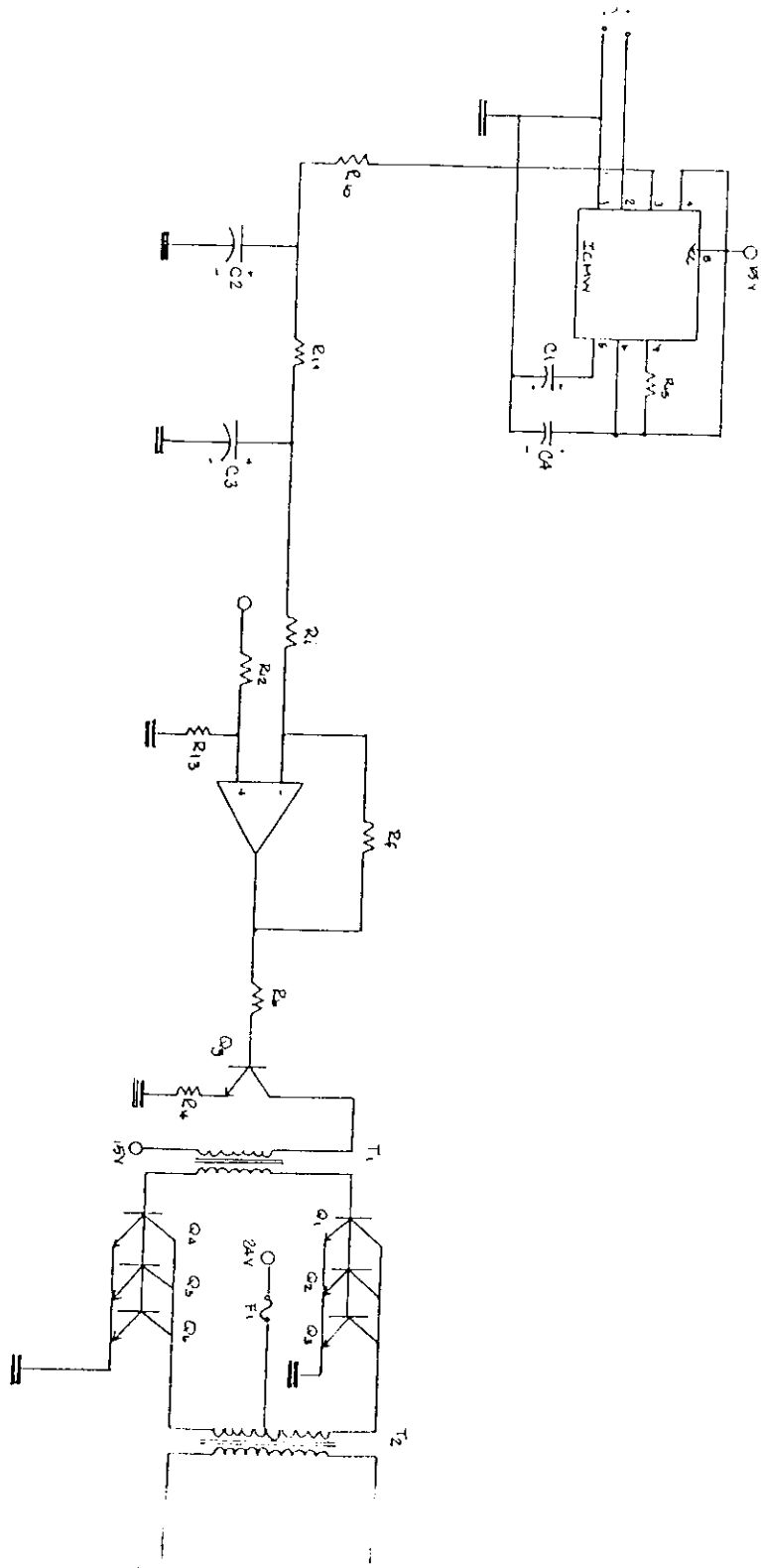
\* Voltaje de descarga final por elemento 2 V.

Número de elementos (baterías) =  $24V / 2V = 12$

Por lo que, si se utilizan baterías solares, se necesitan 12 baterías del tipo 16 OP<sub>2</sub>S Solar 2000 Ah/10 horas de descarga conectados en serie. Si se utilizan acumuladores, se

necesitan dos conectados en serie de 2000 Ah/10 horas de descarga.

Diagrama 4.  
Circuito eléctrico



## VIII. ESTRUCTURA FISICA DEL SISTEMA GCA-I

### A. Mecánica:

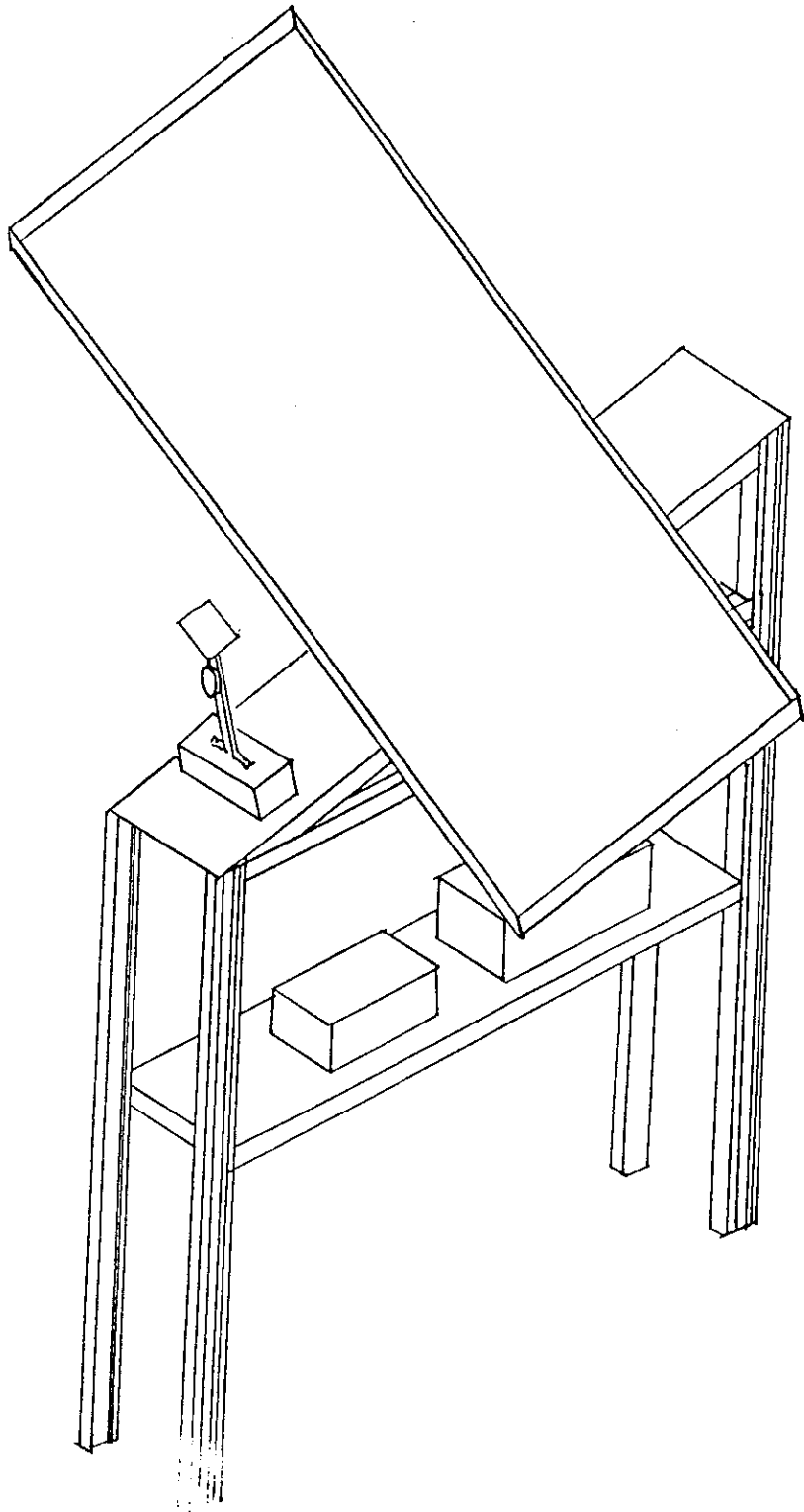
Para el análisis de la estructura física o de soporte del sistema GCA-I, nos basamos en manuales de estructura de materiales de Ingeniería Civil<sup>19</sup>. Para que los costos de la estructura sean mínimos, se utilizará perfiles tipo I (perfiles de 13 lb/pie (4") cada uno). Se necesitan cuatro perfiles, los cuales sostendrán el peso de los sistemas sensor y direccionador. Las paredes (de largo 2.00 m; ancho de 0.40 m y altura de 2.00 m ) son cubiertas por material aislante al calor. Posee dos ventanas pequeñas de 0.09 m<sup>2</sup> y con rejillas. Las ventanas tienen 0.3 m de largo y 0.3 m de alto, las cuales pueden abrirse (cubiertas de tela metálica para evitar que ingresen insectos o aves al cuarto) si el clima no es muy tempestuoso. Dentro del cuarto se encuentra la superficie de soporte de concreto a una altura de 1 m, para que, en caso de que una tormenta ocasione una inundación en el terreno, se pueda proteger el equipo que consiste en el sistema generador de corriente alterna y el banco de baterías (acumuladores). Para acceder al equipo dentro del cuarto, se utiliza una puerta de rejías.

---

<sup>19</sup> El manual fue de Mecánica de Materiales para Ingeniería Civil del autor Egor P. Popov (TA/405/P6819), obtenido de la Biblioteca de la Universidad del Valle. Además se hicieron consultas para este apartado con el director del departamento de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Valle de Guatemala (Ing. Matzdorf).

Diagrama 5.

Estructura física del sistema GCA-I



## IX. PROGRAMACION DEL SISTEMA GCA-I

### A. Programa GCA-I

Se ha indicado durante este trabajo de elaboración del sistema GCA-I, que se necesita una parte de programación para hacer que el sistema trabaje en forma autónoma y que no necesite del usuario para iniciar o finalizar el trabajo del día. Por ello, se procedió a elaborar una serie de subrutinas que conforman el programa principal GCA-I (versión 1.0):

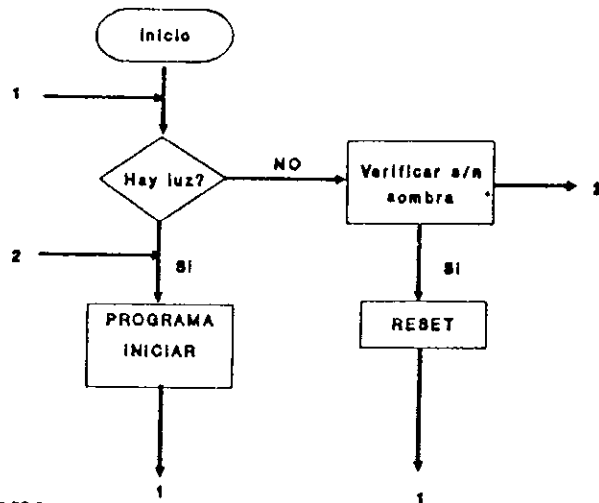
- Programa principal
- Programa iniciar
- Programa sensor
- Programa direccionador

#### Programa principal:

Incluye subrutinas que se encargan de dar inicio al sistema sensor, verifica si hay o no luz solar, para poder especificarle al sistema sensor si puede o no iniciar el proceso de la búsqueda del punto (posición) de mayor caída de tensión. Si se verifica que efectivamente no hay luz por que ya es de noche, entonces el sistema retorna a la posición inicial hasta que haya presencia de nueva señal de luz (reset); i.e. que los motores se mueven de tal forma que dejen a los paneles solares en posición totalmente horizontal  $180^\circ$  y no se pasa corriente a los motores.

El sistema de sensamiento permanece conectado para el momento en que haya luz solar y de nuevo dé inicio al proceso.

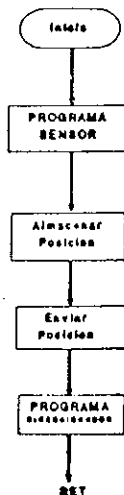
PROGRAMA PRINCIPAL



Programa iniciar:

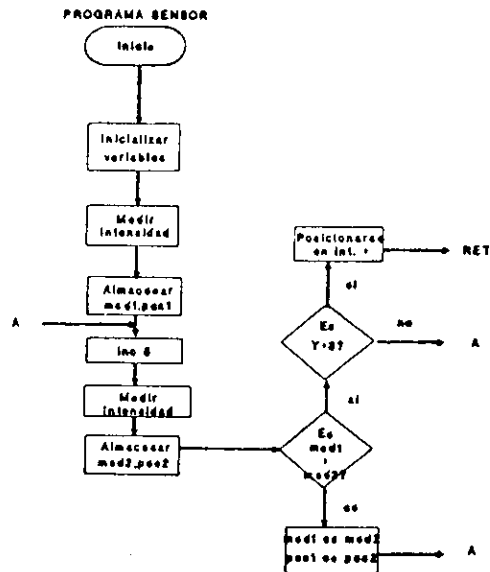
Se encarga de activar el programa sensor (el cual mide el punto de mayor actividad e intensidad solar), almacena la posición que considera es el mejor punto de intensidad solar y luego es enviada (la posición) como palabra al programa direccionador para mover al motor2 (5°/step) a la posición.

PROGRAMA INICIAR



### Programa sensor:

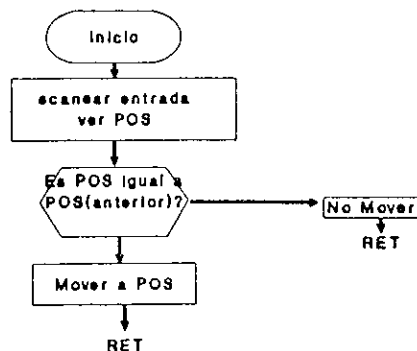
Se utiliza para encontrar el punto de mayor intensidad solar y luego posiciona al motor 1 ( $1.8^\circ/\text{step}$ ) en el lugar correcto.



### Programa direccionador:

Se encarga de posicionar al motor 2 ( $5^\circ/\text{step}$ ) en el punto de mayor intensidad solar.

Programa Direccionador





## X. MANUAL DEL USUARIO DEL SISTEMA GCA-I

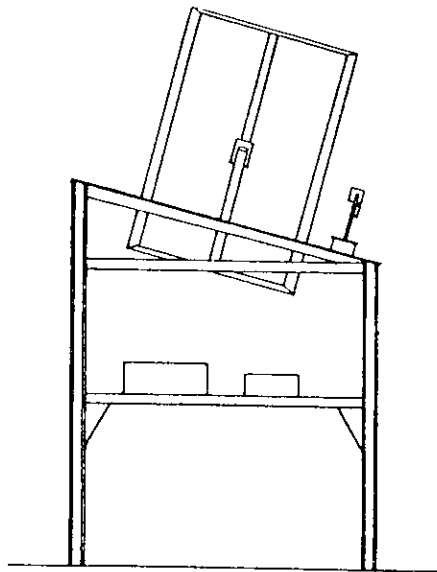
### A. Descripción del sistema GCA-I

El GCA-I es un sistema seguidor del Sol, el cual se posiciona en el punto de mayor intensidad solar, para generar la electricidad en forma constante y eficaz.

El sistema GCA-I está montado en una estructura metálica (no-corrosiva), que sostiene todo el equipo y está a una altura de dos metros para evitar que personas no autorizadas hagan mal uso de él.

Diagrama 6.

sistema GCA-I



Lo conforman tres partes que son:

Sistema sensor: aquí ocurre el sensamiento de la intensidad solar, para que el sistema GCA-I gire a la posición apropiada. Dispone de una celda solar sensora ARCO SOLAR (0.9 amps), motor stepper (1.8°/step) y la tarjeta (unidad) de control con el programa sensor grabado en la memoria (EPROM 2732).

Sistema controlado: En esta parte se lleva a cabo el direccionamiento del motor 2, 5°/step. Este sistema incluye la celda solar ARCO M55 (8 módulos tipo M55 de 24 voltios de salida). El sistema posiciona al motor 2 en el lugar establecido por el sistema sensor.

Sistema generador de corriente alterna: incluye el inversor, el acoplamiento de los transformadores y los acumuladores para una salida de 120 V (360 W). Los cuales corresponden a 2 acumuladores de 2000 Ah con 10 horas de descarga.

Tabla 6.

## Listado de partes del sistema GCA-I

Simbolo	Nombre	Descripción	Valor o Tipo
1C1A	CI	MK3880N-4 Z-80	MP 8BITS
1C1M	CI	AM2732DC EPROM	4K X 8BITS
IC2M-3M	CI	MK6116N-20 RAM	2K X 8BITS
ICID-2D	CI	HD74LS138P	DECODER 3-8
IC3D	CI	74LS154N	DECODER 4-16
ICIF-2F	CI	NTE74LS74	FLIPFLOP TIPO D
XL1	CRISTAL	NCT040C	2 MHZ
IC1N-2N	CI	NTE74LS08	HEX INVERSORES
ICOR	CI	NTE	COMPUERTA OR
IC1P	CI	1NS8255N	CONTROLADOR PUERTOS
IC2P	CI	ADC0808	ANALOG-DIGITAL 8BITS
R <sub>11</sub> -R <sub>24</sub>	RESISTENCIA	R3.3K	3.3KΩ ± 5% ½ WATT
Q <sub>1</sub> -Q <sub>8</sub>	TRANSISTOR	NTE922	GEN P. PW. AMP.
OPAMP	CI	NTE	AMPLIFICADOR OP.
R	RESISTENCIA	R	1KΩ ± 5% ½ WATT
Ri	RESISTENCIA	R	1KΩ ± 5% ½ WATT
Rb	RESISTENCIA	R	1KΩ ± 5% ½ WATT

Tabla 7.  
Listado de partes del sistema GCA-I

Simbolo	Nombre	Descripción	Valor o Tipo
ICMW	CI	CI555C	TIMER/OSCILATOR
R <sub>10</sub> -R <sub>11</sub>	RESISTENCIA	R3.33M	3.33MΩ ± 5% ½ WATT
R <sub>i</sub>	RESISTENCIA	R	10 KΩ ± 5% ½ WATT
R <sub>f</sub>	RESISTENCIA	R	1 MΩ ± 5% ½ WATT
R <sub>b1</sub>	RESISTENCIA	R	1 KΩ ± 5% ½ WATT
R <sub>12</sub> -R <sub>13</sub>	RESISTENCIA	R1K	1.KΩ ± 5% ½ WATT
R <sub>14</sub>	RESISTENCIA	R	1.KΩ ± 5% ½ WATT
R <sub>15</sub>	RESISTENCIA	R1.78	1.78Ω ± 5% 1 WATT
Q <sub>9</sub>	TRANSISTOR	2N2222	GENERAL PURPOSE
Q <sub>1</sub> -Q <sub>4</sub>	TRANSISTOR	ECG388	POWER TRANSISTOR
F <sub>1</sub>	FUSIBLE	30Amp	FUSE 30 Amperes
TRAF01	TRANSFORMADOR		120/48 Volts a-c
TRAF02	TRANSFORMADOR		48/120 Volts a-c
A1-A2	ACUMULADOR	KOBE	12 Volts d-c 7 Amp.
C1-C4	CAPACITOR	Papel	0.1microfarads
1C1R	REGULADOR/VOLTAJE	LM7815	15 Volts d-c
B1-B9	BATERIA SOLAR	HOPPECKE	2 Volts d-c
CS1	CELDA SOLAR	ARCO	0.5 Volts d-c
CS2-CS14	CELDA SOLAR	ARCO	M55

#### B. Aplicación del sistema GCA-I.

La aplicación inmediata es la de generar electricidad para alumbrado con 9 tubos fluorescentes a 40 W c/u, con una salida nominal de 360 W a 120 V.

Desde el momento que no requiere de combustible, ni de repuestos, el sistema GCA-I es más confiable, económico y duradero, que otros tipos de sistema de generación.

El sistema GCA-I se puede instalar en cualquier lugar y no contamina el medio ambiente.

### C. Servicio y Mantenimiento

El sistema GCA-I es de fácil instalación y con bajo grado de mantenimiento, puede trabajar por varios años sin tener problemas de deterioro, ya que está construido de material no corrosivo y los dispositivos electrónicos están dispuestos en forma tal que no se dañan por el efecto del medio ambiente.

El usuario debe preocuparse por revisar que no caigan objetos que interfieran con su funcionamiento, es decir, debe protegerlo del medio externo, como son las piedras, golpes, aves y personas mal intencionadas.

El sistema GCA-I necesita que se le instale en el EPROM 2732A el programa GCA-I (versión 1.0), para que el usuario no tenga que utilizar alguna conexión exterior (switch) para que inicie el programa. Además se le provee al usuario de un backup del programa (en diskette 5 1/4") para que pueda volver a grabar en el EPROM 2732A (con el quemador), si fuera necesario.

Se sugiere quitar, cada seis meses, el polvo que pueda almacenarse en las partes expuestas al medio ambiente. Quitar, cada tres meses, el polvo de la tarjeta de control, con una brocha de cerdas muy suaves y con movimientos ligeros por 2 minutos. Revisar el agua de los acumuladores cada semana y la carga de las baterías solares cada mes.

D. Costos de producción del sistema GCA-I

A continuación presentamos los gastos desglosados que conforman un total en dólares (1\$= Q5.00):

Parte Sistema	Costo en dólares (\$)
<b>Sistema sensor</b>	
estructura	55.00
celda solar	40.00
motor1(1.8°/step)	40.00
unidad de control	150.00
2 acumuladores	160.00
9 baterías solares	30.00
<b>Sistema controlado</b>	
8 paneles solares	5600.00
estructura	200.00
motor2(5°/step)	200.00
<b>Sistema generador de corriente alterna</b>	
sistema	110.00
<b>Total</b>	<b>\$ 6585.00</b>

Lo que nos muestra un total de Q32,925.00 a la tasa de cambio señalada, lo que incluye todo el sistema GCA-I y el programa GCA-I (versión 1.0).

Un dato interesante es que el costo, excluyendo los 8 paneles solares ARCO M55, es de \$935.00 (Q4,675.00), por lo que notamos que si el precio de los paneles sigue en su proceso de disminuir, el sistema GCA-I y otros de su tipo serían considerablemente fáciles de ser adquiridos por cualquier persona: como si se estuviera adquiriendo hoy en día una computadora AT-386 ZEOS (\$1200.00).



## XI. RECOMENDACIONES

A. Crear en todo nivel educativo, tanto en la ciudad de Guatemala como en el interior de la República, una mentalidad proclive a dar respuestas a problemas energéticos, ya que actualmente lo más importante es poder colaborar y dar respuestas, que continuar planteando los problemas.

B. Motivar a los estudiantes universitarios de ingeniería electrónica a estructurar y diseñar sistemas de índole práctica, cuyas partes puedan adquirirse y a su vez elaborarse (en un 90% si fuera posible) en Guatemala.

C. La universidad del Valle de Guatemala debería incluir en el pensum de ingeniería electrónica cursos sobre Alternativas Energéticas con sus respectivos laboratorios de diseño y prácticas.

D. Consideramos esencial incluir en dicho pensum, a su vez, la manera de elaborar manuales operativos de diseño de sistemas electrónicos, para que el usuario común y corriente pueda entender su uso y el control de los mismos.

E. Dar un seguimiento a sistemas GCA.



## XII. CONCLUSIONES

1. El Sistema GCA-I requiere de 8 paneles solares tipo M55 ARCO SOLAR para obtener una salida de 360 W a 120 Vac y así poder accionar por un período de 5 horas diarias a 9 tubos fluorescentes, con un banco de 2 acumuladores de 12 V c/u y de 2,000 Ah/10 h de descarga. El costo por kW/h del sistema GCA-I es de \$0.50 (en un tiempo de uso de 20 años), comparado con los Q0.40 que cuesta con la Empresa Eléctrica. La eficiencia del sistema es del 10%.

2. Para dimensionar un sistema generador de corriente alterna, utilizando celdas solares, debemos conocer el recurso solar en la localidad (horas pico promedio), la demanda requerida, evaluar pérdidas, calcular la carga total por el sistema a las baterías, especificar el tipo de módulo(s) solar(es) a utilizar, diseñar el inversor a utilizar y banco de baterías considerando días de autonomía.

3. En Guatemala podemos desarrollar varias versiones del sistema GCA de requerimientos o características individuales, ya sea para uso industrial y/o doméstico.

4. Guatemala posee recursos suficientes para la elaboración de unidad de control, transformadores e inversores necesarios para la construcción del sistema GCA, por lo que éste es una

alternativa energética actual y una respuesta conveniente al país para proveer de electricidad a lugares remotos.

5. Convendría formar asociaciones sobre cómo ayudar a personas del interior de la República a conocer mejor los sistemas con accesorios solares, para que los posibles sistemas que sean instalados puedan ser de utilidad y reciban los cuidados necesarios para una mayor vida útil.

### XIII. BIBLIOGRAFIA

- Alonso, Marcelo, Onofre Rojo. Física, Mecánica y  
1980 Termodinámica. México. Fondo Educativo Int. 454 pp.
- Boylestad, Robert. Electrónica. Teoría de Circuitos. México  
1982 Prentice-Hall Hispanoamericana, S.A. 784 pp.
- Coughlin F. Circuitos integrados lineales y amplificadores  
1989 operacionales. México. Prentice Hall. 394 pp.
- Díaz, Jorge. Resistencia de Materiales. México. Editorial  
1987 Limusa, S.A. 580 pp.
- Freeman, David. Energía: La nueva Era. México.  
1976 Ediciones tres tiempos. 318 pp.
- Halliday, David y Robert Resnick. Fundamentos de Física.  
1981 México. Compañía Editorial Continental, S.A. 950 pp.
- Koenigsberger, Rodolfo. Instalaciones Eléctricas 2. Guatemala  
1988 111 pp.

130

Maigne, Yves. Utilisation et Application de L'Energie Solaire  
1990 Photovoltaique. Francia. Photowatt International  
S.A. 300 pp.

Millman J. Microelectronics. New York. 2a. edición McGraw-  
1988 Hill. 1001 pp.

National. ECG. U.S.A. National Semiconductors Inc.  
1990 200 pp.

PSNS Project Staff. Introducción a las ciencias Físicas.  
1971 España. Editorial Reverté, S.A. 480 pp.

Solarex. The Solarex guide to Solar Electricity. Washington.  
1983 Solarex Corporation.Tab Books Inc. 188 pp.

# APENDICE



## CONTENIDO

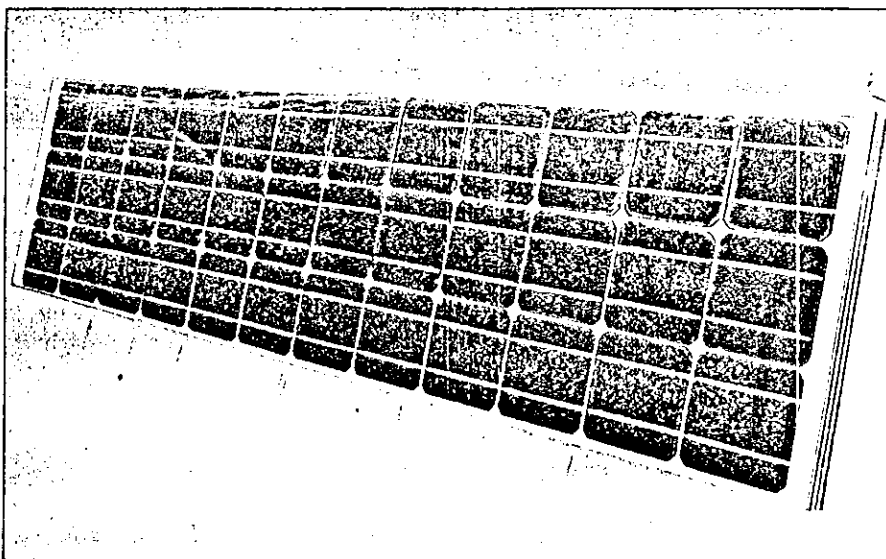
- Apendice A. Especificaciones de celda solar M55
- Apendice B. Fotografías de sistema sensor y transformador 360 W/120 V
- Apendice C. Programa en lenguaje Assembler Z80 para el GCA-I, Versión 1.0
- Apendice D. Tabla de variación de la capacidad de una batería fotovoltaica con el tiempo de descarga. Programa CYTED-D.
- Apendice E. Gráficas meteorológicas de siete departamentos de Guatemala.

## LARGE SOLAR ELECTRIC MODULES

### **M55** **High Efficiency** **Solar Electric** **Module**


The M55 has 36 cells in series and is well suited for most solar electric applications, including battery charging in the very hottest climates and direct connection to DC motors.

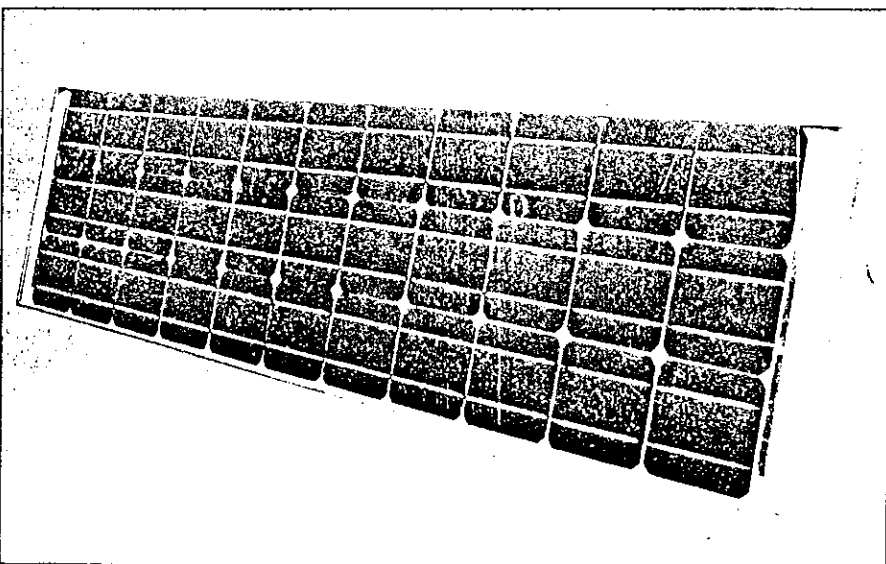
53 Watts\*  **10 Yr.** Limited Warranty\*  
on Power Output



### **M75** **High Efficiency** **Solar Electric** **Module**

The M75, with 33 cells in series, represents the optimum module configuration for battery charging in all but the hottest climates where the extra voltage of the M55 may be needed. The M75 can also be used for direct connection in many DC motor applications.

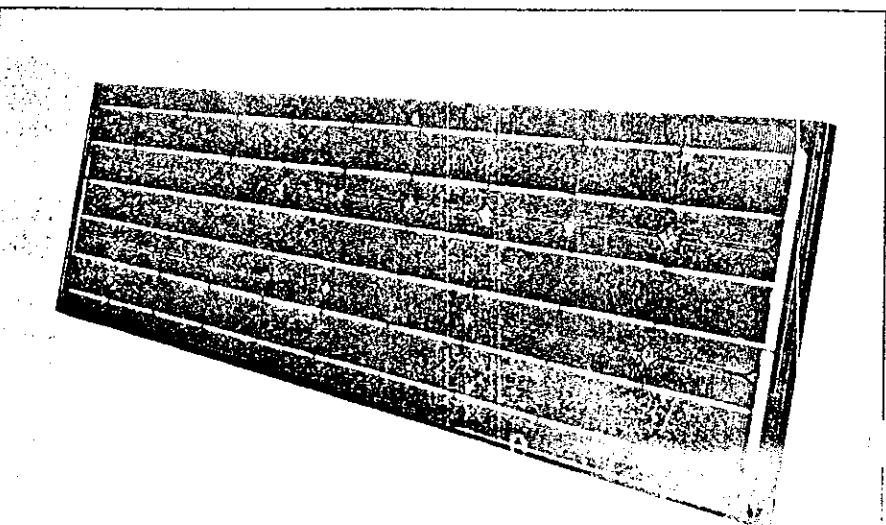
48 Watts\*  **10 Yr.** Limited Warranty\*  
on Power Output



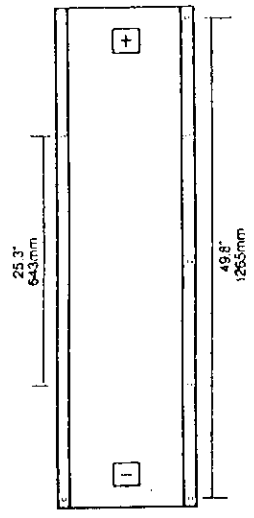
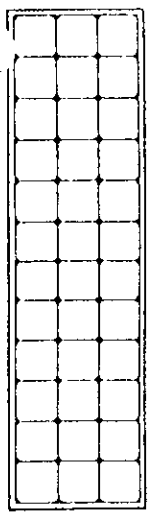
### **M65** **Self-Regulating** **High Efficiency** **Solar Electric** **Module**

The M65 is a self-regulating module with 30 cells in series and is designed for direct battery connection. It is intended to meet the needs of those who require reliable electrical power for many applications, particularly lighting, appliances and other equipment in mobile homes, recreational vehicles and boats.

43 Watts\*  **10 Yr.** Limited Warranty\*  
on Power Output



# LARGE SOLAR ELECTRIC MODULES



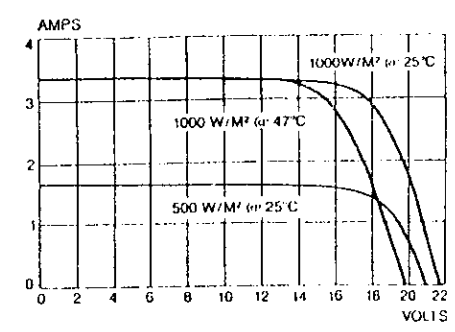
**Power Specifications\***

Model	M55
Rated Power	53 Watts
Current (typical at load)	3.05 Amps
Voltage (typical at load)	17.4 Volts
Short Circuit Current (typical)	3.4 Amps
Open Circuit Voltage (typical)	21.7 Volts

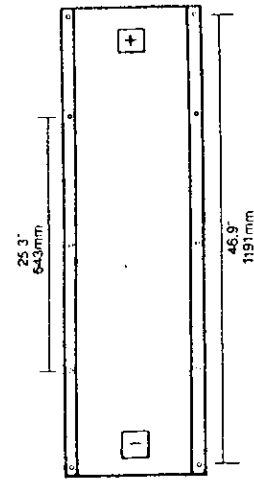
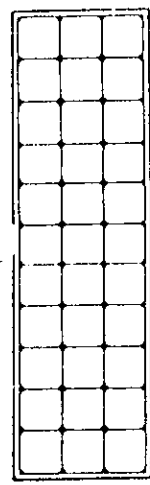
**Physical Characteristics**

Length	50.9 in/1293 mm
Width	13 in/330 mm
Depth	1.4 in/36 mm
Weight	12.6 lb/5.7 kg

## Performance Characteristics



The IV curve (current vs. voltage) above demonstrates typical power response to various light levels at 25°C and 47°C cell temperature.



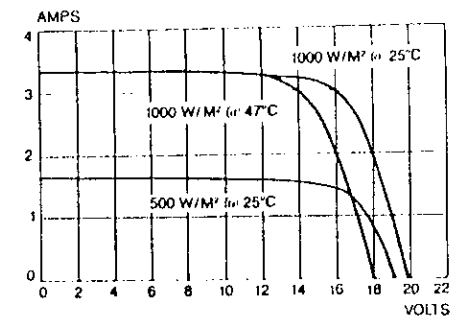
**Power Specifications\***

Model	M75
Rated Power	48 Watts
Current (typical at load)	3.02 Amps
Voltage (typical at load)	15.9 Volts
Short Circuit Current (typical)	3.4 Amps
Open Circuit Voltage (typical)	19.8 Volts

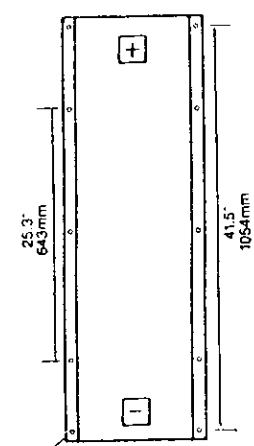
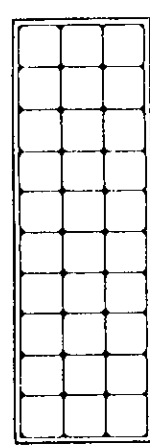
**Physical Characteristics**

Length	48 in/1219 mm
Width	13 in/330 mm
Depth	1.4 in/36 mm
Weight	11.6 lb/5.2 kg

## Performance Characteristics



The IV curve (current vs. voltage) above demonstrates typical power response to various light levels at 25°C and 47°C cell temperature.



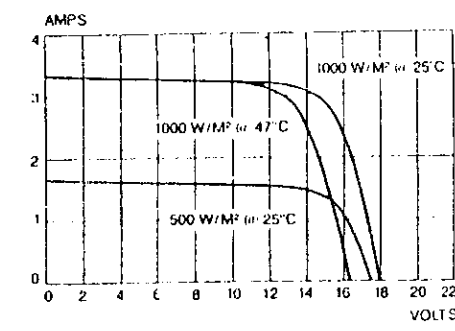
**Power Specifications\***

Model	M65
Rated Power	43 Watts
Current (typical at load)	2.95 Amps
Voltage (typical at load)	14.6 Volts
Short Circuit Current (typical)	3.3 Amps
Open Circuit Voltage (typical)	18.0 Volts

**Physical Characteristics**

Length	42.6 in/1083 mm
Width	13 in/330 mm
Depth	1.4 in/36 mm
Weight	10.5 lb/4.8 kg

## Performance Characteristics

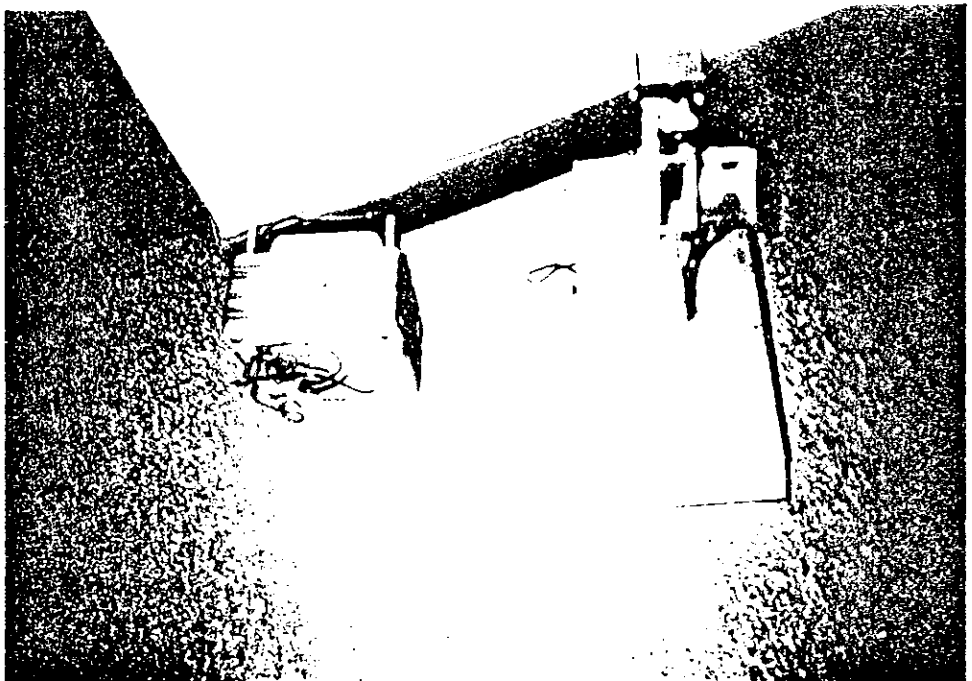
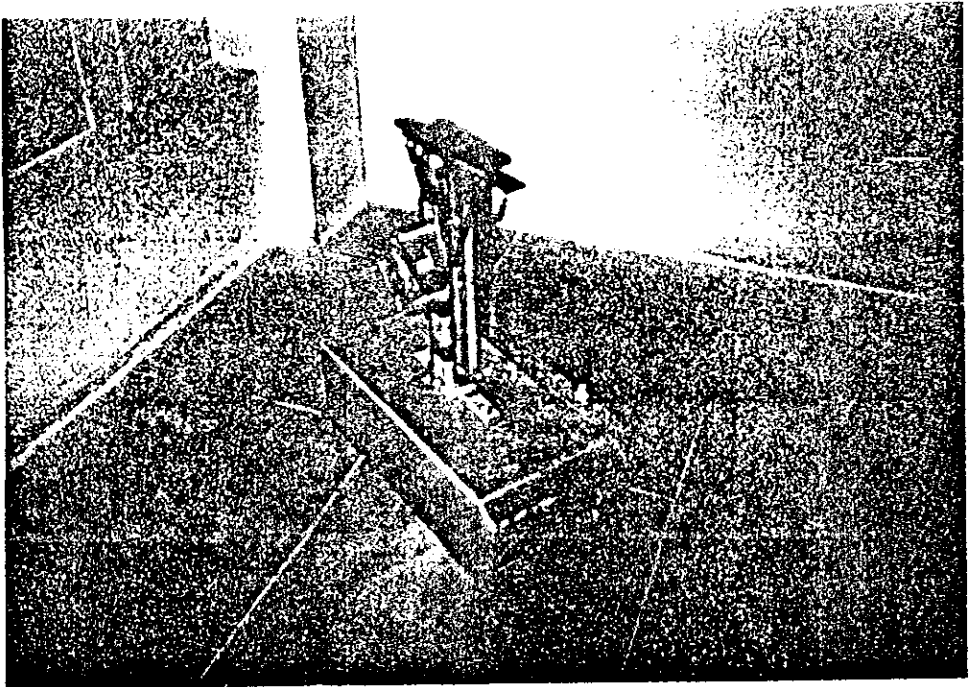


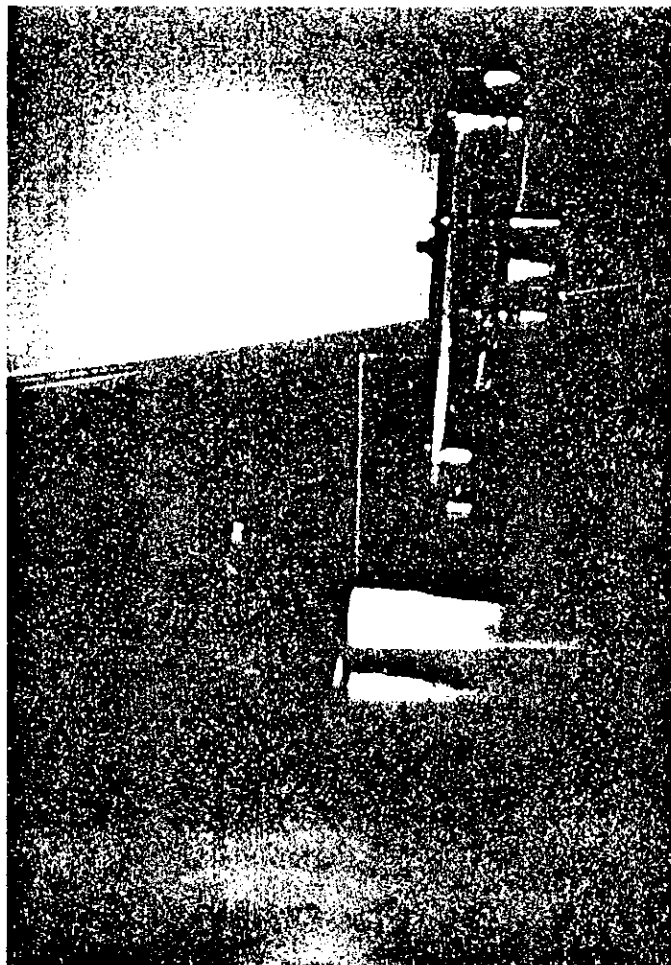
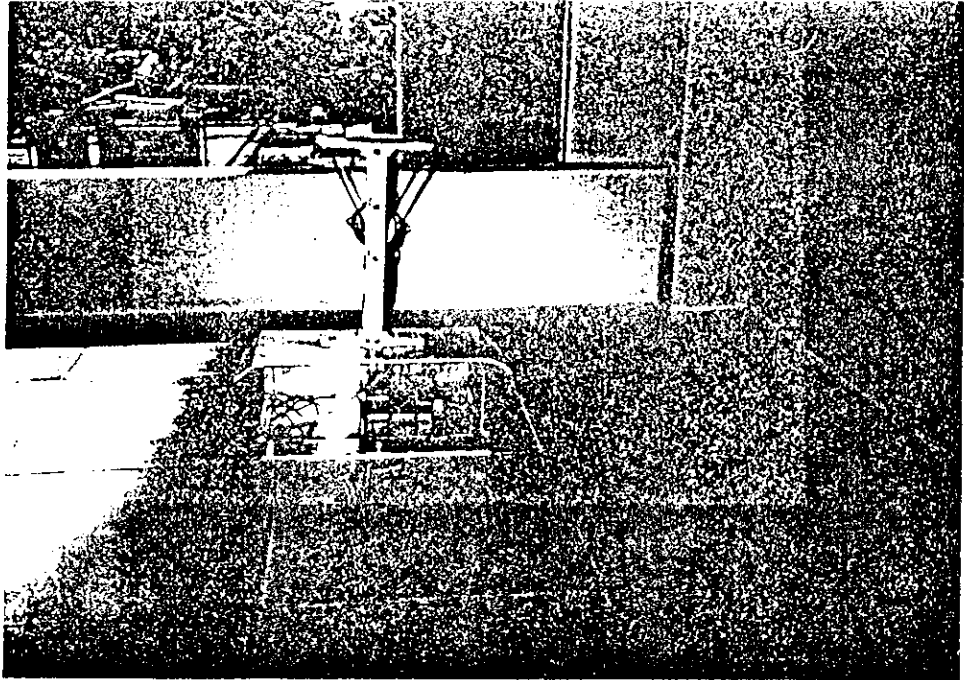
The IV curve (current vs. voltage) above demonstrates typical power response to various light levels at 25°C and 47°C cell temperature.

\*Power specifications are at standard test conditions of: 1000 W/M² solar irradiance, 25°C cell temperature and solar spectral irradiance per ASTM E892

\* These charts are for estimating purposes only. Specifications are subject to change without notice. Complete warranty and installation information is included in module package or is available from ARCO Solar or your dealer prior to purchase.

Apéndice B.





Apéndice C.

DIRECCION	INSTRUCCION	NEMONICO
7000	LDA,80H	3E80
7002	OUT(C3),A	D333
7004	inicio:CALL SCANEO	CD0073
7007	AND 00	E600
7009	JP Z VERIFICAR	CA0072
700C	JPNZ inicio	C30470

7100	DEC_5°:LDB,01H	0601
7102	LDA,94H	3E94
7104	OUT(C1),A	DEC1
7106	LDA,64H	3E64
7108	OUT(C1),A	D3C1
710A	LDA,A4H	3EA4
710C	OUT(C1),A	D3C1
710E	LDA,94H	3E94
7110	OUT(C1),A	D3C1
7112	LDA,54H	3E54
7114	OUT(C1),A	D3C2
7116	INC B	04
7117	LDA,B	78
7118	CP03H	FE03
71A0	JPNZ,DEC_5°	C20071
71A3	JPZ,71A4	CAA471
71A4	RET	C9

71B0	DEC10°:LDB,01	0601
7B12	LDA,94H	3E94
71B4	OUT(C1),A	D3C1
71B6	LDA,64H	3E64
71B8	OUT(C1),A	D3C1
71BA	LDA,A4H	3EA4
71BC	OUT(C1),A	D3C1
71BE	LDA,94H	3E94
71C0	OUT(C1),A	D3C1
71C2	LDA,54H	3E54
71C4	OUT(C1),A	D3C1
71C6	INC B	04
71C7	LDA,B	78
71C8	CP06H	FE06
71CA	JPNZ,DEC_10°	C2B071
71CD	JPZ,71D0	CAD071
71D0	RET	C9

71E0	QUED_ALLI:LDC,00H	0E00
71E2	alli:LDB,F0	06F0
71E4	DEC B	05
71E5	LDA,B	78
71E6	CP00H	FE00
71E8	JPNZ,alli	C2E271
71EB	JPZ,here	CAEE71
71EF	here:INC C	0C

DIRECCION	INSTRUCCION	NEMONICO
71EF	LDA, C	79
71F0	CPOAH	FE0A
71F2	LDC, A	4F
71F3	JPZ, alto	CAF971
71F6	JPNZ, QUED _ALLI	C2E071
71F9	alto:LDC, 00H	0E00
71FB	LDA, 00H	3E00
71FD	LDB, 00H	0600
71FF	RET	C9

7200	VERIFICAR:LDD, 00	1600
7202	INA, (C0)	DBC0
7204	CPD	BA
7206	JPNZ SENSOR	G20075
7209	INCD	14
720A	LDA, D	7A
720B	CP03H	FE03
720D	JPZ RESET	CA1074
7210	JPNZ VERIFICAR	C20072
7214	RET	C9

7300	SCANEO: LDE, 00H	1E00
7302	LDH, 00H	2600
7304	LDA, 00H	3E00
7306	LD(7FA0), A	32A07F
7309	LD(7FB0), A	32B07F
730C	INA, (C0)	DBC0
730E	CP00H	FE00
7310	JPZ inicio	CA0470
7313	CALL SENSOR	CD0075
7316	RET	C9

7410	RESET:INA, (C0)	DBC0
7412	BIT0, A	CB47
7414	CP01H	FE01
7416	JPZ, resetear	CA1974
7419	resetear:LDA, 00	3E00
741B	OUT(C2), A	D3C2
741D	JPNZ, inicio	CD0470
7420	RET	C9

7500	SENSOR:LDDE, 7FA0	11A07F
7503	sensito:INA, (C0)	DBC0
7505	LD(DE), A	12
7506	INC DE	13
7507	LDHL, 7FB0	21B07F
750A	LDA, 01H	3E01
7511	LD(HL), A	77
7512	INC HL	34
7513	INC A	3C

DIRECCION	INSTRUCCION	NEMONICO
7514	CP03	FE03
7516	JPZ,COMP_INT	CA0077
7519	JPNZ,MOV_5°	C20076
751C	RET	C9

7600	MOV_5°:LDB,01H	0601
7602	LDA,49H	3E49
7604	OUT(C1),A	D3C1
7606	LDA,45H	3E45
7608	OUT(C1),A	D3C1
760A	LDA,49H	3E49
760C	OUT(C1),A	D3C1
760E	LDA,4AH	3E4A
7610	OUT(C1),A	D3C1
7612	LDA,46H	3E46
7614	OUT(C1),A	D3C2
7616	INC B	04
7617	LDA,B	78
7618	CP03H	FE03
7620	JPNZ,MOV_5°	C20076
7623	JPZ,sensito	CA0375
7626	RET	C9

7700	COMP_INT:LDA,(7FA0)	3AA07F
7703	LDB,A	47
7704	LDA,(7FA1)	3AA17F
7707	LDC,A	4F
7708	SBCA,B	98
7709	JPP,SIGUE	F2A077
770C	JPM,CONTINUA	FAB177
770F	JPZ,sensito	CA0375
7712	RET	C9

77A0	SIGUE:LDA,0	3E00
77A2	LDA,(7FA2)	3AA27F
77A5	SBCA,C	99
77A6	JPP,CONTINUE	F2C277
77A9	JPM,FOLLOW	FAD077
77AC	JPZ,sensito	CA0375
77AF	RET	C9

77B1	CONTINUA:LDA,00H	3E00
77B3	LDA,(7FA2)	3AA27F
77B6	SBCA,B	98
77B7	JPP,KEEP_ON	F2EC77
77BA	JPM,CARR_ON	FAEA77
77BD	JPZ,sensito	CA0375
77C0	RET	C9

DIRECCION	INSTRUCCION	NEMONICO
77C2	CONTINUE:LDA, (7FA2)	3AA27F
77C5	CALL QUED_ALLI	CDE071
77C8	CALL DIRE_3o.	CD007A
77CB	JP 751C	C31C75
77D0	FOLLOW:LDA, (7FA1)	3AA17F
77D3	CALL DEC 5°	CD0071
77D6	CALL QUED_ALLI	CDE071
77D9	CALL DIRE_2o.	CD007B
77DC	JP 751C	C31C75
77E0	KEEP_ON:LDA, (7FA2)	3AA27F
77E3	CALL QUED_ALLI	CDE071
77E6	CALL DIRE_3o.	CD007A
77E9	JP 751C	C31C75
77EA	CARR_ON:LDA, (7FA0)	3AA27F
77ED	CALL DEC 10°	CDB071
77F0	CALL QUED_ALLI	CDE071
77F3	CALL DIRE_1o.	CD007C
77F3	JP 751C	C31C75
7A00	DIRE_3o.:LDB, 01H	0601
7A02	LDA, 09H	3E09
7A04	OUT(C1), A	D3C1
7A06	LDA, 05H	3E05
7A08	OUT(C1), A	D3C1
7A0A	LDA, 09H	3E09
7A0C	OUT(C1), A	D3C1
7A0E	LDA, 0AH	3E0A
7A10	OUT(C1), A	D3C1
7A12	LDA, 06H	3E06
7A14	OUT(C1), A	D3C1
7A16	INC B	04
7A17	LDA, B	78
7A18	CP09H	FE09
7A1A	JPNZ, DIRE_3o.	C2007A
7A1D	JP Z, 7A20	CA207A
7A20	RET	C9
7B00	DIRE_2o.:LDB, 01H	0601
7B02	LDA, 09H	3E09
7B04	OUT(C1), A	D3C1
7B06	LDA, 05H	3E05
7B08	OUT(C1), A	D3C1
7B0A	LDA, 09H	3E09
7B0C	OUT(C1), A	D3C1
7B0E	LDA, 0AH	3E0A
7B10	OUT(C1), A	D3C1
7B12	LDA, 06H	3E06
7B14	OUT(C1), A	D3C1
7B16	INC B	04
7B17	LDA, B	78

DIRECCION	INSTRUCCION	NEMONICO
7B18	CP06H	FE06
7B1A	JPNZ,DIRE_2o.	C2007B
7B1D	JP Z,7B20	CA207B
7B20	RET	C9

7C00	DIRE_1o.:LDB,01H	0601
7C02	LDA,09H	3E09
7C04	OUT(C1),A	D3C1
7C06	LDA,05H	3E05
7C08	OUT(C1),A	D3C1
7C0A	LDA,09H	3E09
7C0C	OUT(C1),A	D3C1
7C0E	LDA,0AH	3E0A
7C10	OUT(C1),A	D3C1
7C12	LDA,06H	3E06
7C14	OUT(C1),A	D3C1
7C16	INC B	04
7C17	LDA,B	78
7C18	CP03H	FE03
7C1A	JPNZ,DIRE_1o.	C2007C
7C1D	JP Z,7C20	CA207C
7C20	RET	C9

## GRAFICAS CLIMATOLOGICAS

I. CHIMALTENANGO

II. ESCUINTLA

III. BAJA VERAPAZ

IV. ALTA VERAPAZ

V. QUEZALTENANGO

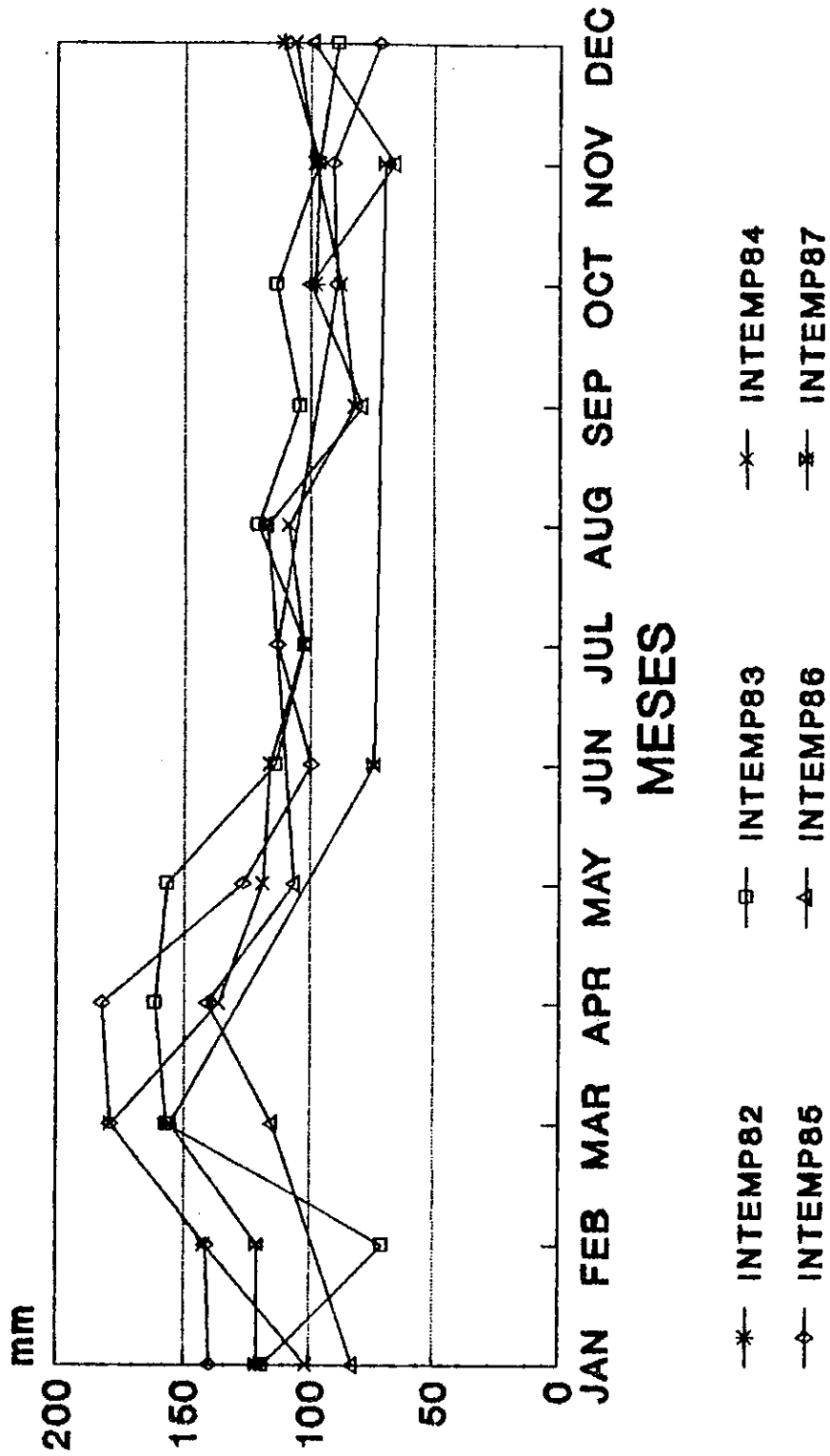
VI. ZACAPA

VII. GUATEMALA

## CHIMALTENANGO

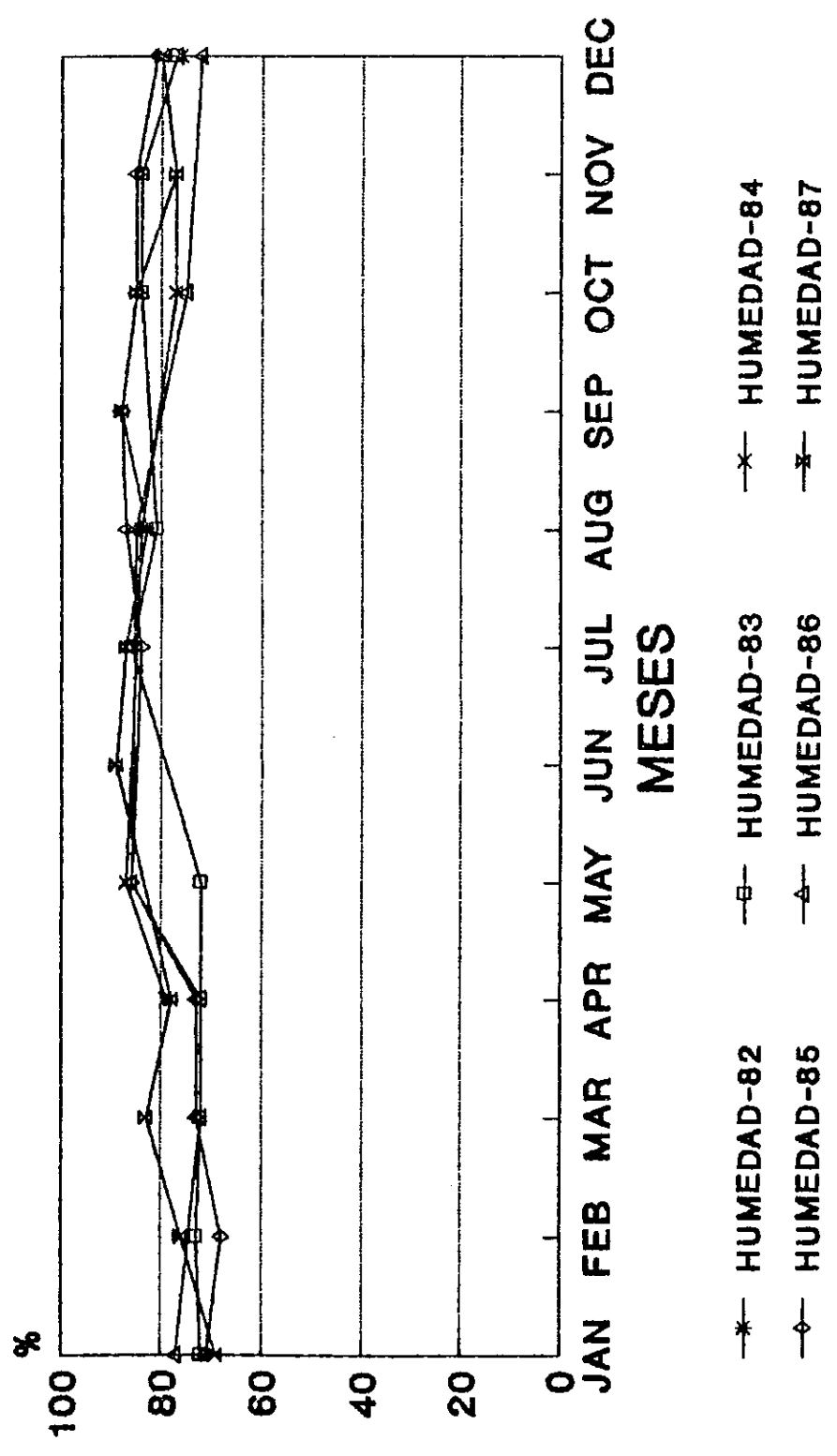
EVAPORACION A LA INTEMPERIE	1
HUMEDAD RELATIVA MEDIA:PROMEDIO	2
PRECIPITACION TOTAL	3
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA	5
TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA	7
TEMPERATURA MEDIA:PROMEDIO	9
DIAS DE PRECIPITACION	11

EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:CHIMALTENANGO MUN.:CHIMALTENANGO  
 ELEVACION:1766.00 msnm



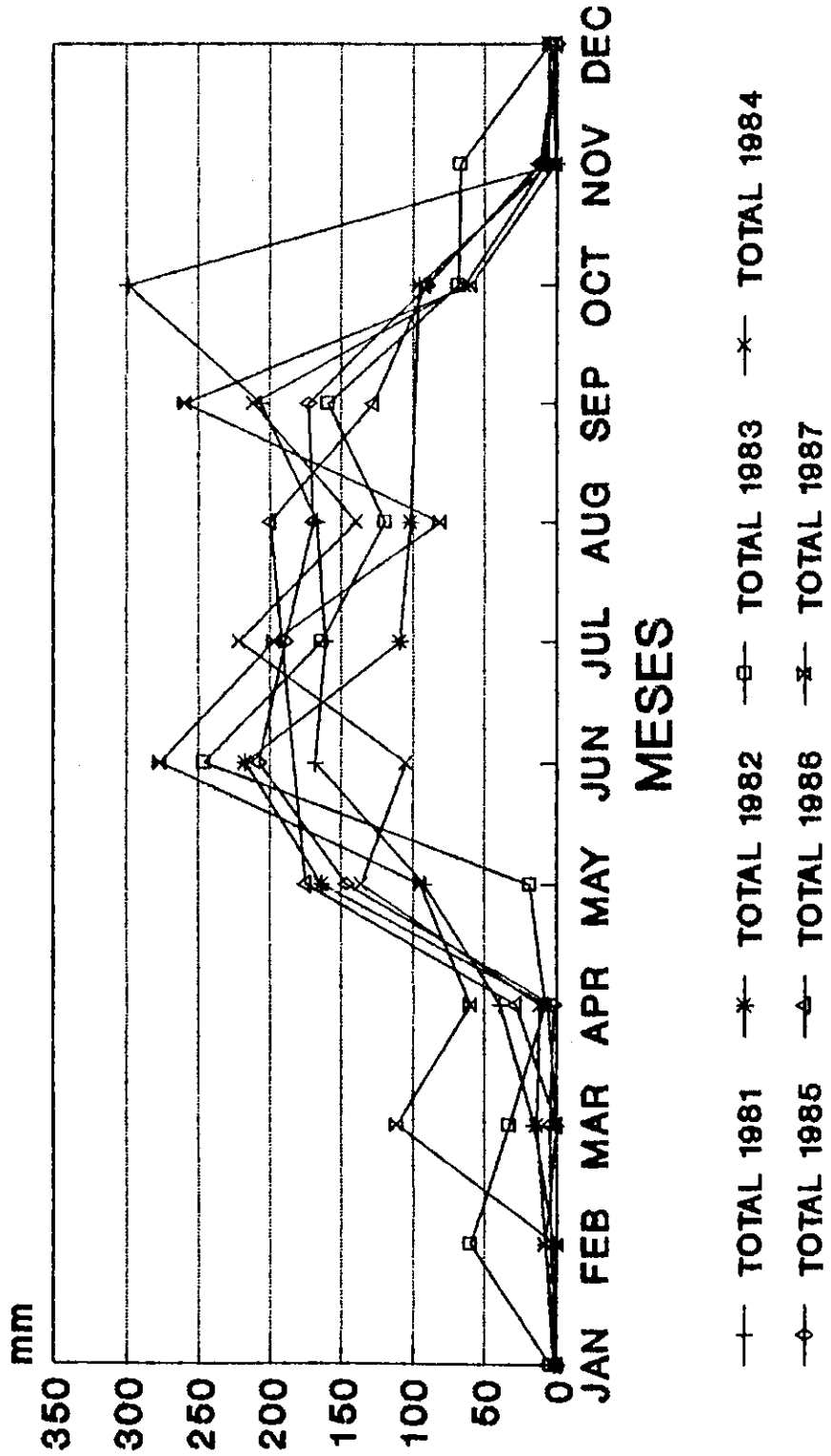
FUENTE:INSIVUMEH

HUMEDAD RELATIVA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: CHIMALTENANGO MUN.: CHIMALTENANGO  
 ELEVACION: 1766.00 msnm



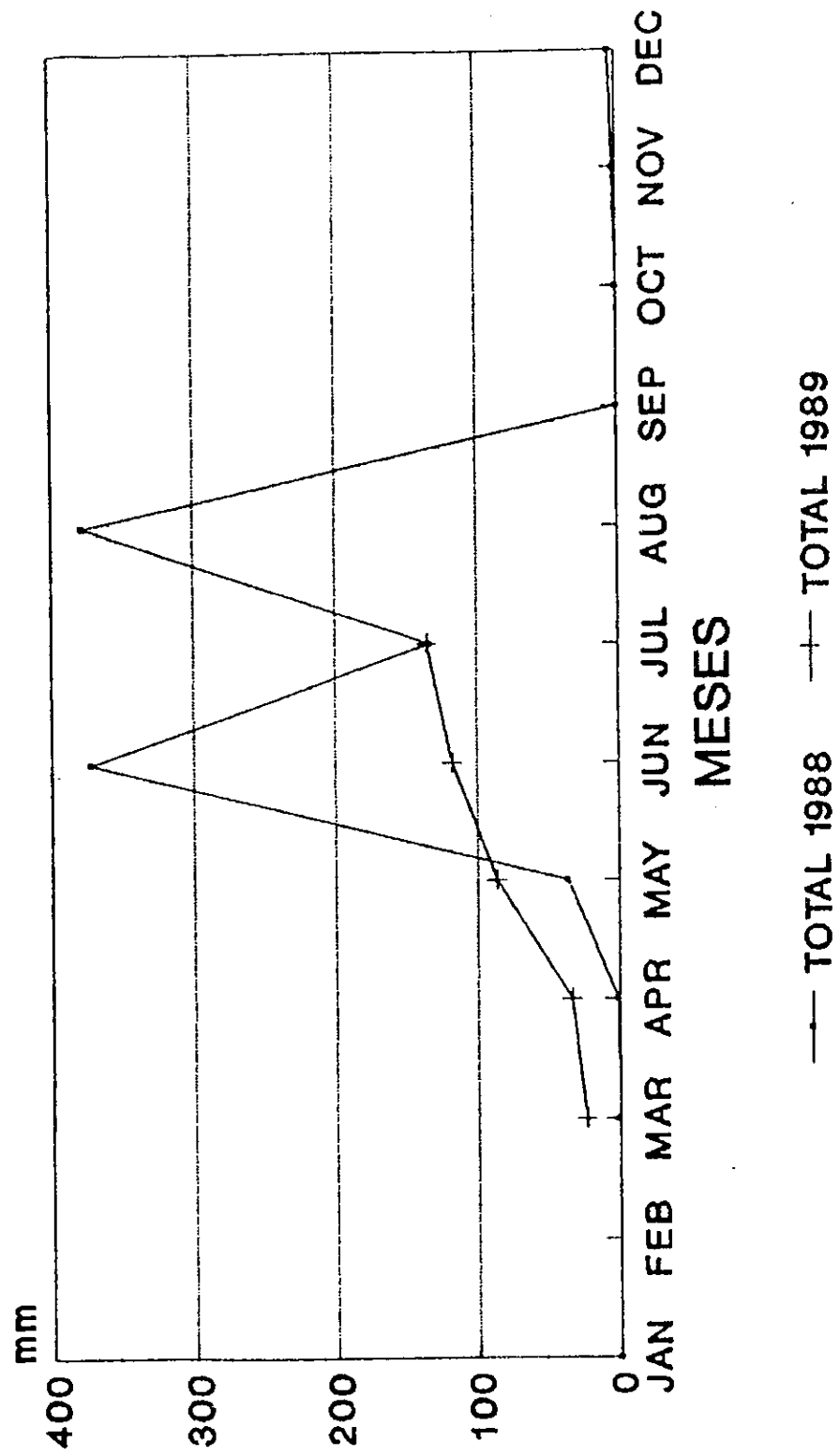
FUENTE: INSIVUMEH

**PRECIPITACION TOTAL**  
**DEP.:CHIMALTENANGO MUN.:CHIMALTENANGO**  
**ELEVACION:1766.00 msnm**

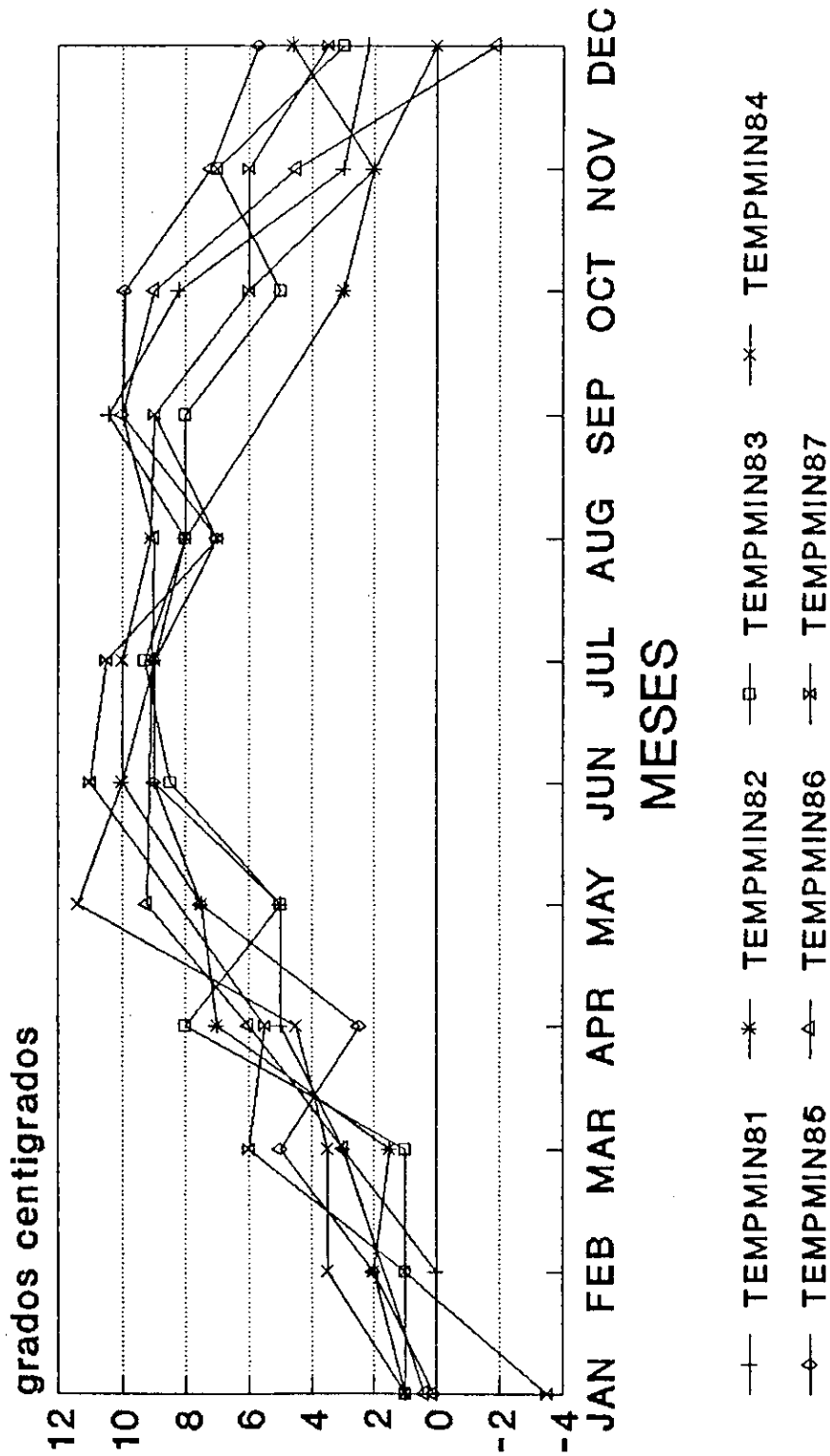


FUENTE:INSIVUMEH

**PRECIPITACION TOTAL**  
**DEP.:CHIMALTENANGO MUN.:CHIMALTENANGO**  
**ELEVACION:1766.00 msnm**

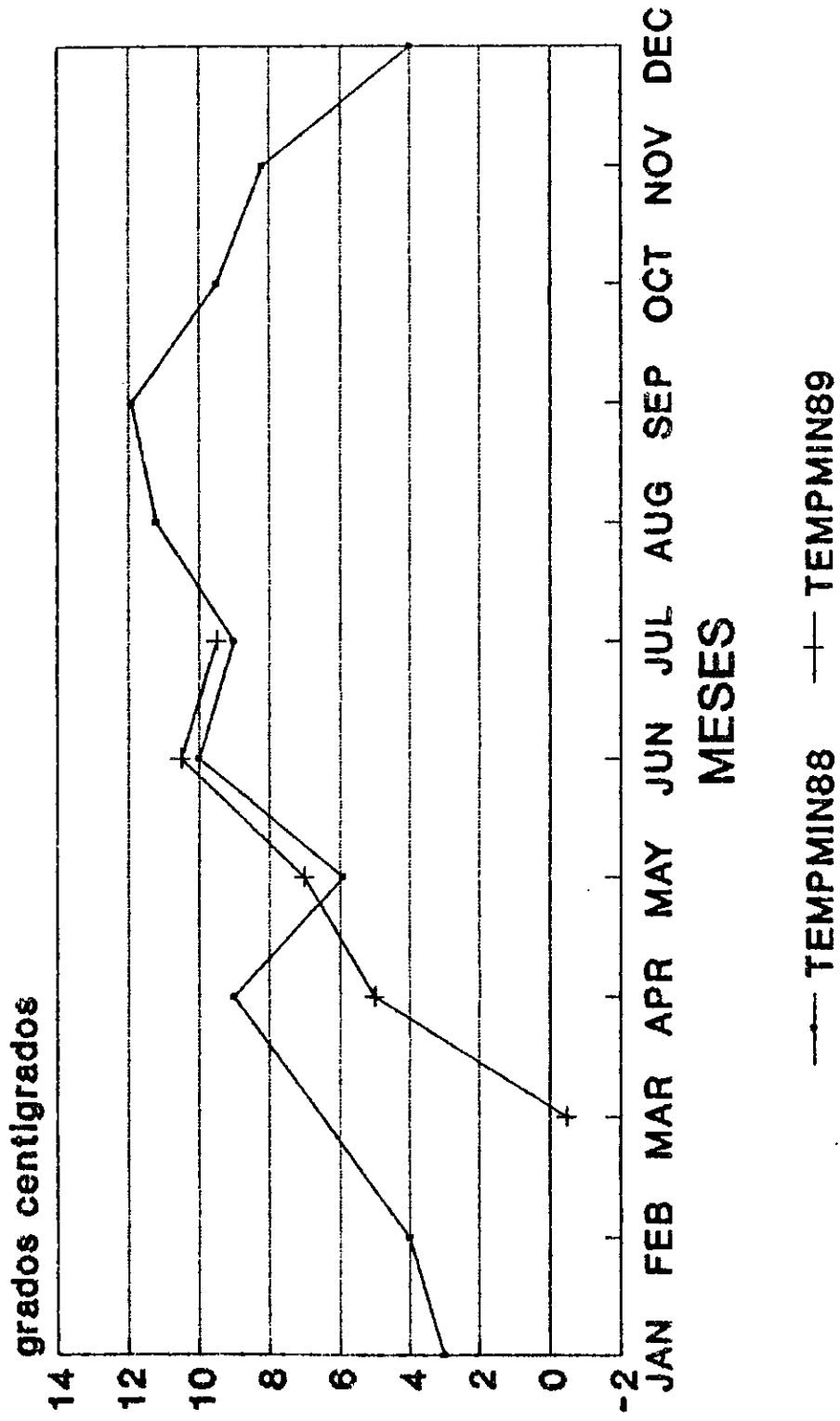


TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
 DEP.:CHIMALTENANGO MUN.:CHIMALTENANGO  
 ELEVACION:1766.00 msnm



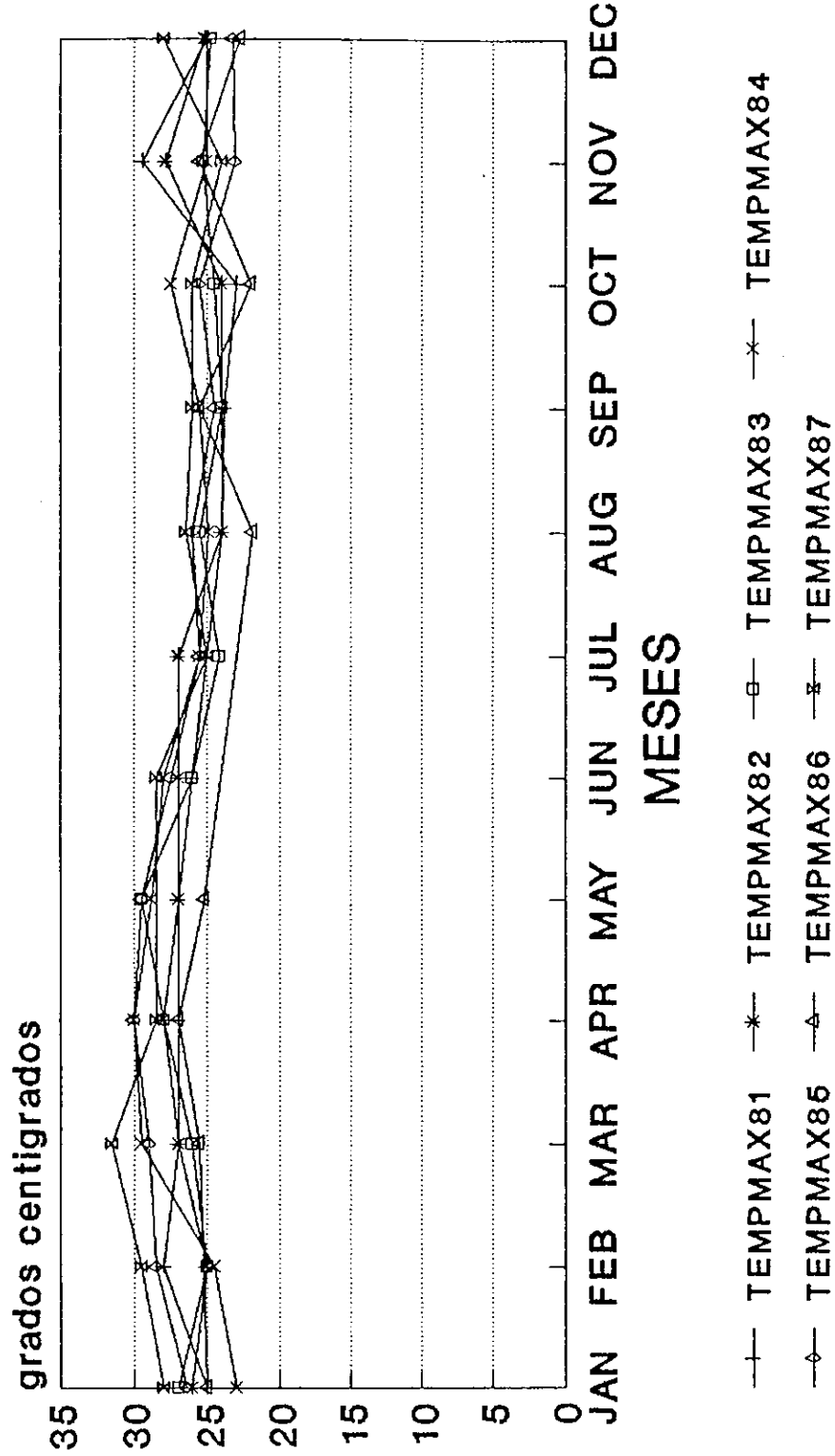
FUENTE:INSIVUMEH

**TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA**  
**DEP.:CHIMALTENANGO MUN.:CHIMALTENANGO**  
**ELEVACION:1766.00 msnm**



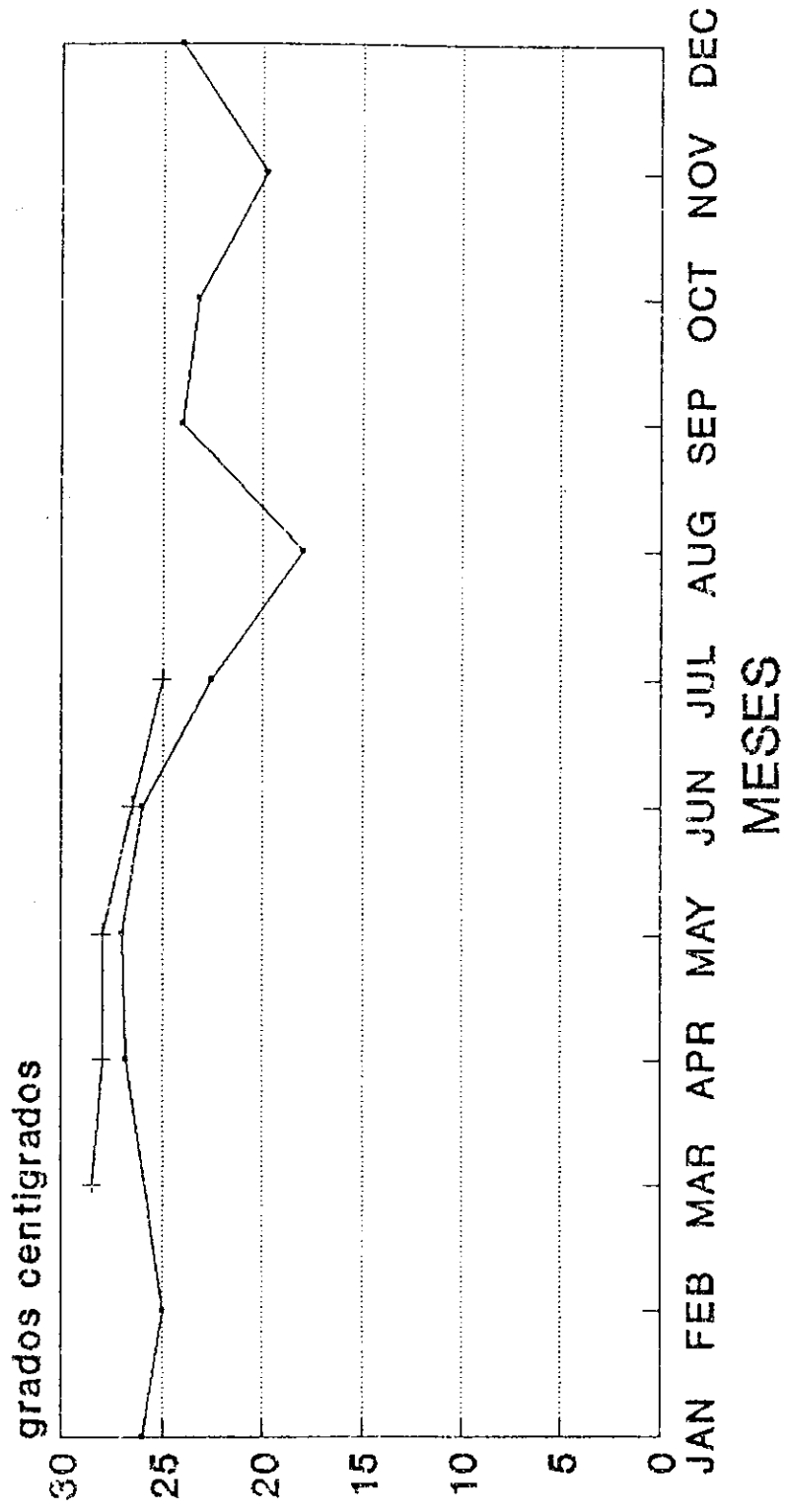
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:CHIMALTENANGO MUN.:CHIMALTENANGO  
 ELEVACION:1766.00 msnm

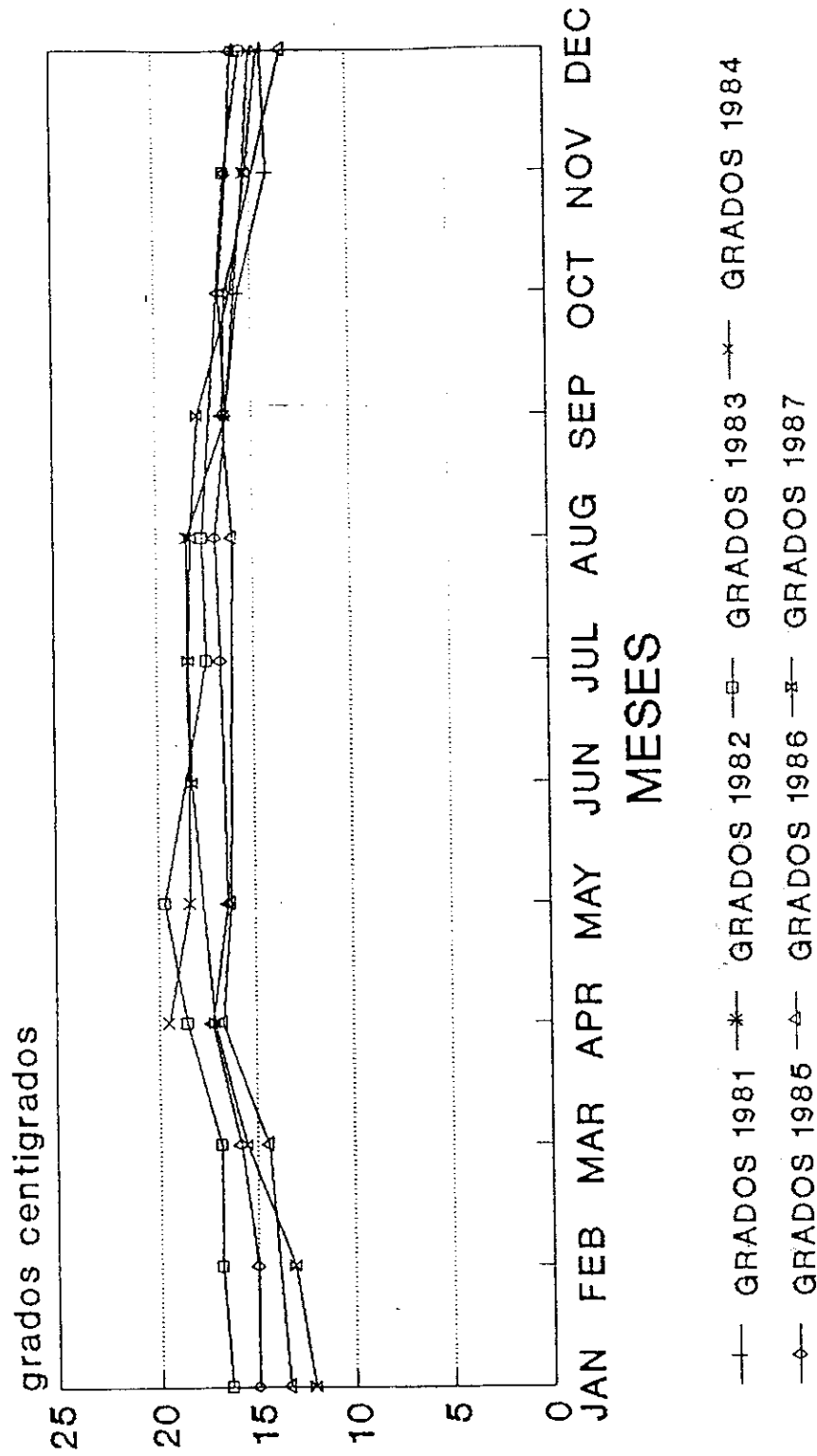


FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
DEP.:CHIMALTENANGO MUN.:CHIMALTENANGO  
ELEVACION:1766.00 msnm

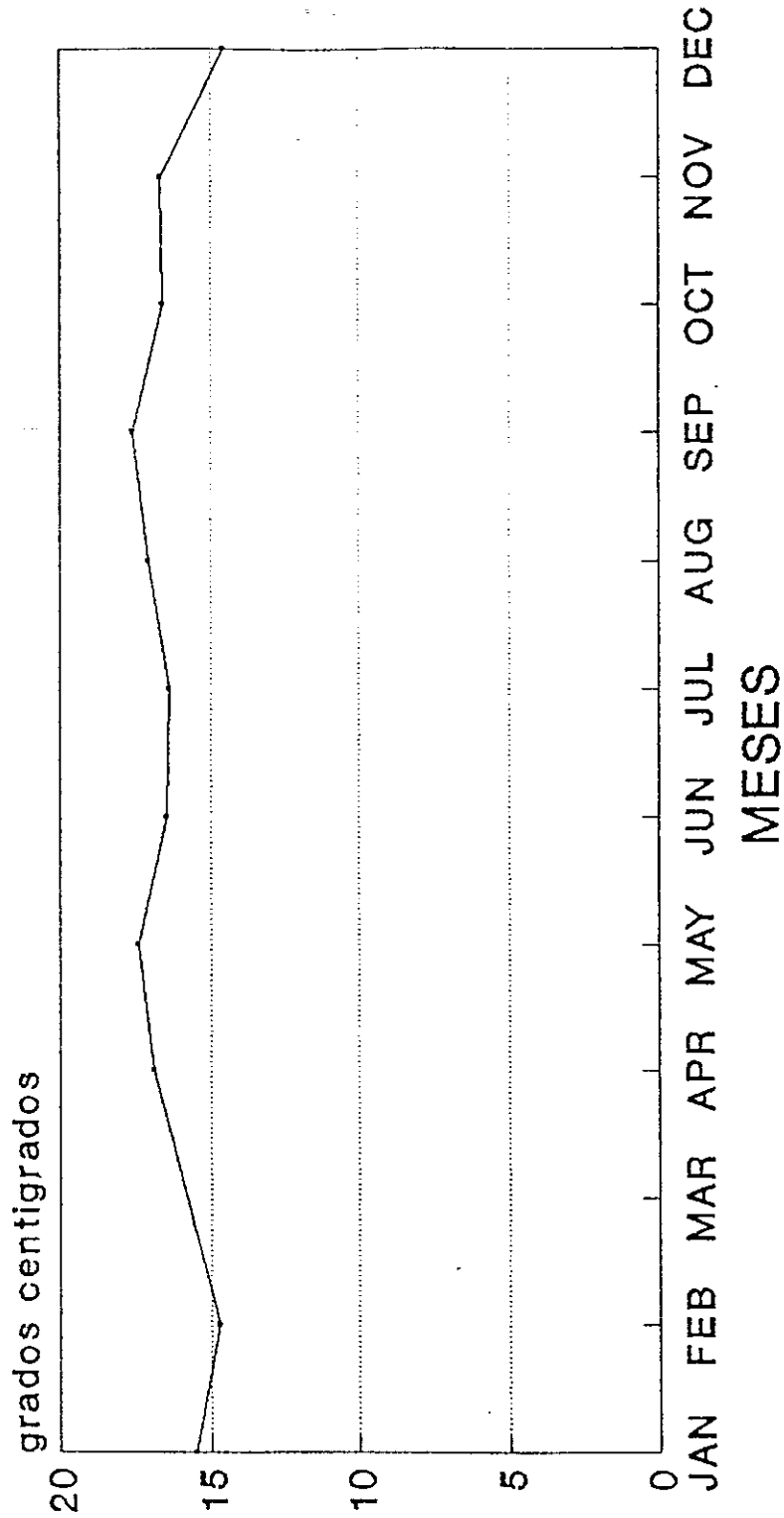


TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: CHIMALTENANGO MUN.: CHIMALTENANGO  
 ELEVACION: 1766.00 msnm



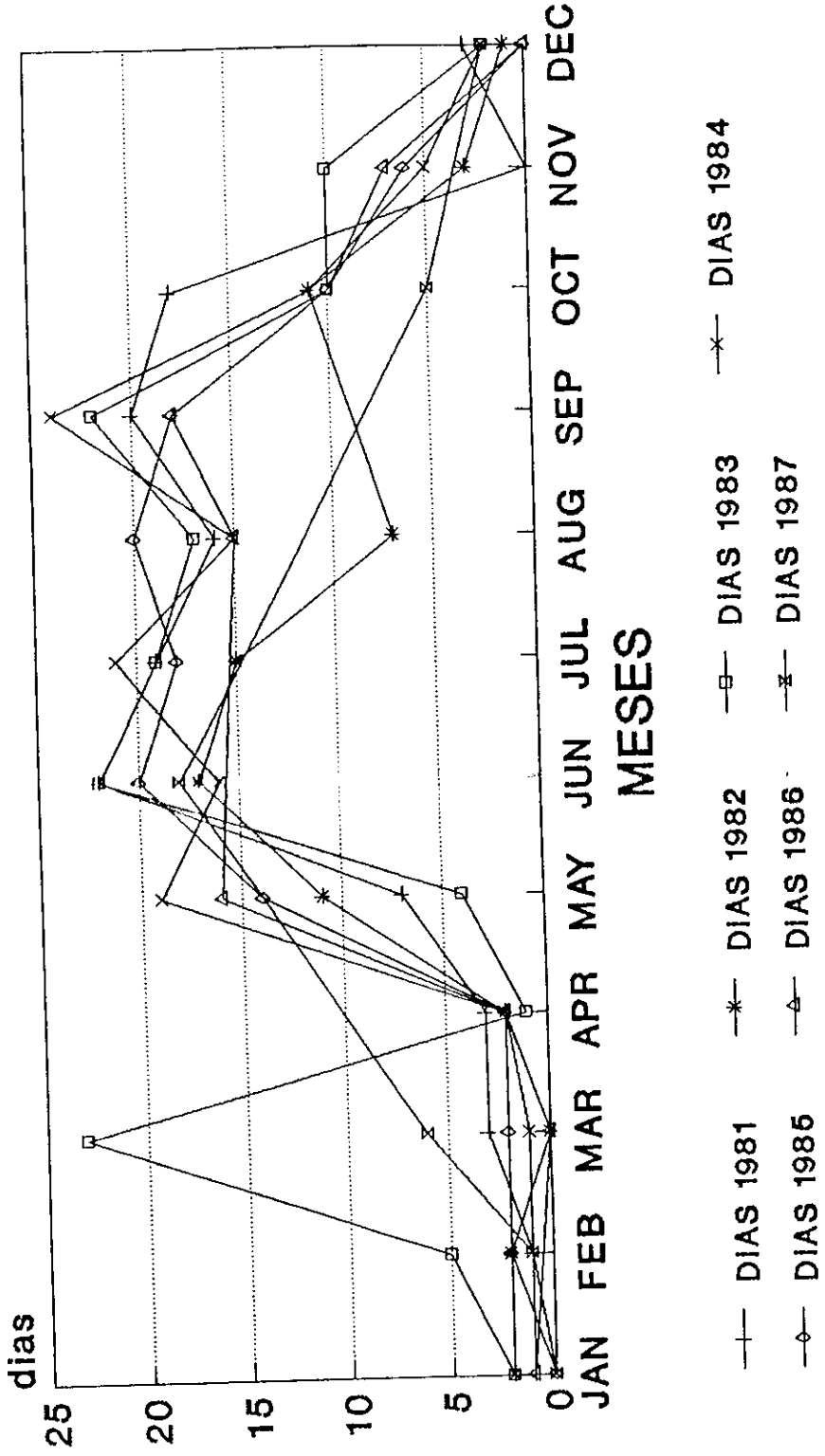
FUENTE: INSIVUMEH

TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: CHIMALTENANGO MUN.: CHIMALTENANGO  
 ELEVACION: 1766.00 msnm



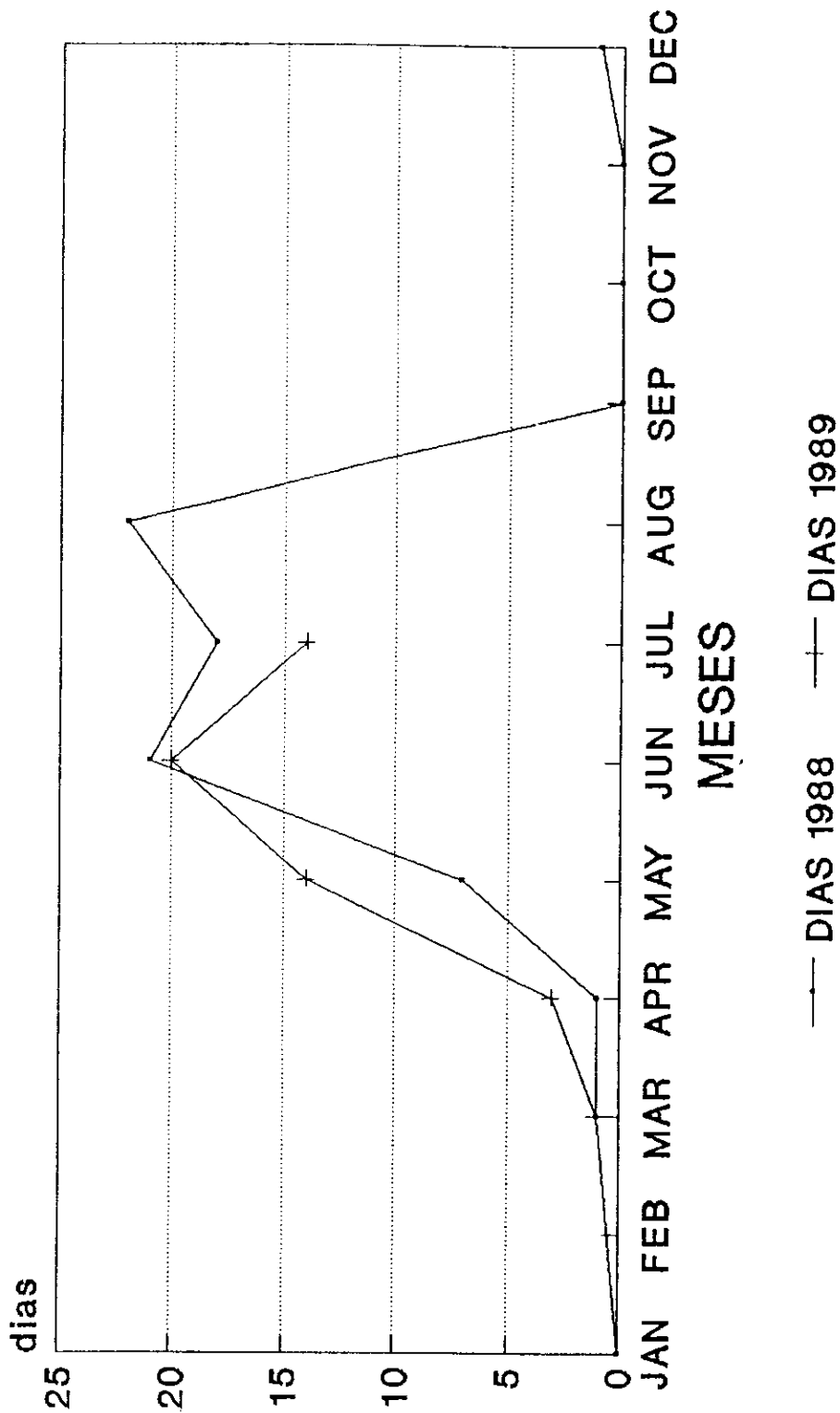
FUENTE: INSIVUMEH

**DIAS DE PRECIPITACION**  
**DEP.:CHIMALTENANGO MUN.:CHIMALTENANGO**  
**ELEVACION:1766.00 msnm.**



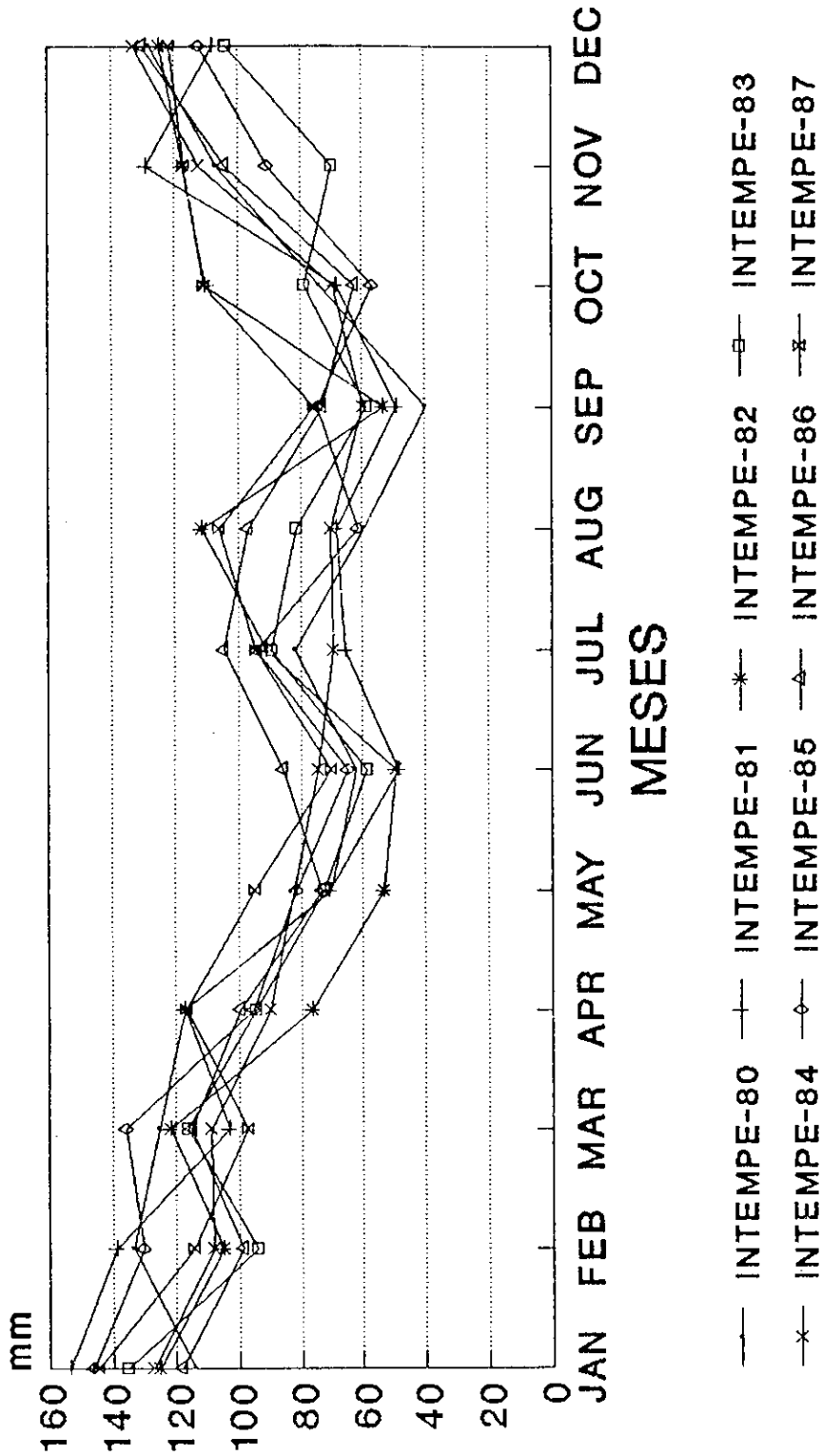
FUENTE:INSIVUMEH

DIAS DE PRECIPITACION  
 DEP.:CHIMALTENANGO MUN.:CHIMALTENANGO  
 ELEVACION:1766.00 msnm



FUENTE:INSIVUMEH

EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:ESCUINTLA MUN.:ESCUINTLA  
 ELEVACION:730.00 msnm

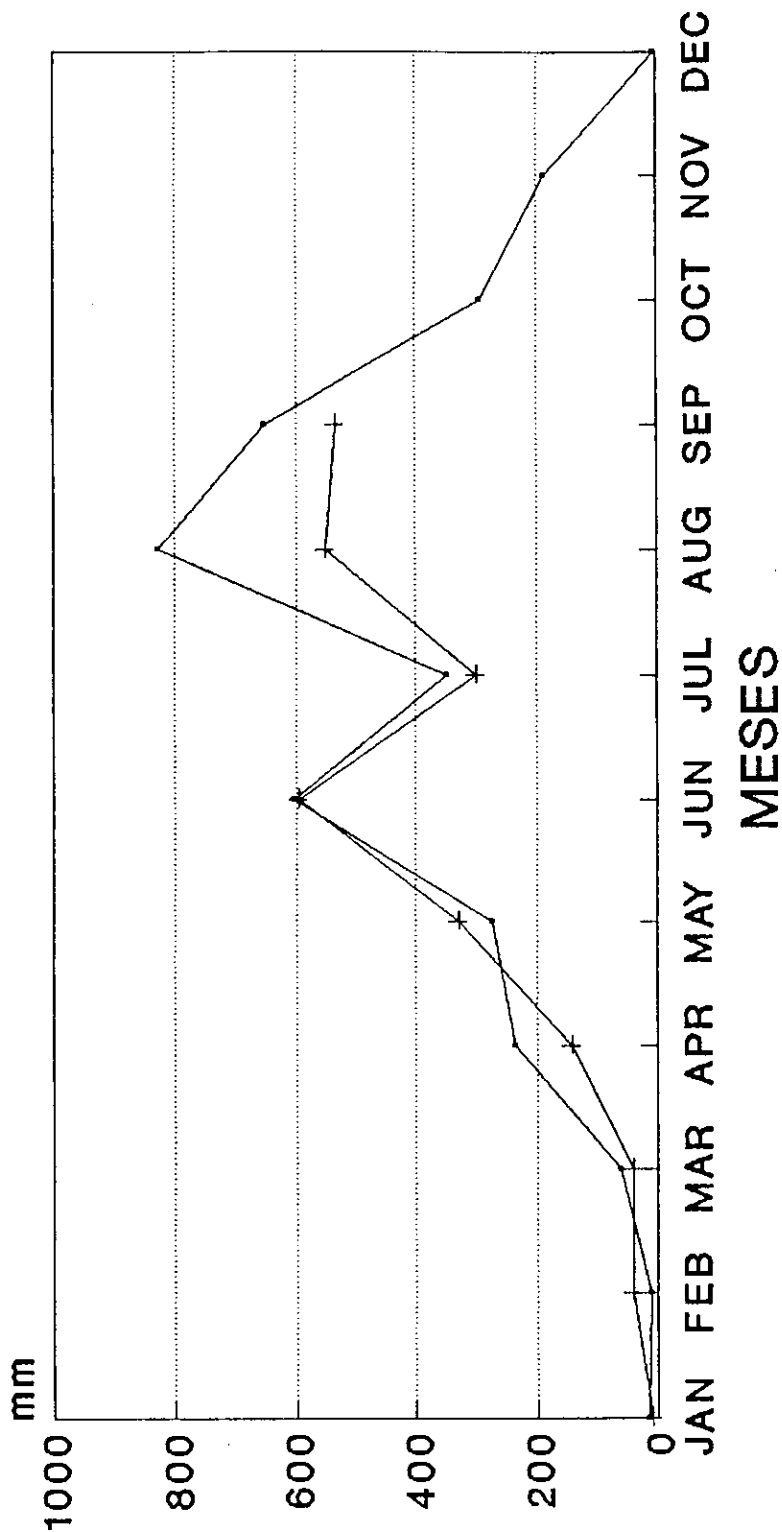


FUENTE:INSIVUMEH

# ESCUINTLA

EVAPORACION A LA INTEMPERIE	13
HUMEDAD RELATIVA MEDIA:PROMEDIO	15
PRECIPITACION TOTAL	17
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA	19
TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA	21
TEMPERATURA MEDIA:PROMEDIO	23
DIAS DE PRECIPITACION	25
EVAPORACION A LA SOMBRA	27

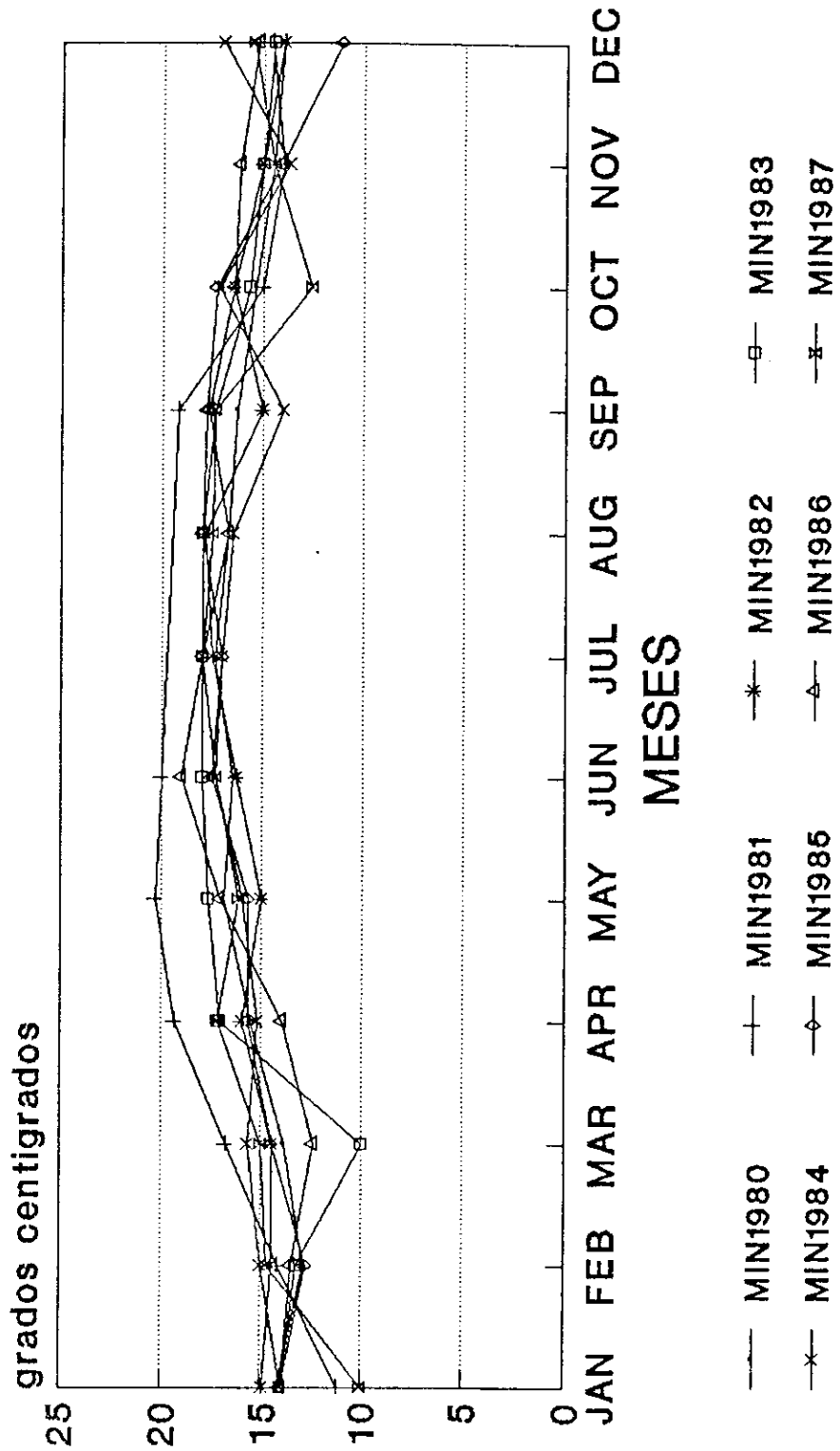
PRECIPITACION TOTAL  
 DEP.:ESCUINTLA MUN.:ESCUINTLA  
 ELEVACION:730.00 msnm



—+— TOTAL 1988    —•— TOTAL 1989

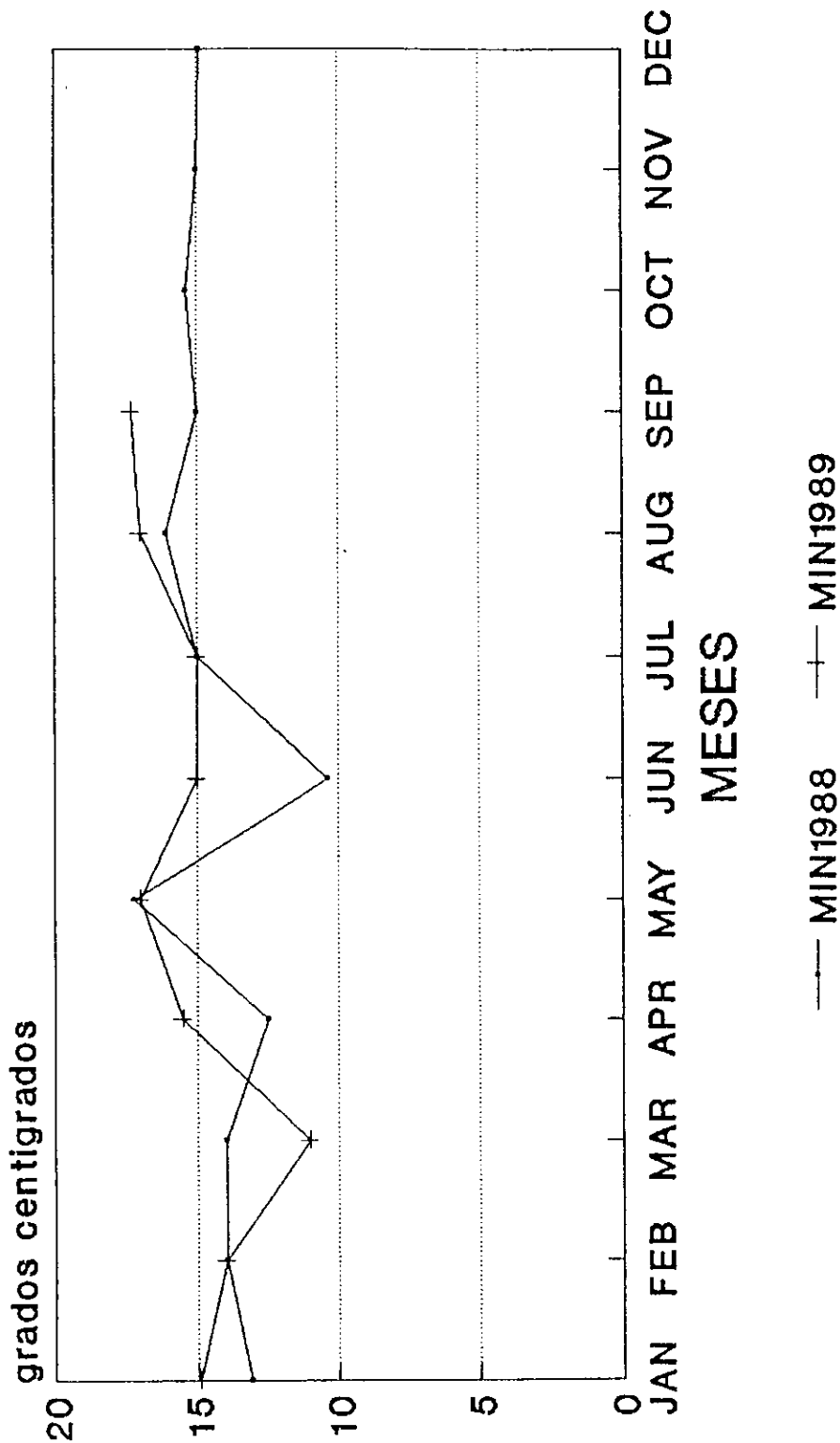
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
 DEP.:ESCUINTLA MUN.:ESCUINTLA  
 ELEVACION:730.00 msnm



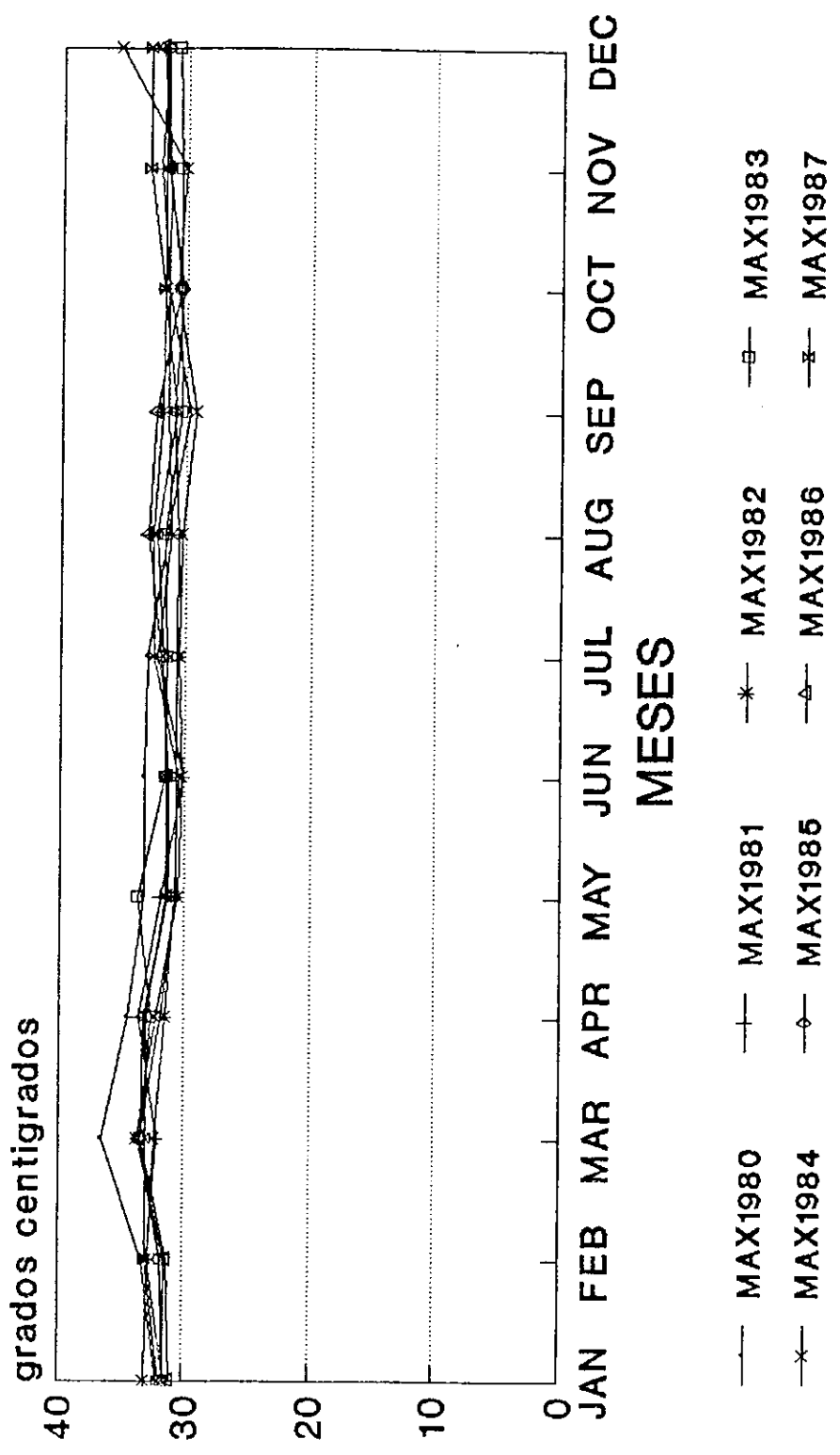
FUENTE:INISIVUMEH

TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
 DEP.:ESCUINTLA MUN.:ESCUINTLA  
 ELEVACION:730.00 msnm



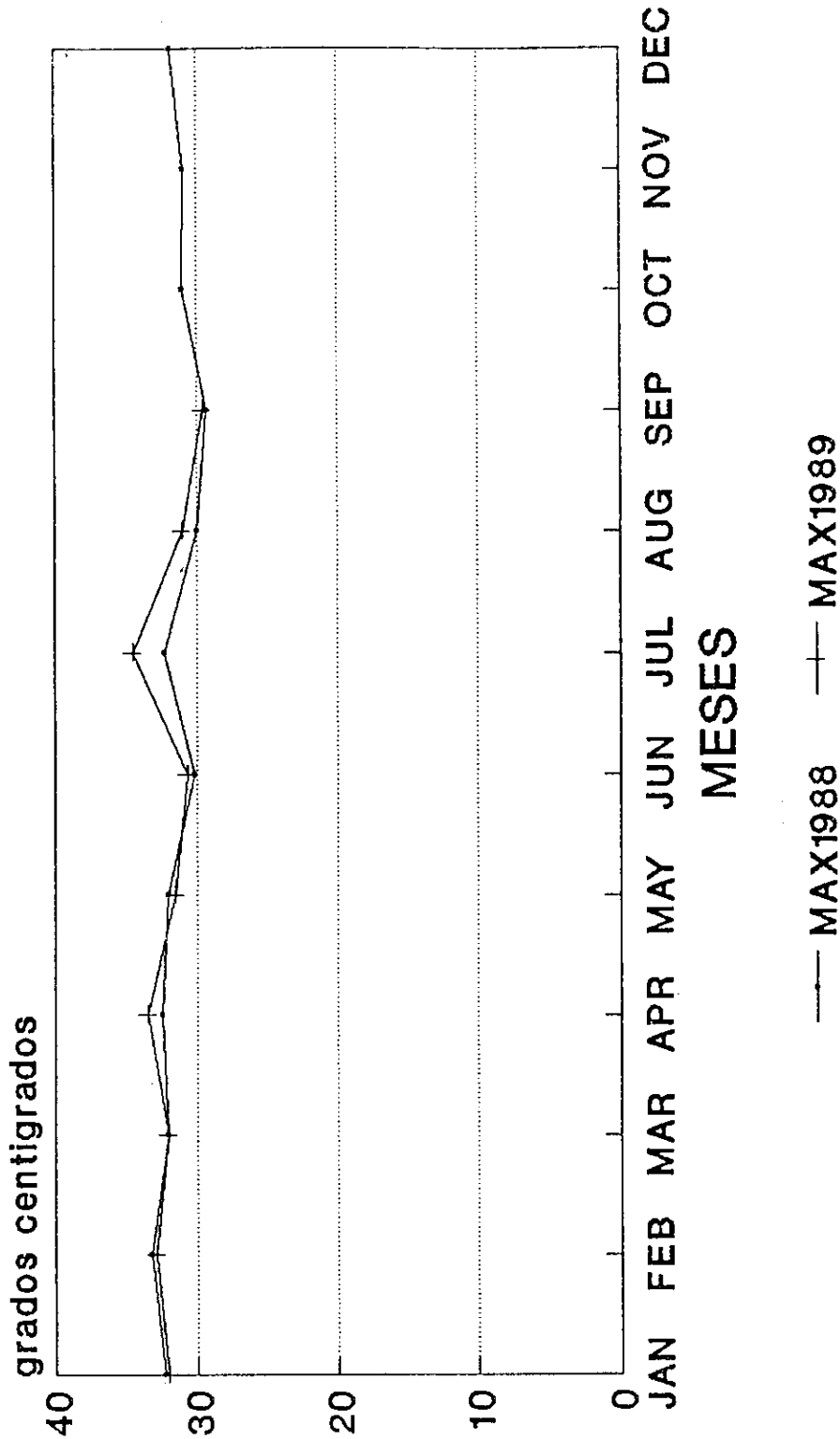
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:ESCUINTLA MUN.:ESCUINTLA  
 ELEVACION:730.00 msnm



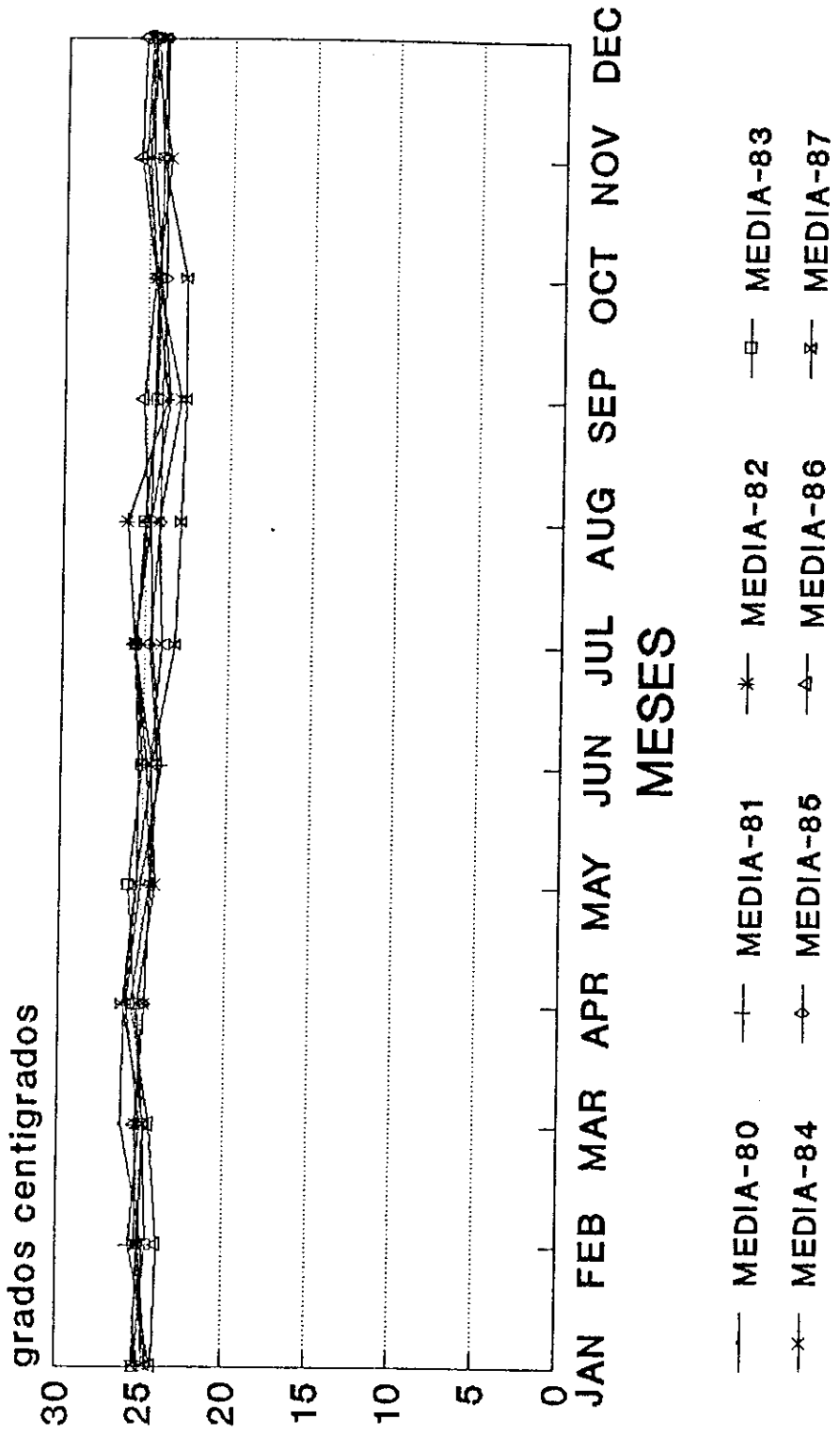
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:ESCUINTLA MUN.:ESCUINTLA  
 ELEVACION:730.00 msnm.



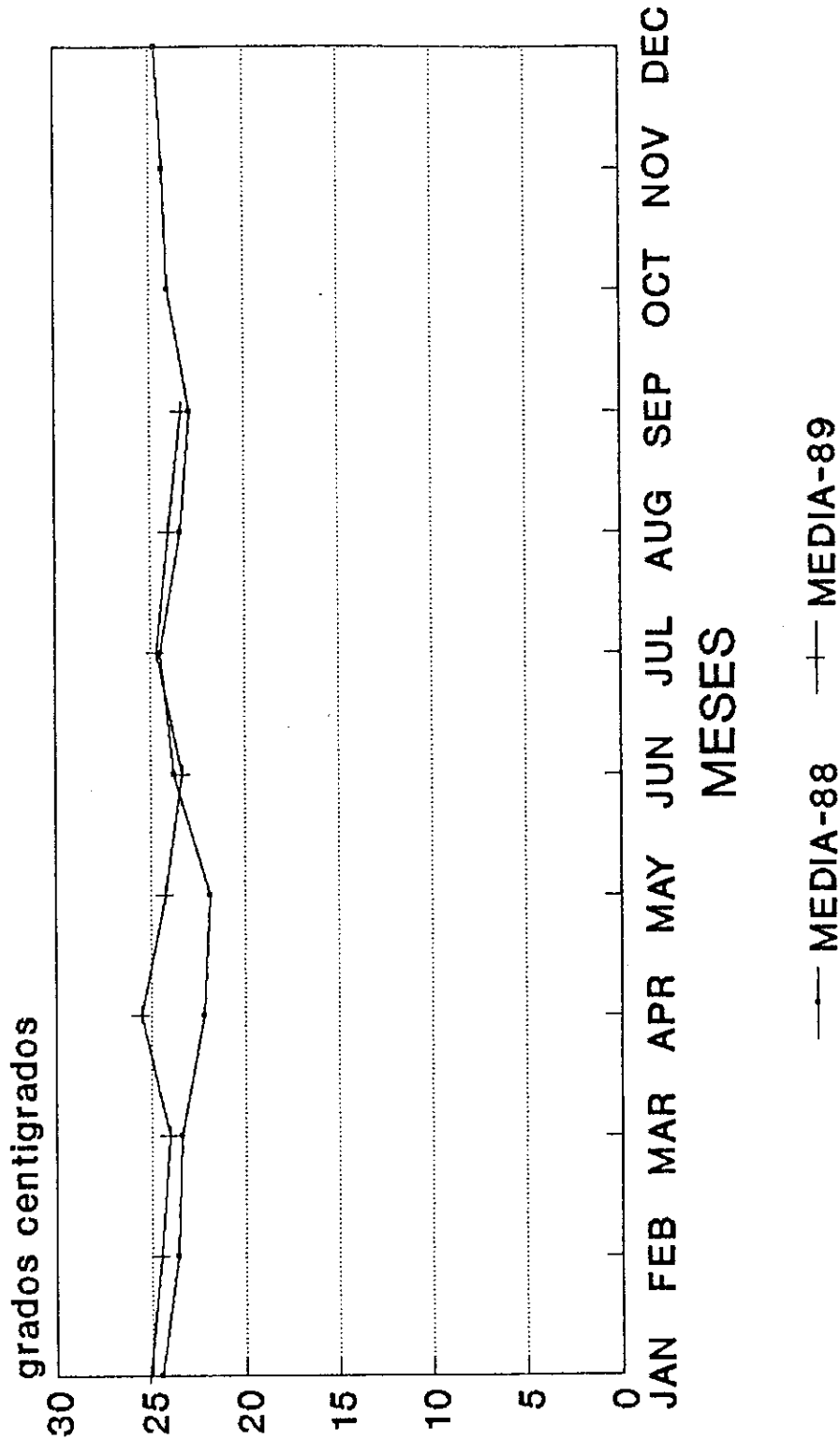
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: ESCUINTLA MUN.: ESCUINTLA  
 ELEVACION: 730.00 msnm



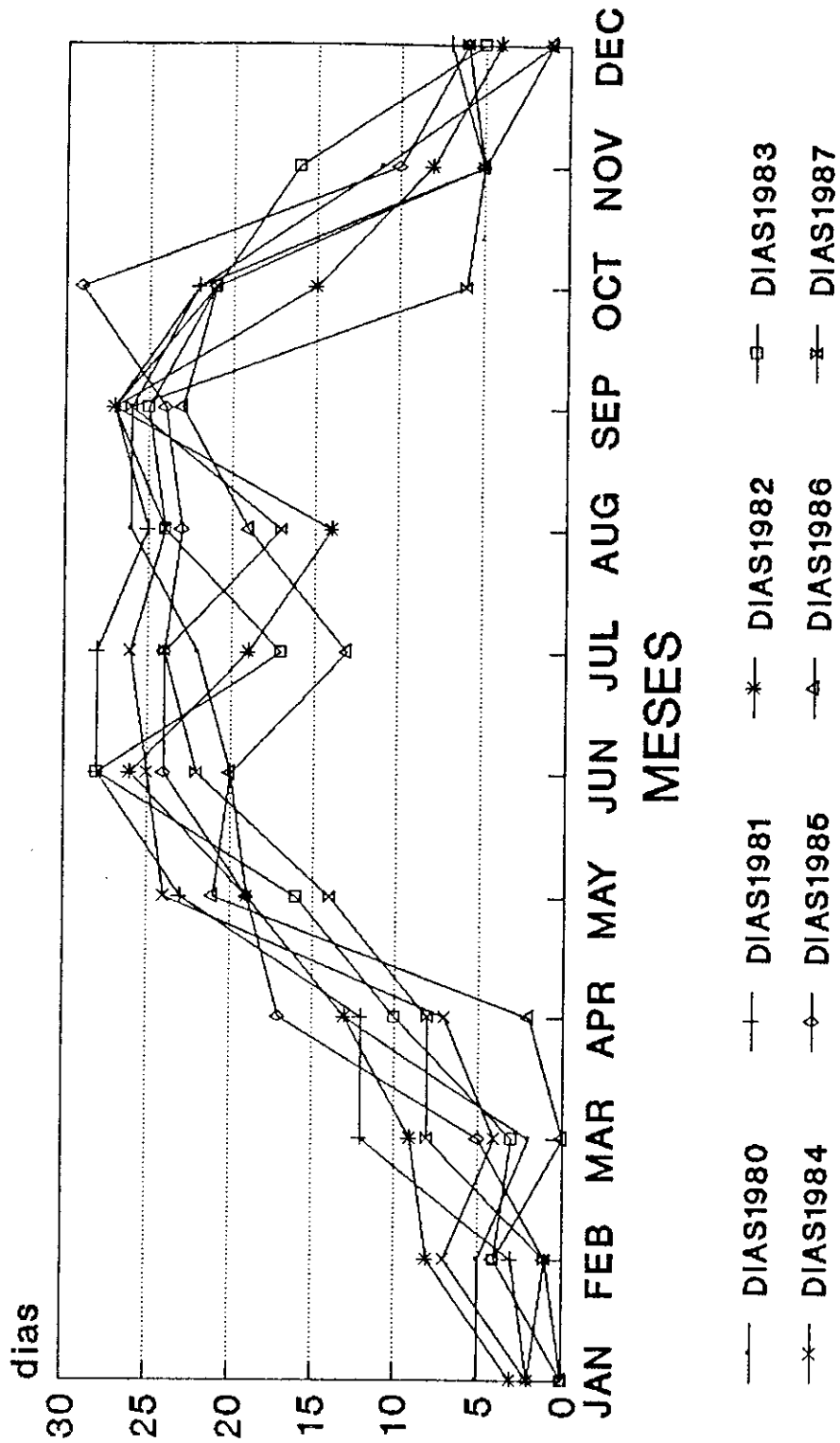
FUENTE: INSIVUMEH

TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: ESCUINTLA MUN.: ESCUINTLA  
 ELEVACION: 730.00 msnm



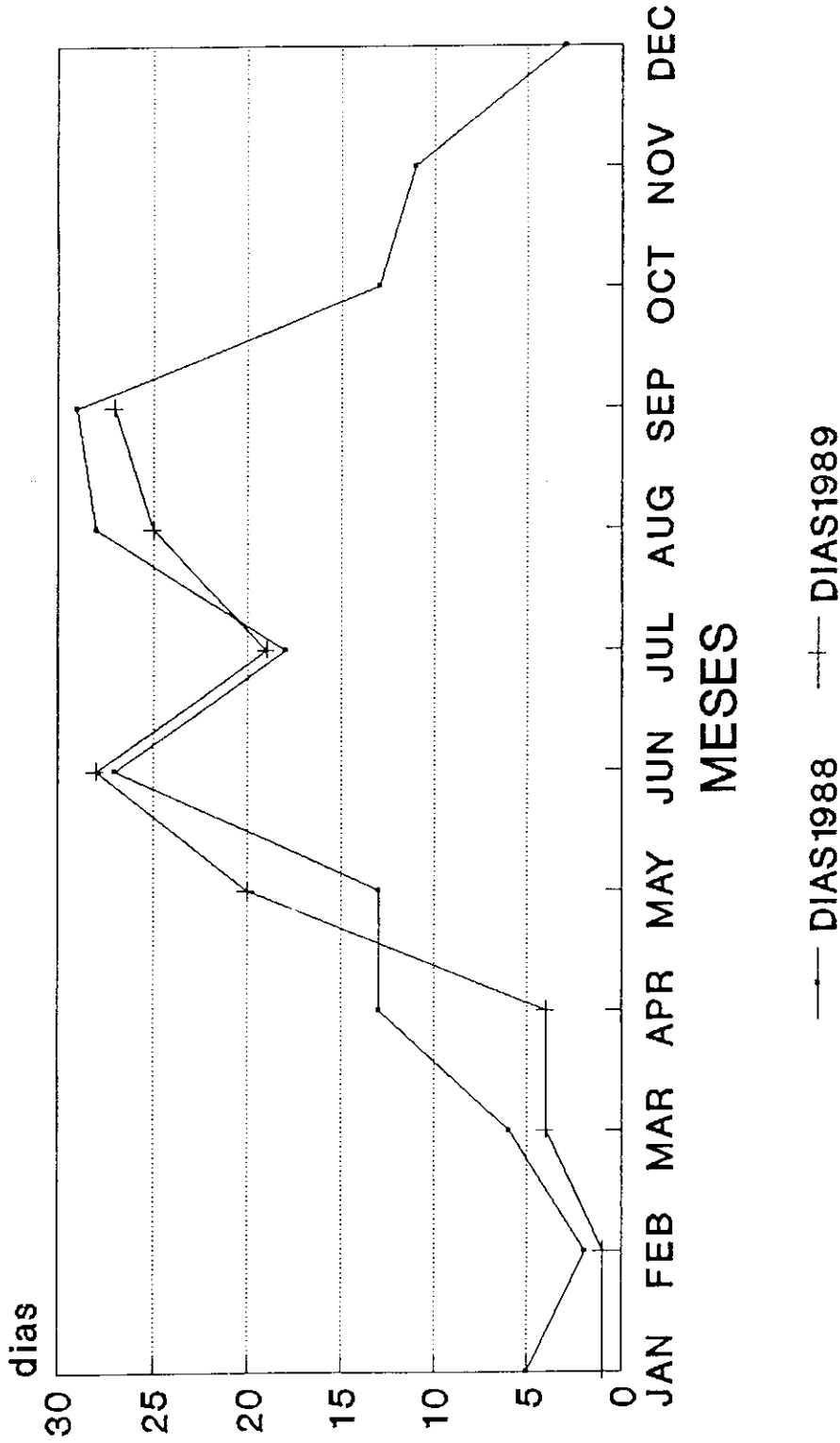
FUENTE: ISIVUMEH

DIAS DE PRECIPITACION  
 DEP.: ESCUINTLA MUN.: ESCUINTLA  
 ELEVACION: 730.00 msnm



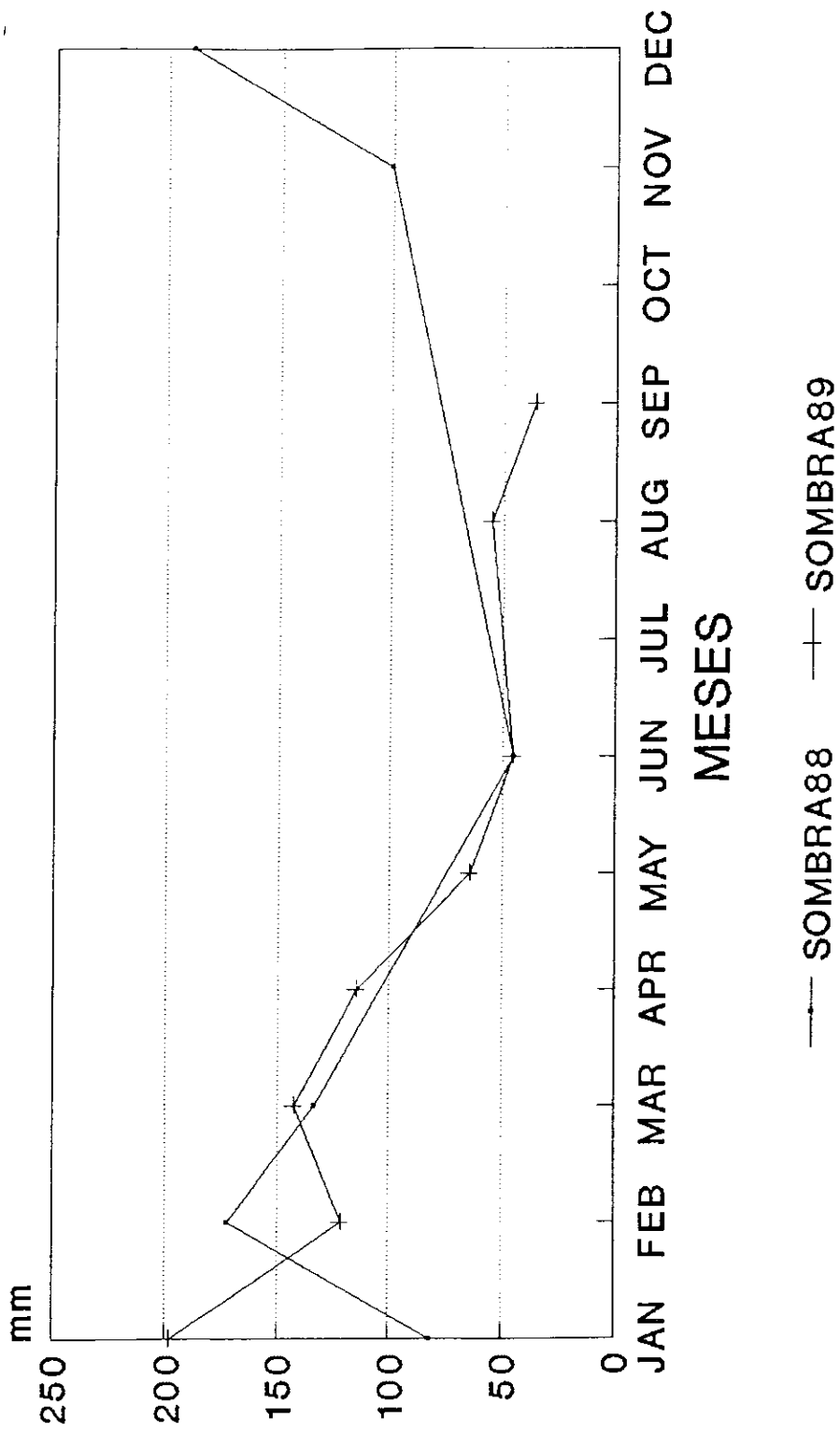
FUENTE: INSIVUMEH

DIAS DE PRECIPITACION  
 DEP.:ESCUINTLA MUN.:ESCUINTLA  
 ELEVACION:730.00 msnm



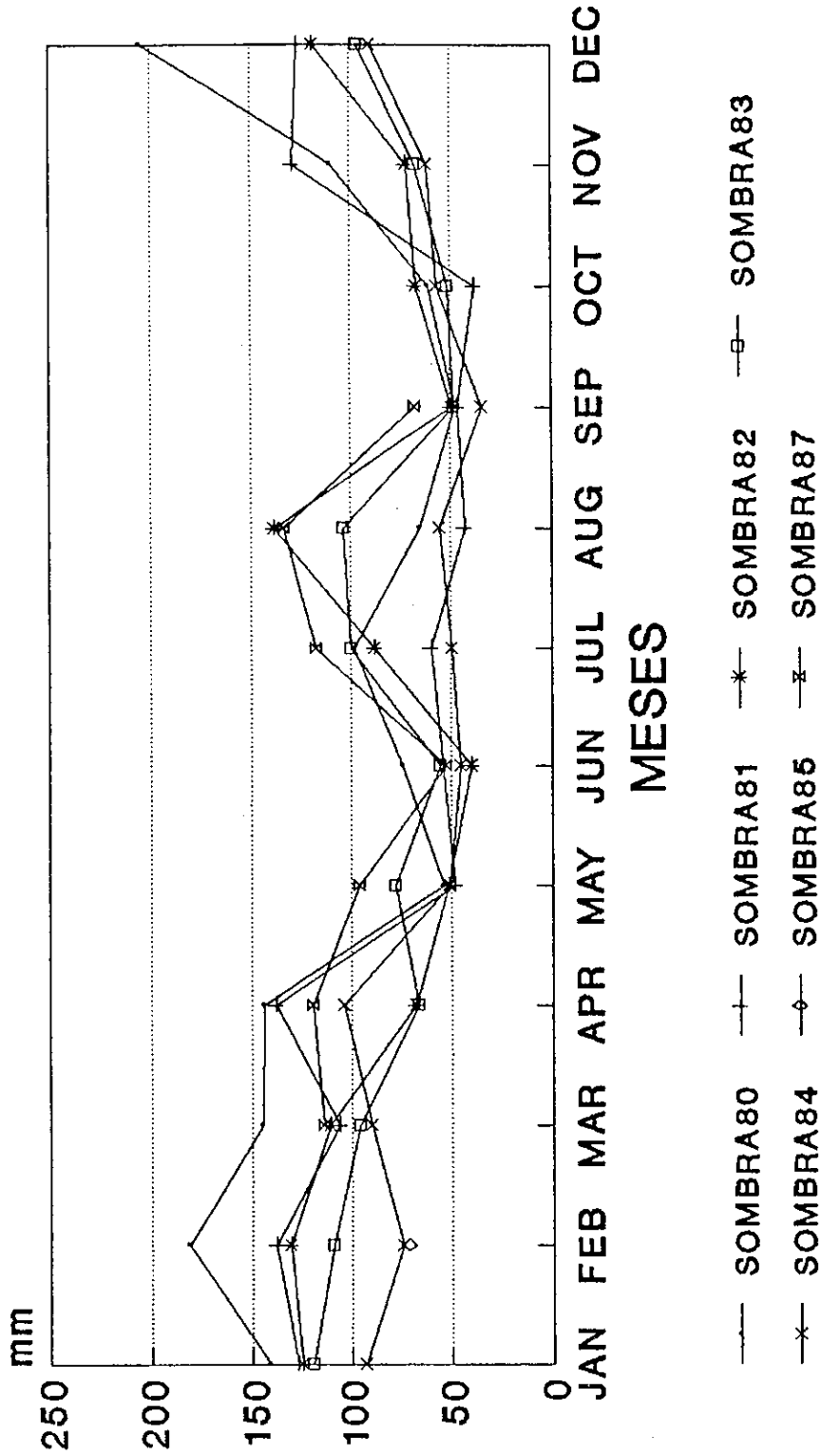
FUENTE:INSIVUMEH

EVAPORACION A LA SOMBRA  
 DEP.:ESCUINTLA MUN.:ESCUINTLA  
 ELEVACION:730.00 msnm



FUENTE:INSIVUMEH

EVAPORACION A LA SOMBRA  
 DEP.:ESCUINTLA MUN.:ESCUINTLA  
 ELEVACION:730.00 msnm

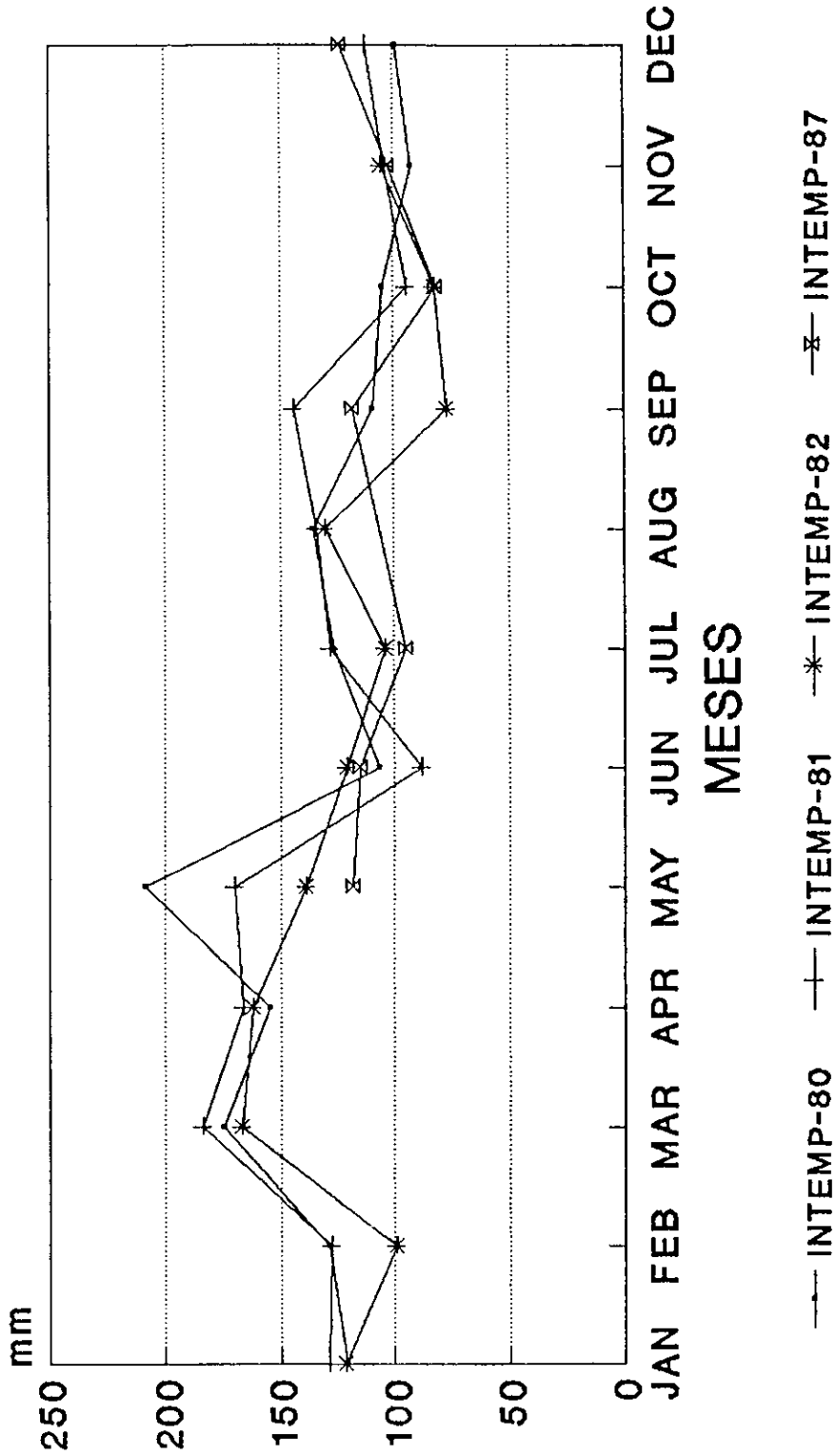


FUENTE:INSIVUMEH

# BAJA VERAPAZ

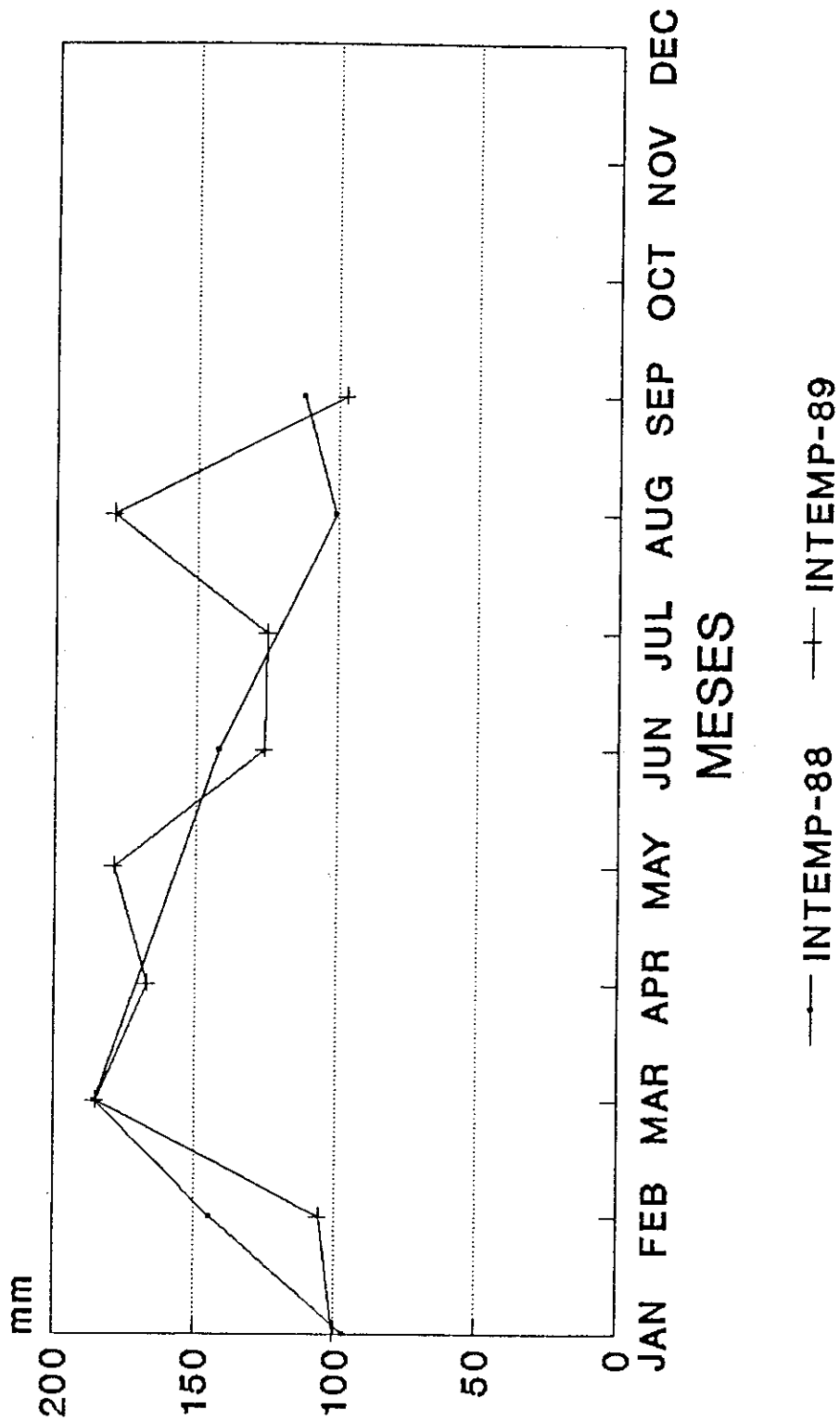
EVAPORACION A LA INTEMPERIE	29
HUMEDAD RELATIVA MEDIA:PROMEDIO	31
PRECIPITACION TOTAL	33
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA	35
TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA	37
TEMPERATURA MEDIA:PROMEDIO	39
DIAS DE PRECIPITACION	41
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	43

EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:BAJA VERAPAZ MUN.:SAN JERONIMO  
 ELEVACION:1000.00 msnm



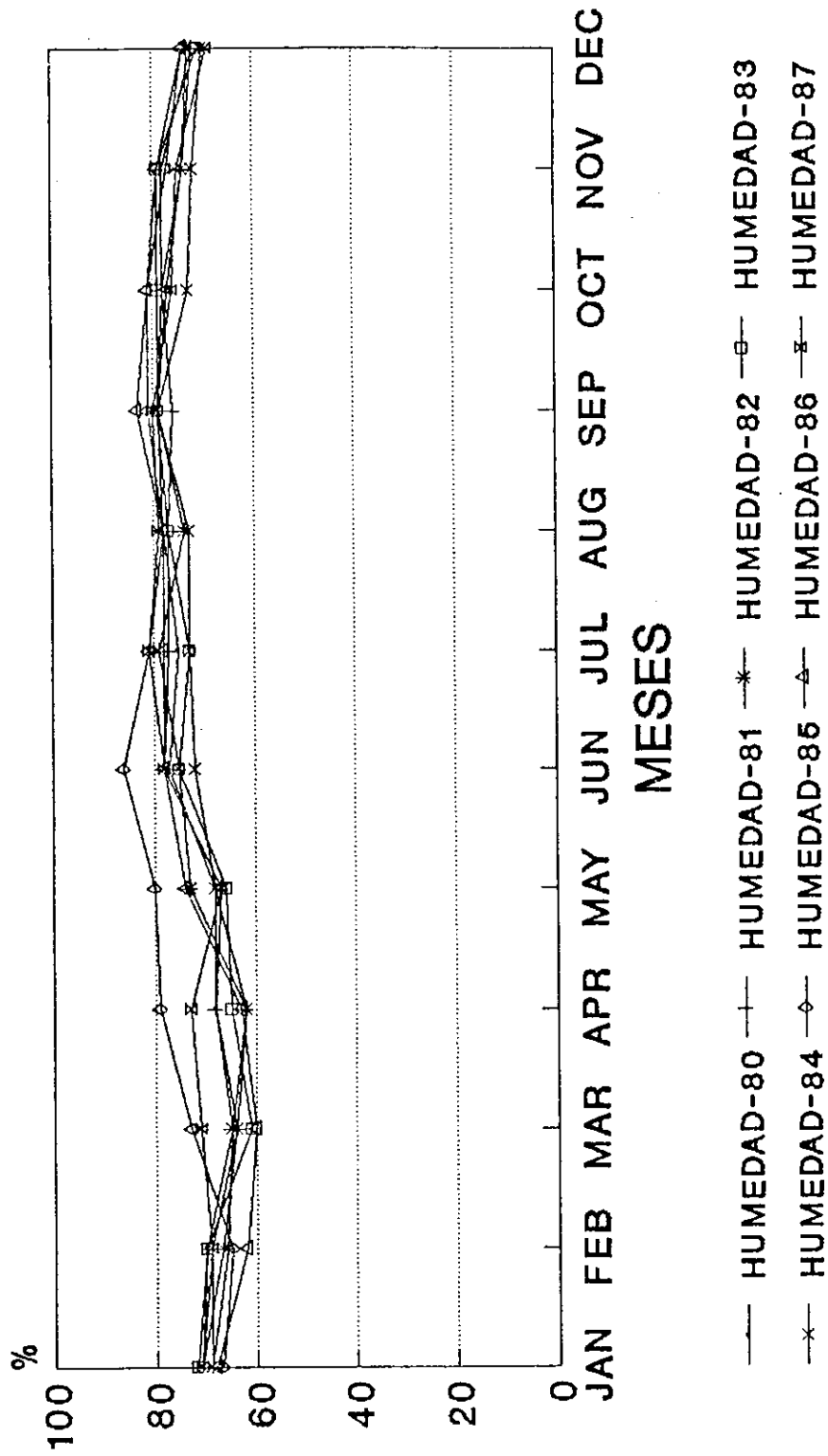
FUENTE:INSIVUMEH

EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:BAJA VERAPAZ MUN.:SAN JERONIMO  
 ELEVACION: 1000.00 msnm



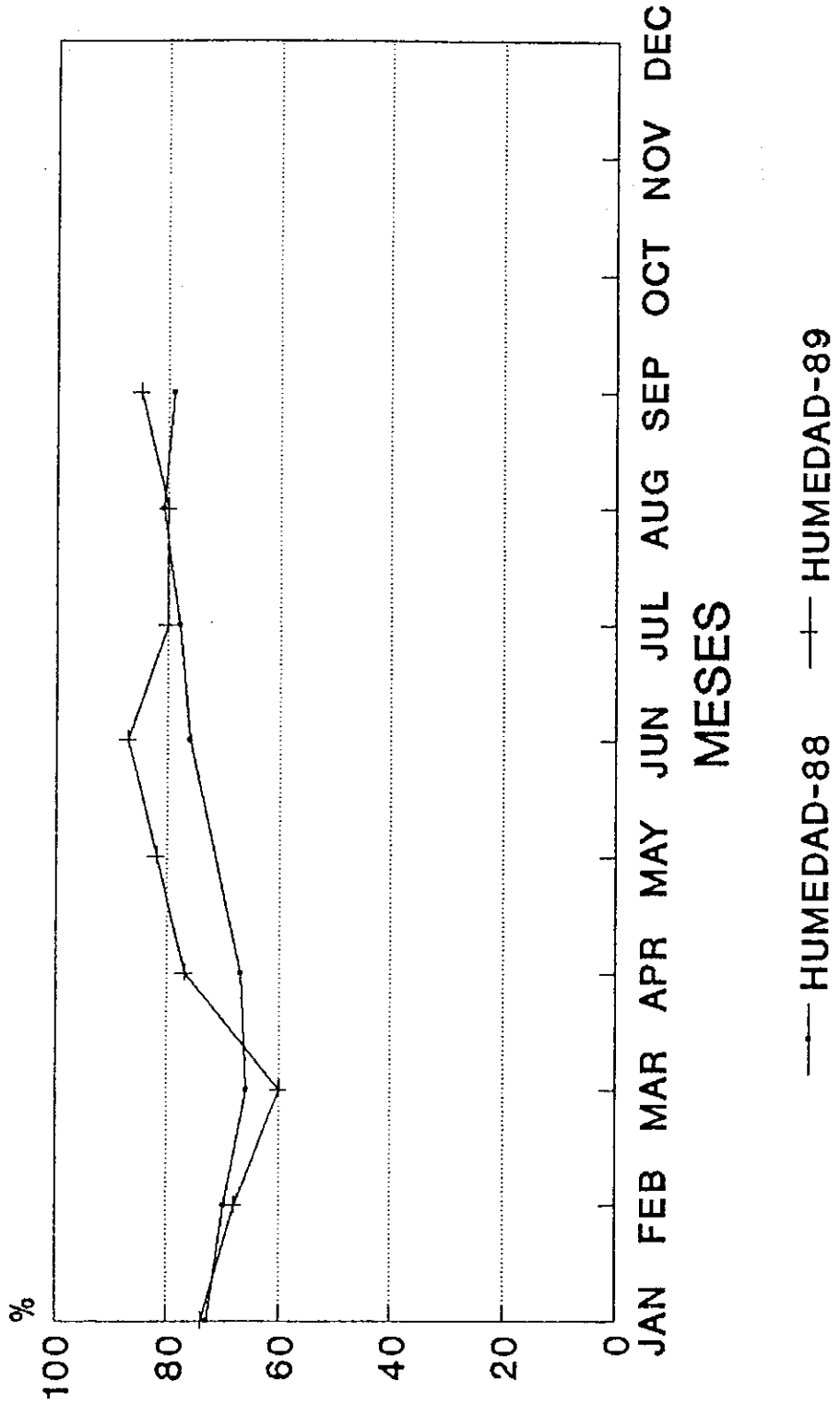
FUENTE:INSIVUMEH

HUMEDAD RELATIVA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: BAJA VERAPAZ MUN.: SAN JERONIMO  
 ELEVACION: 1000.00 msnm



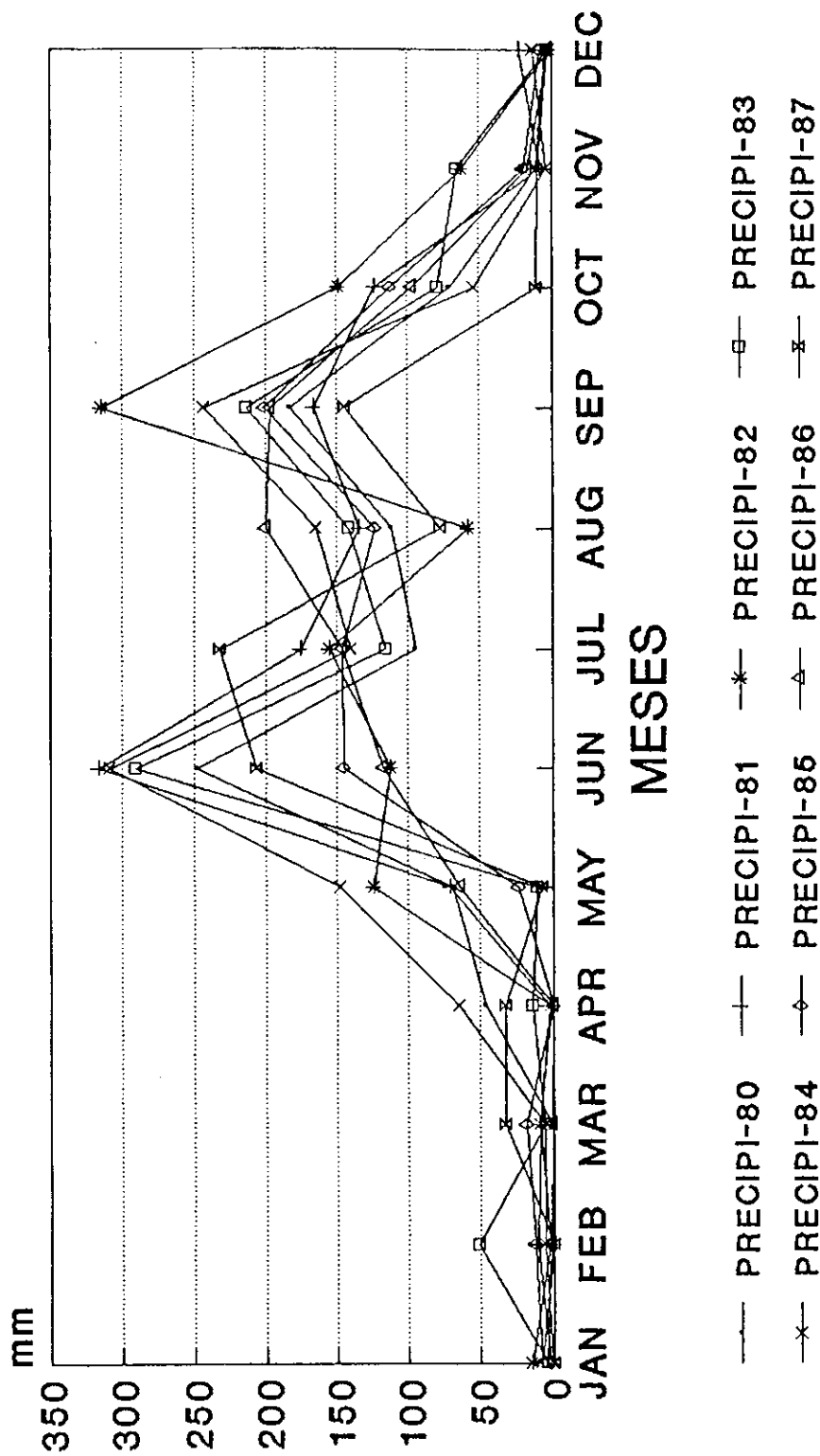
FUENTE: INSIVUMEH

HUMEDAD RELATIVA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: BAJA VERAPAZ MUN.: SAN JERONIMO  
 ELEVACION: 1000.00 msnm



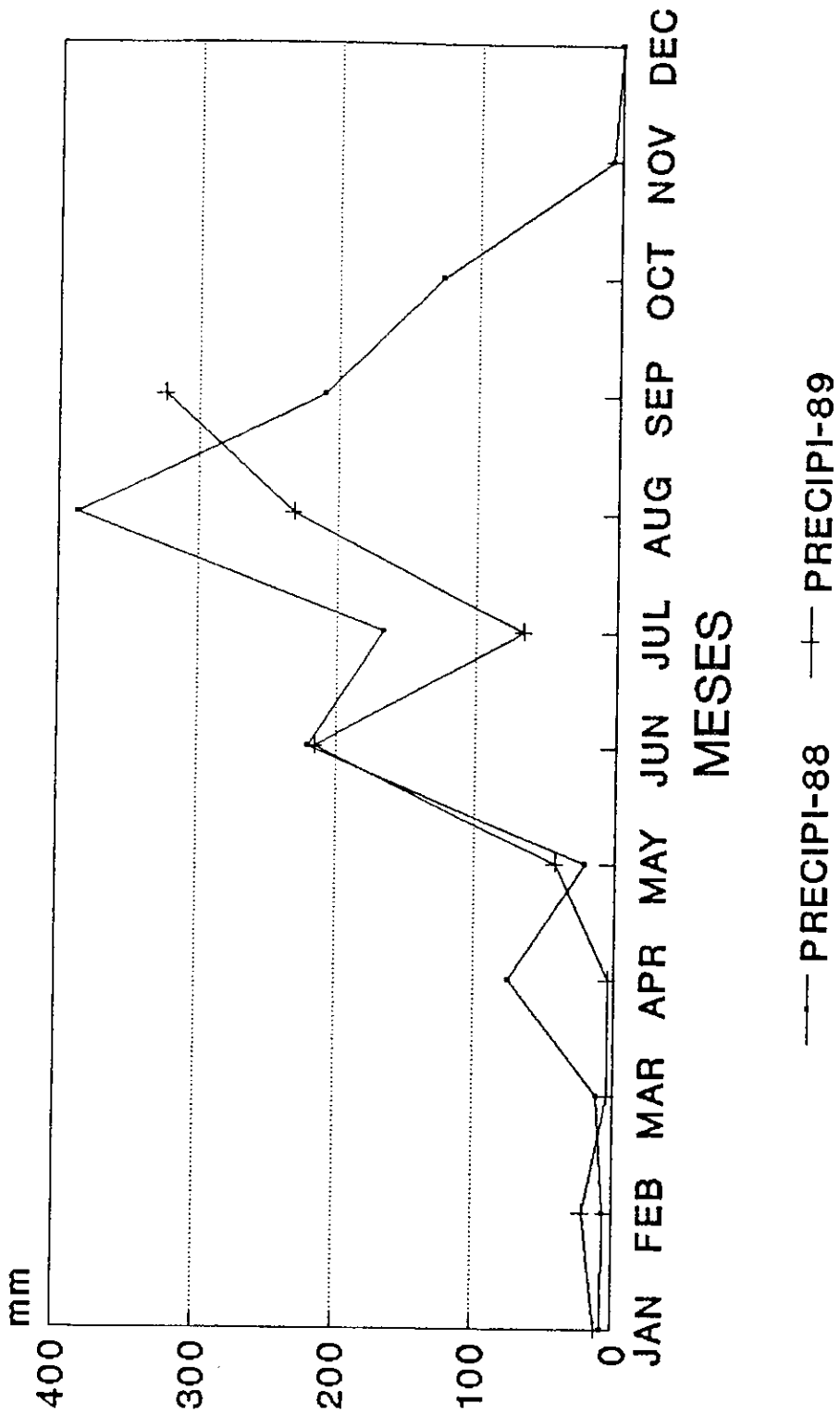
FUENTE: INSIVUMEH

PRECIPITACION TOTAL  
 DEP.:BAJA VERAPAZ MUN.:SAN JERONIMO  
 ELEVACION: 1000.00 msnm



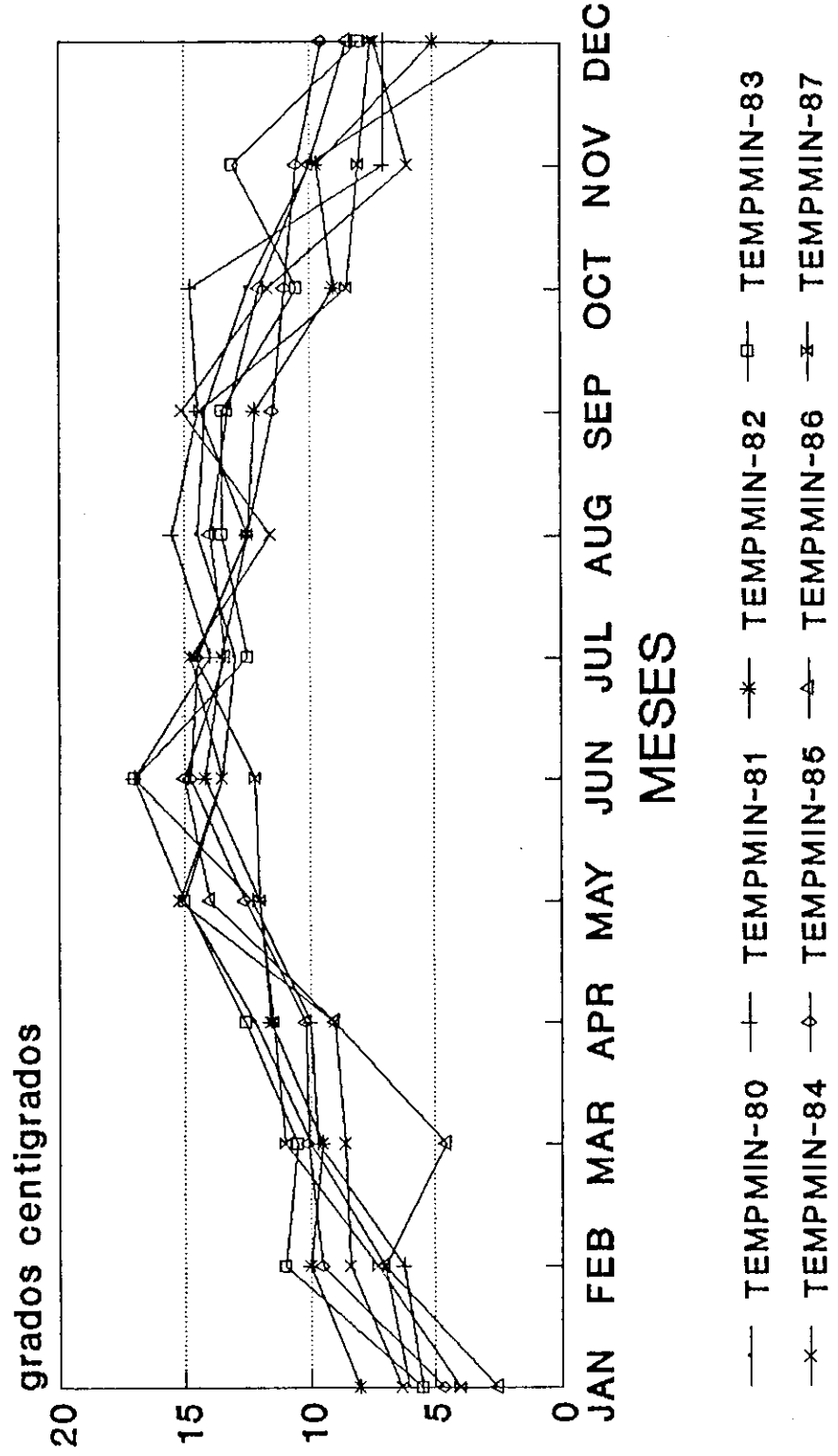
FUENTE:INSIVUMEH

PRECIPITACION TOTAL  
 DEP.:BAJA VERAPAZ MUN.:SAN JERONIMO  
 ELEVACION: 1000.00 msnm



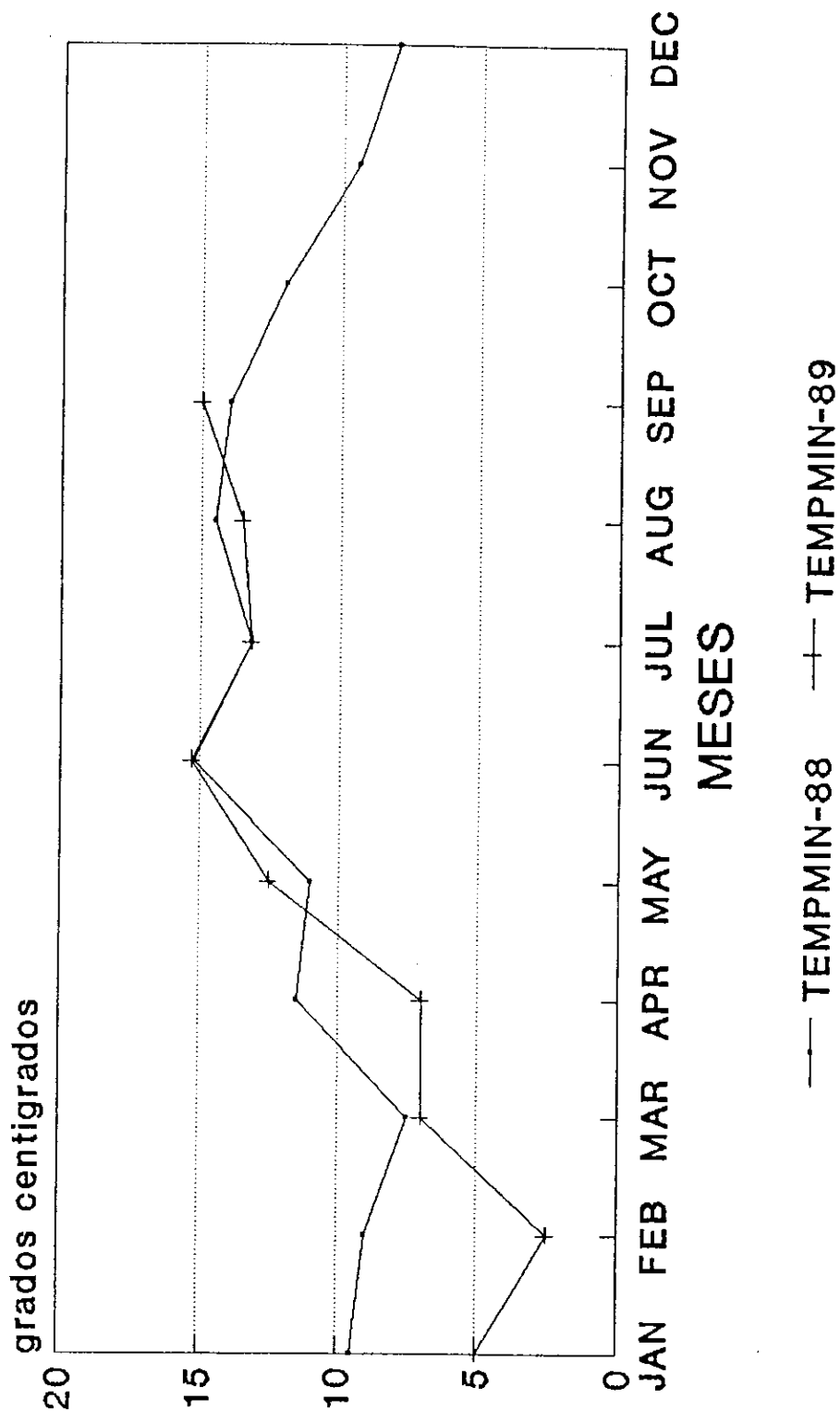
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
 DEP.:BAJA VERAPAZ MUN.:SAN JERONIMO  
 ELEVACION: 1000.00 msnm



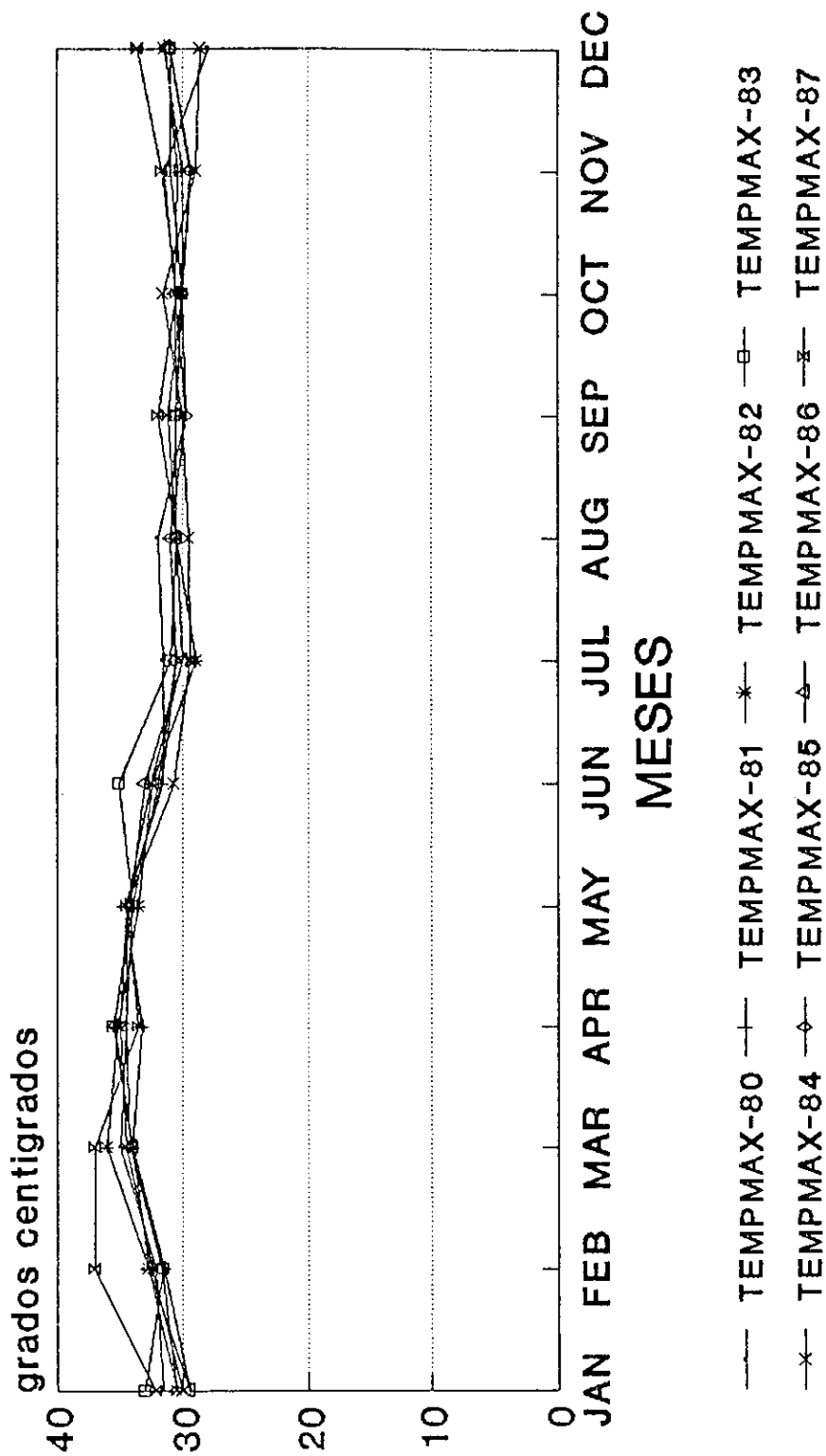
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
 DEP.:BAJA VERAPAZ MUN.:SAN JERONIMO  
 ELEVACION:1000.00 msnm.



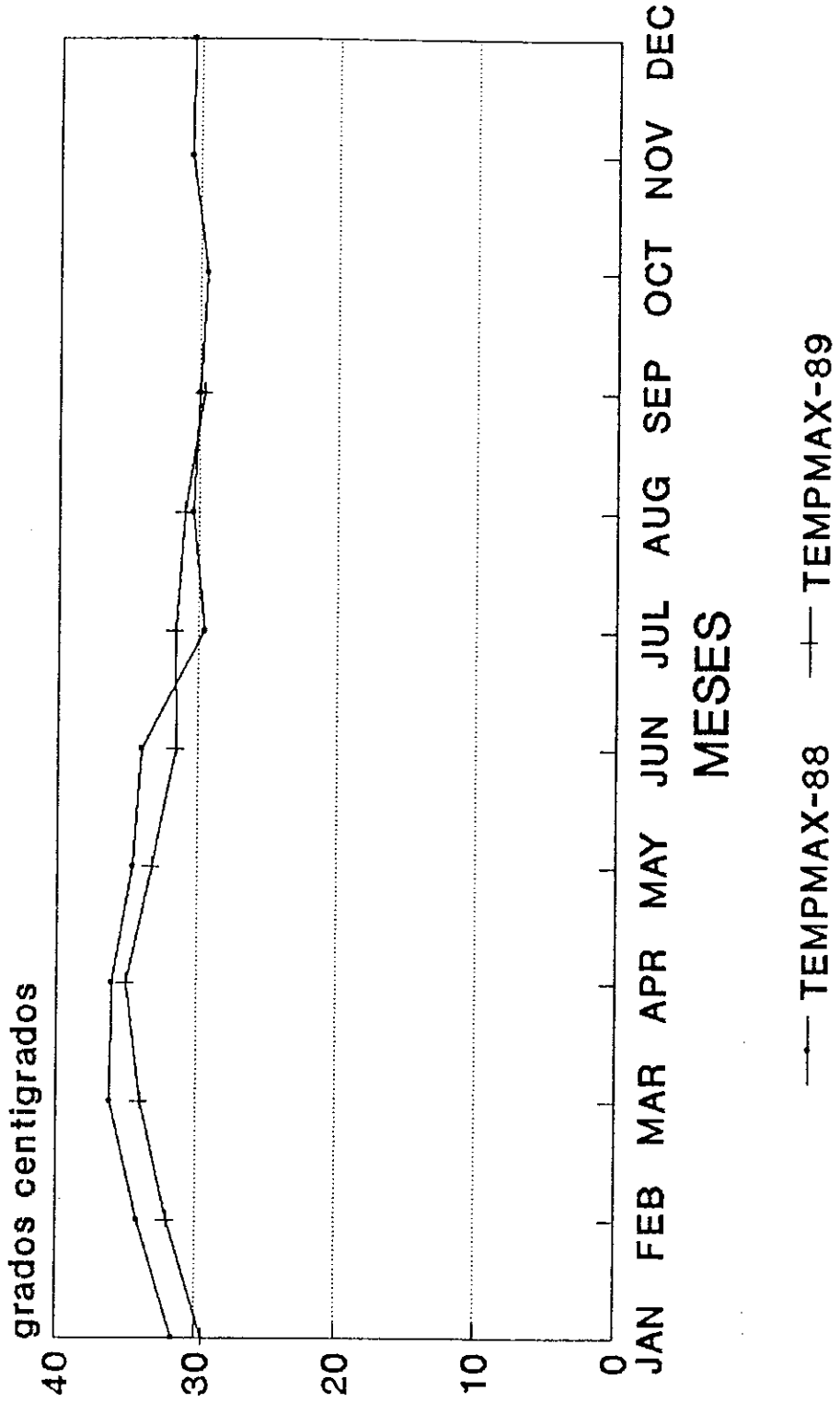
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:BAJA VERAPAZ MUN.:SAN JERONIMO  
 ELEVACION: 1000.00 msnm



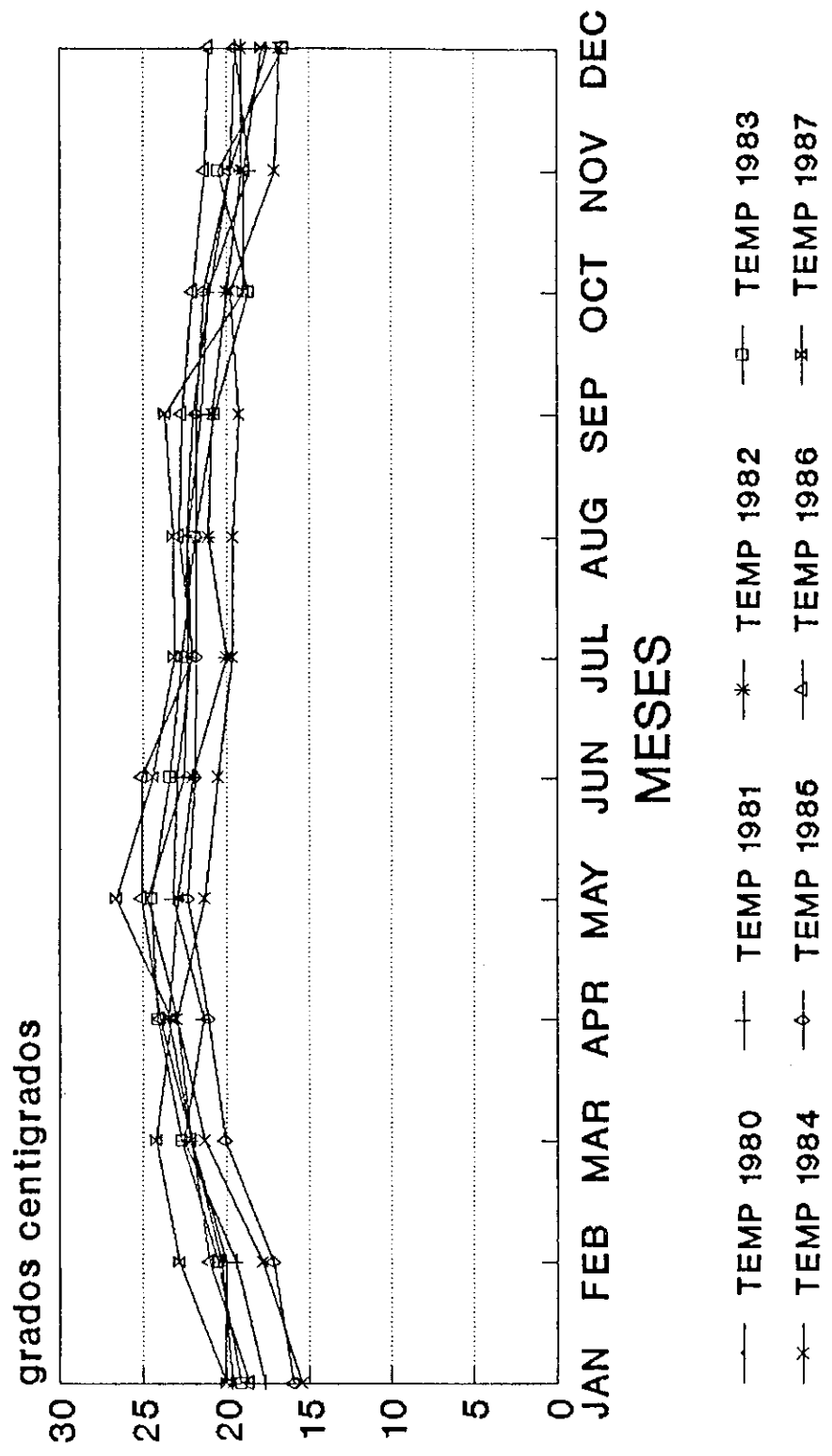
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:BAJA VERAPAZ MUN.:SAN JERONIMO  
 ELEVACION:1000.00 msnm



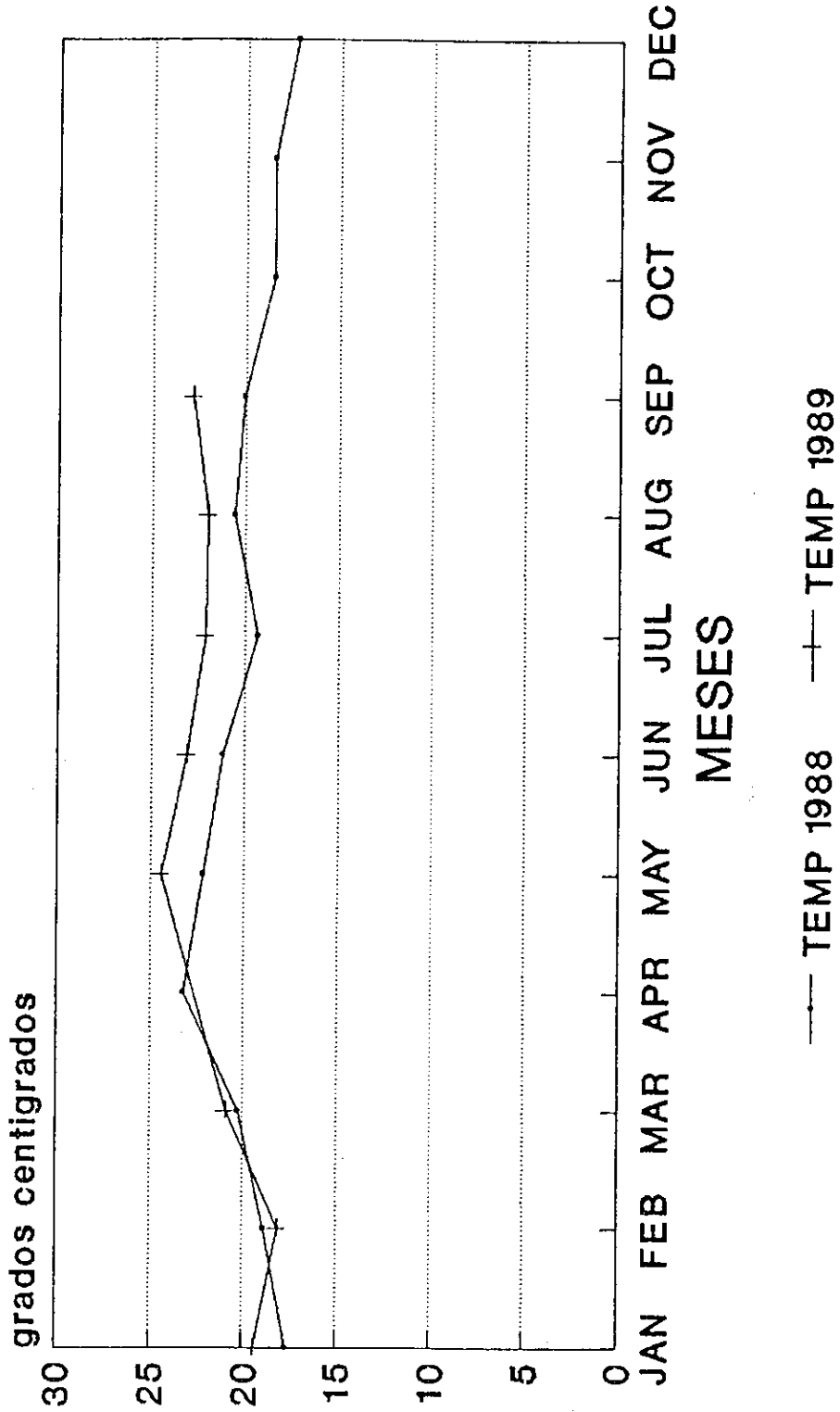
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: BAJA VERAPAZ MUN.: SAN JERONIMO  
 ELEVACION: 1000.00 msnm



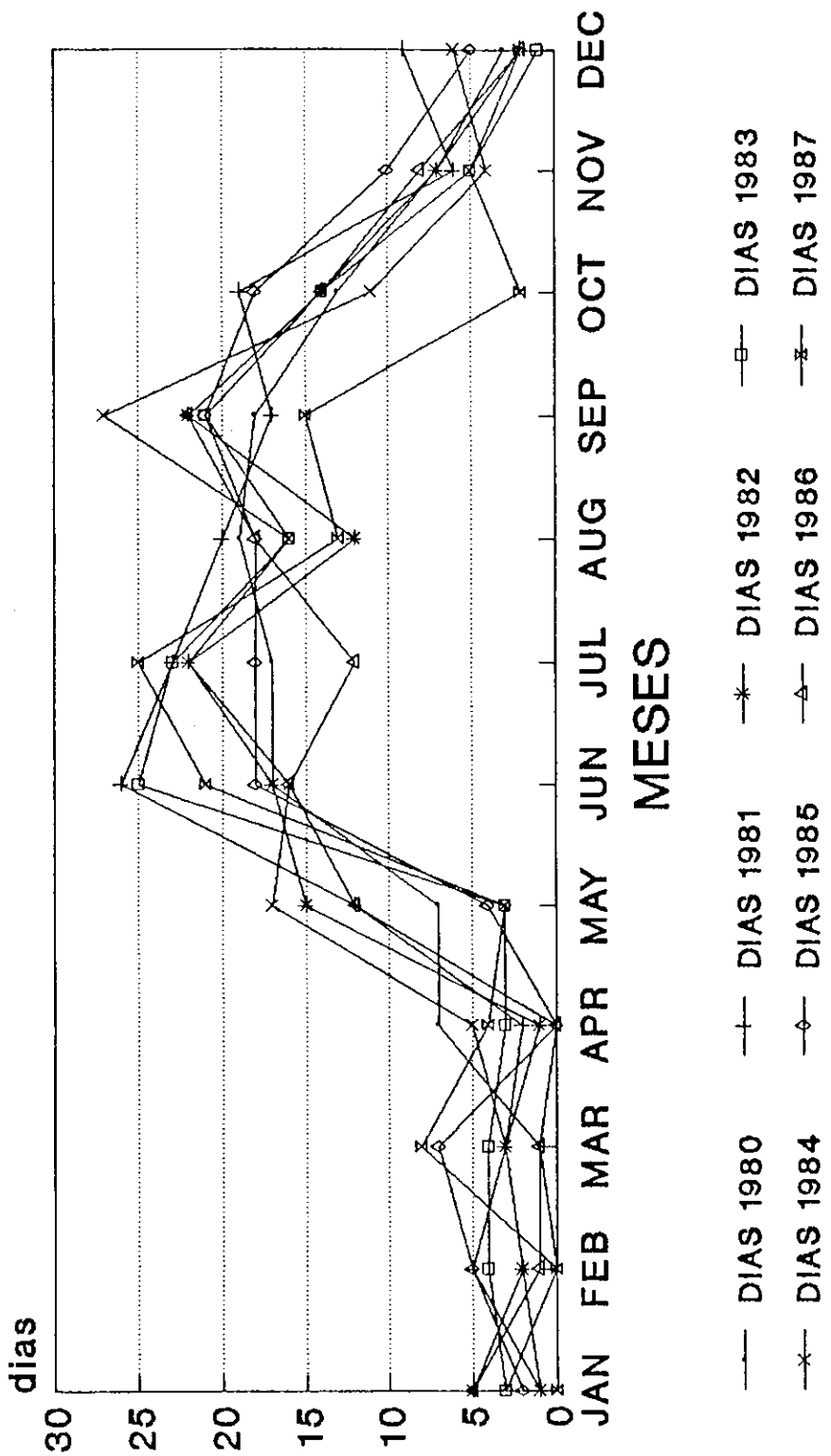
FUENTE: INSIVUMEH

TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: BAJA VERAPAZ MUN.: SAN JERONIMO  
 ELEVACION: 1000.00 msnm



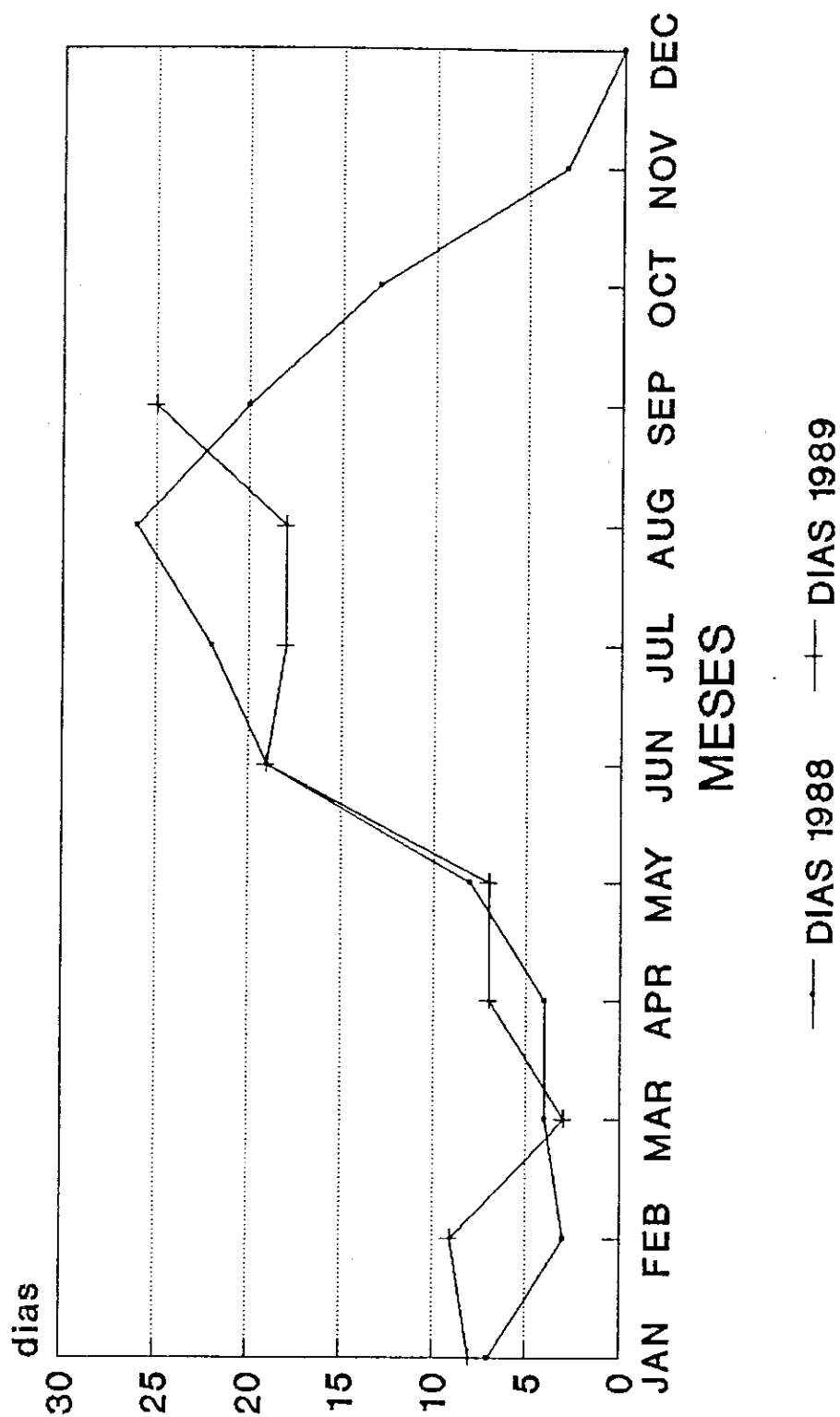
FUENTE: INSIVUMEH

DIAS DE PRECIPITACION  
 DEP.:BAJA VERAPAZ MUN.:SAN JERONIMO  
 ELEVACION: 1000.00 msnm



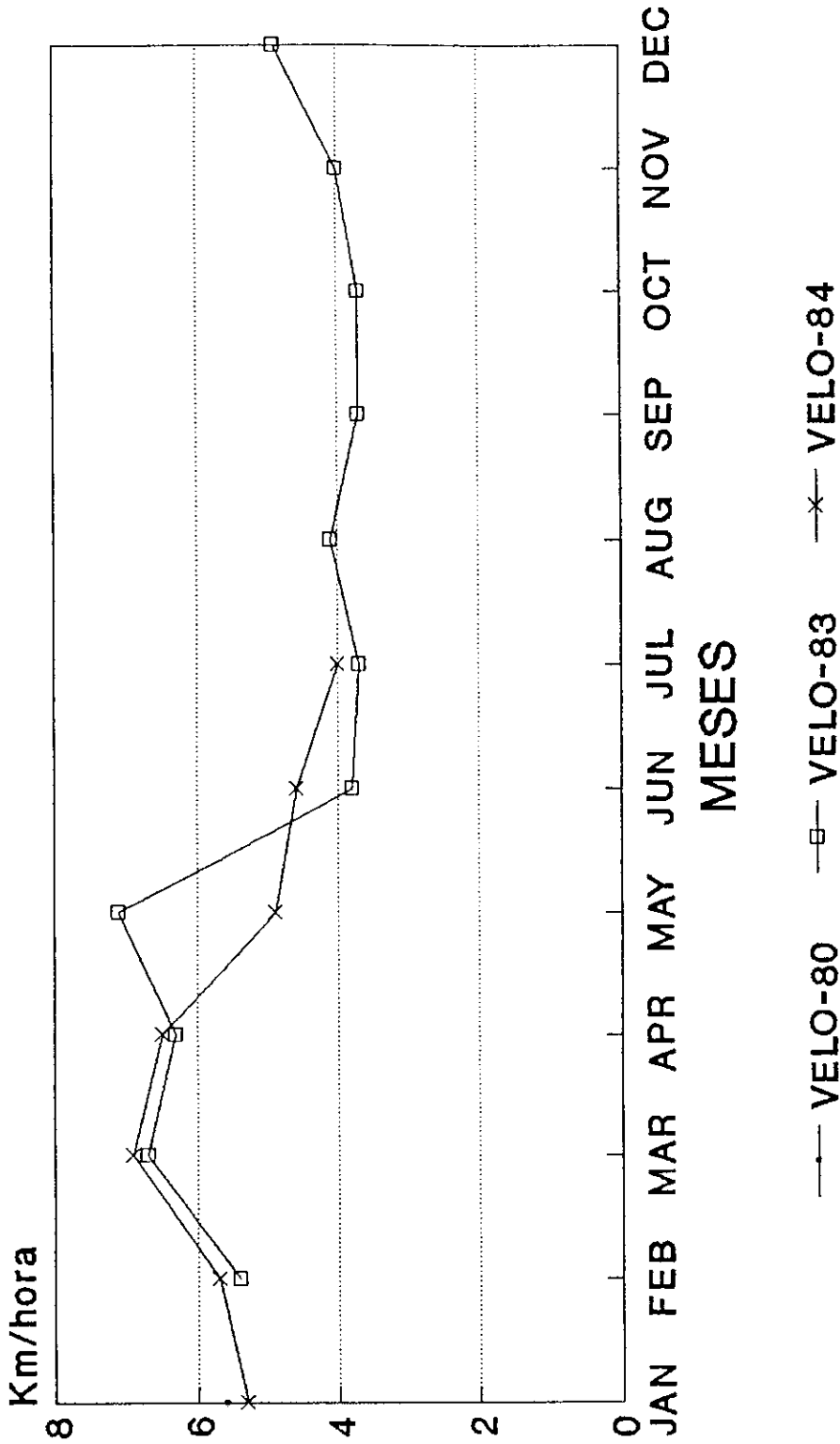
FUENTE:INSIVUMEH

DIAS DE PRECIPITACION  
 DEP.:BAJA VERAPAZ MUN.:SAN JERONIMO  
 ELEVACION: 1000.00 msnm



FUENTE:INSIVUMEH

VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO  
 DEP.:BAJA VERAPAZ MUN.:SAN JERONIMO  
 ELEVACION:1000.00 msnm

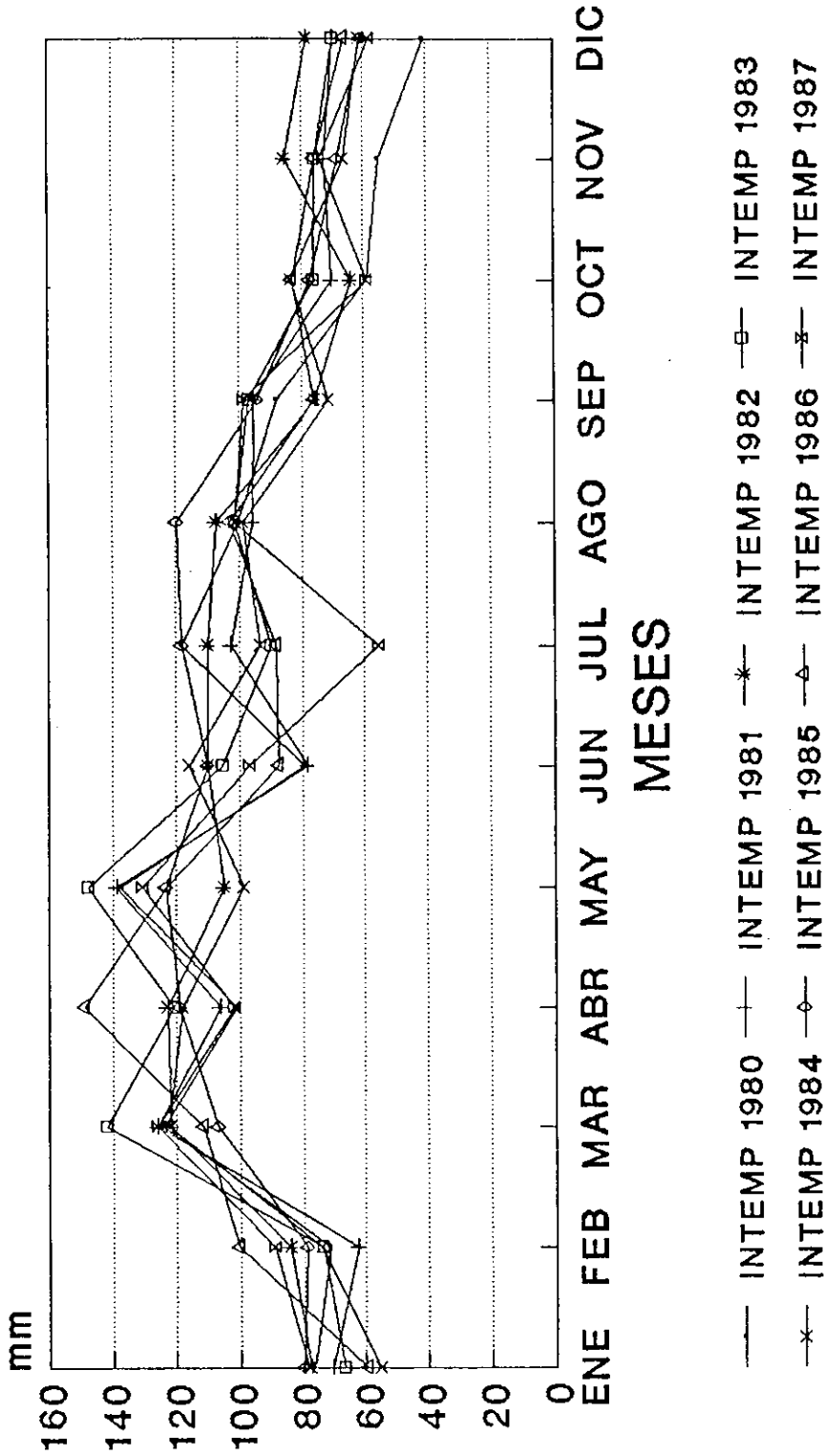


FUENTE:INSIVUMEH

## ALTA VERAPAZ

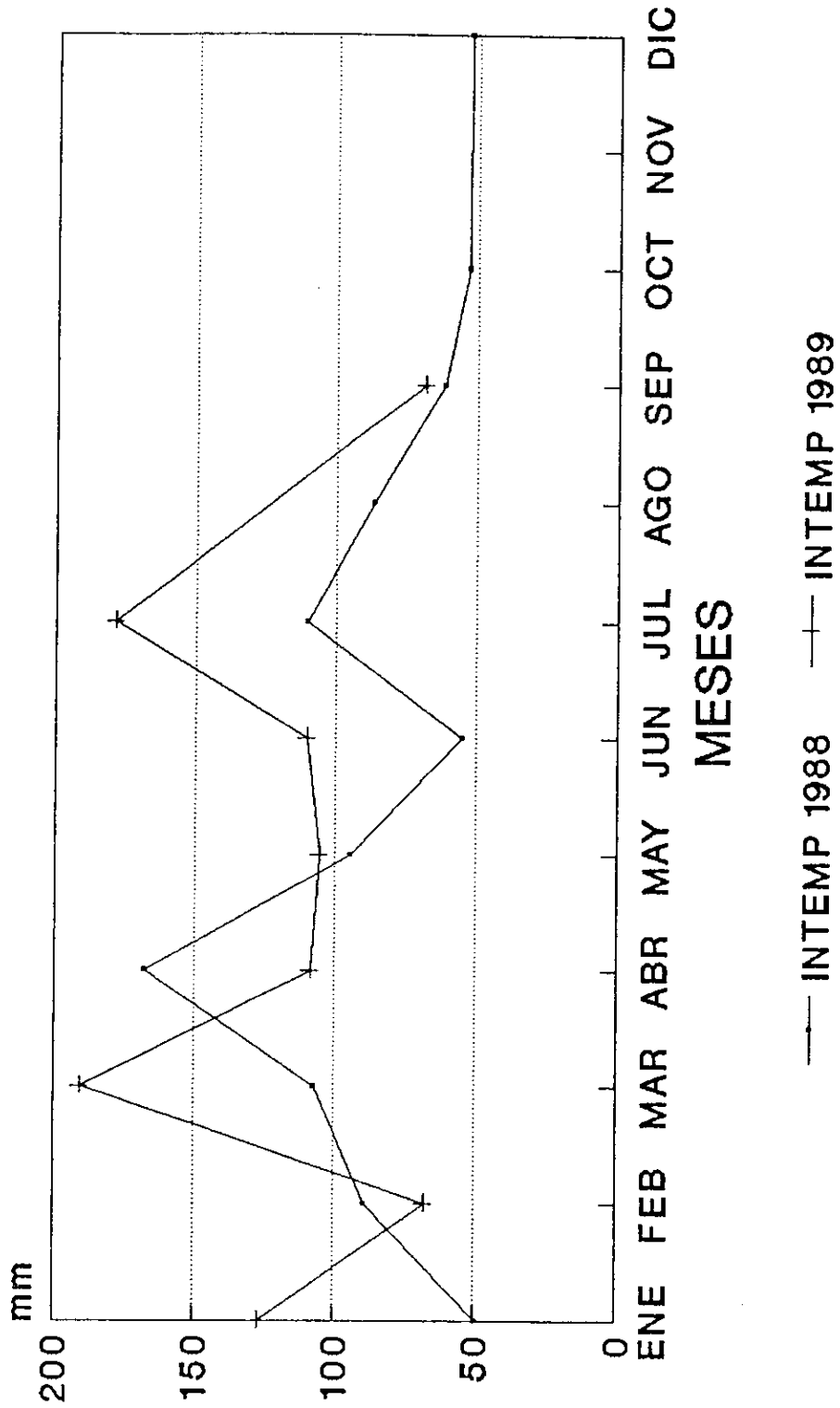
EVAPORACION A LA INTEMPERIE	44
EVAPORACION A LA SOMBRA	46
BRILLO SOLAR PROMEDIO	48
RADIACION SOLAR MEDIA	50
HUMEDAD RELATIVA MEDIA:PROMEDIO	52
PRECIPITACION TOTAL	54
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA	56
TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA	58
TEMPERATURA MEDIA:PROMEDIO	60
DIAS DE PRECIPITACION	62
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	64

EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



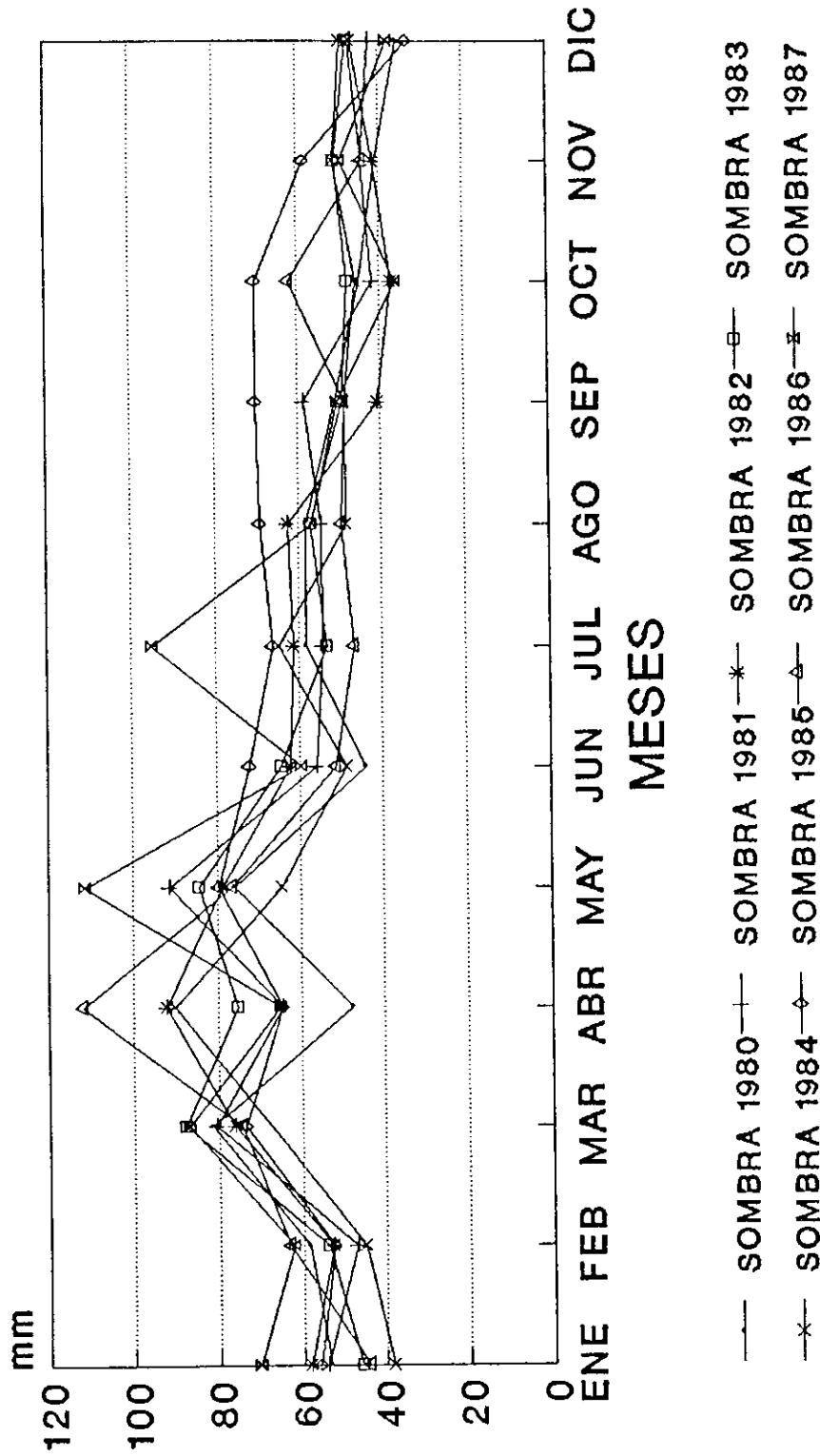
FUENTE:INSIVUMEH

EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION:1323.00 msnm



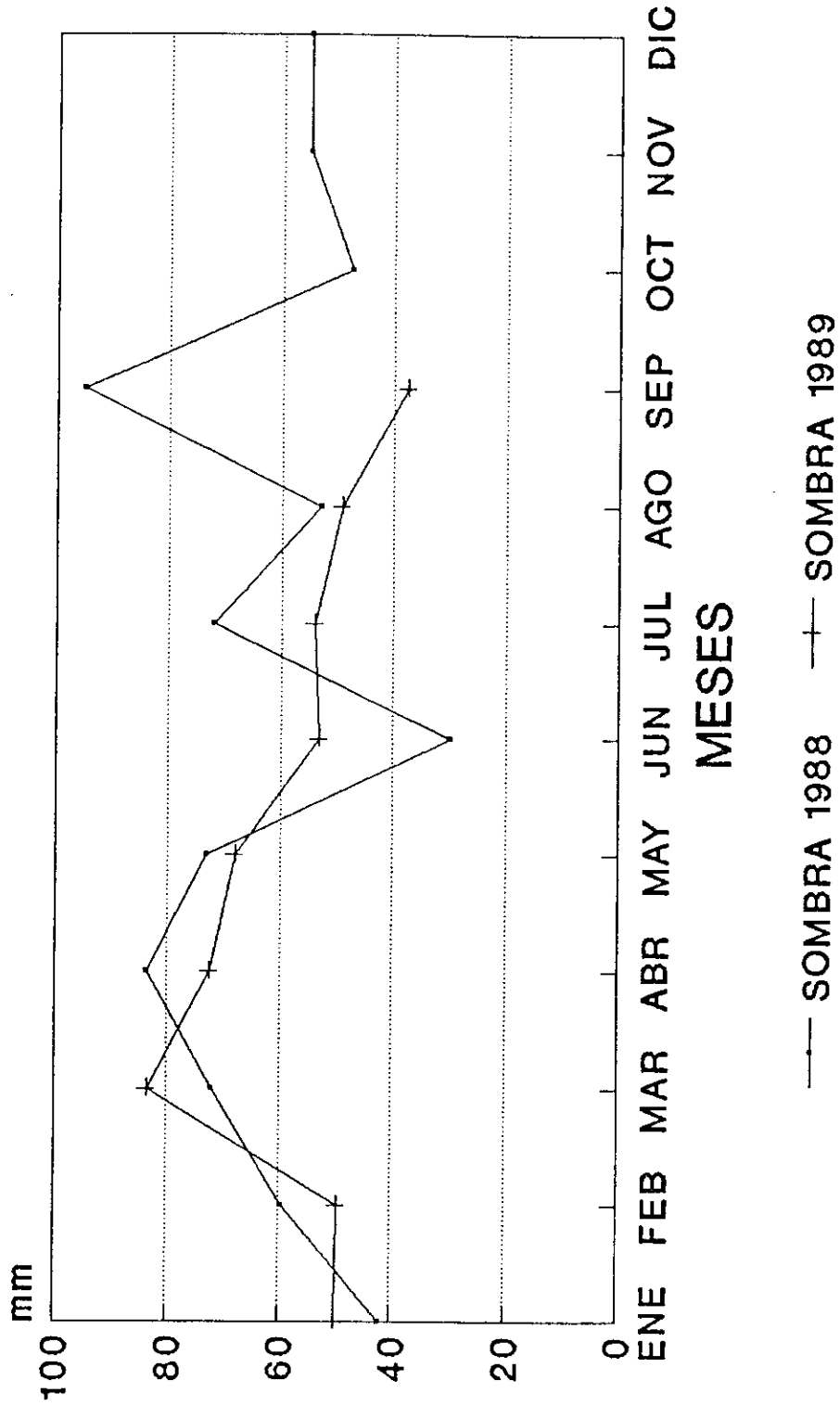
FUENTE:INSIVUMEH

EVAPORACION A LA SOMBRA  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



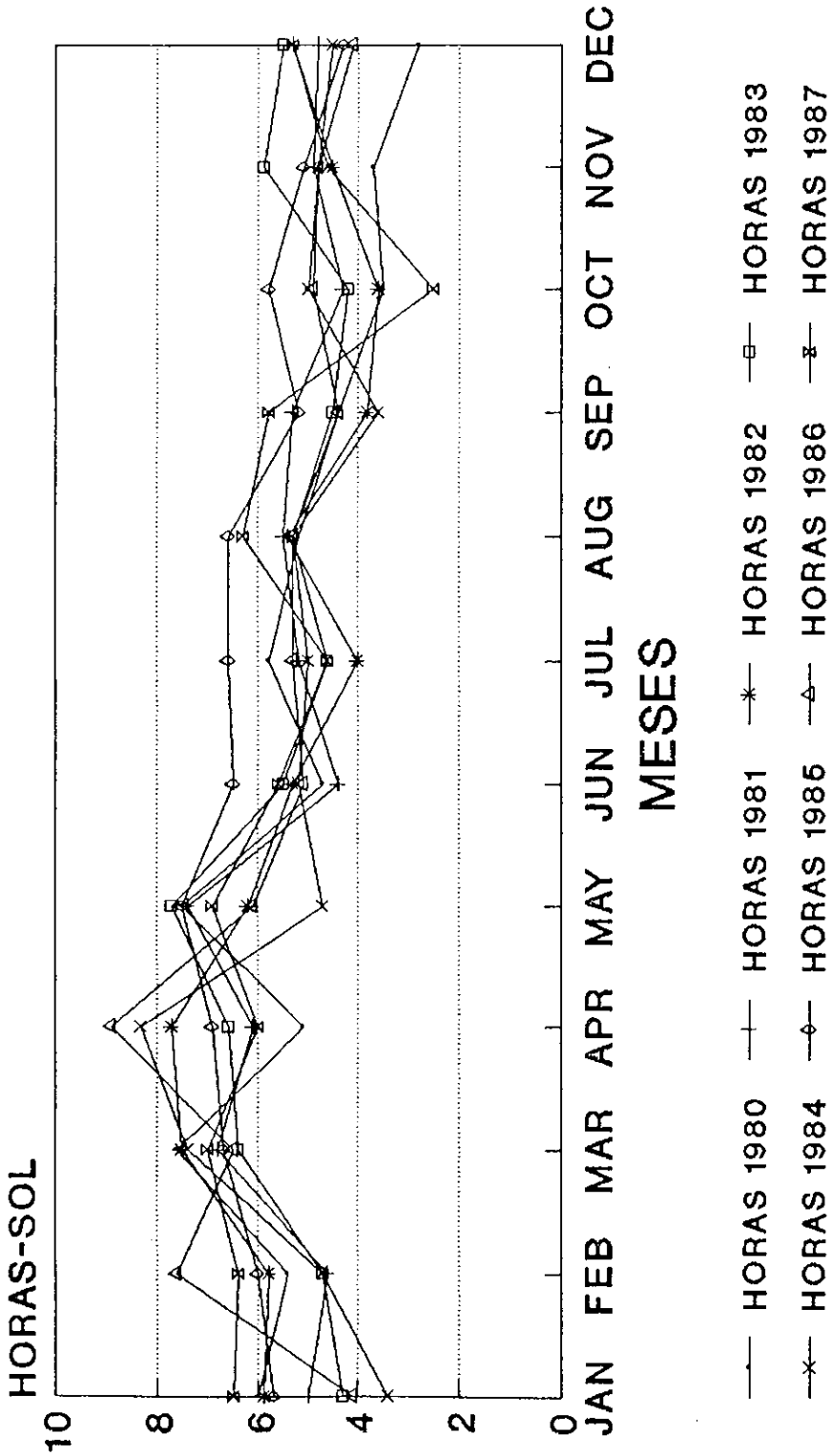
FUENTE:INSIVUMEH

EVAPORACION A LA SOMBRA  
 DEP.: ALTA VERAPAZ MUN.: COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



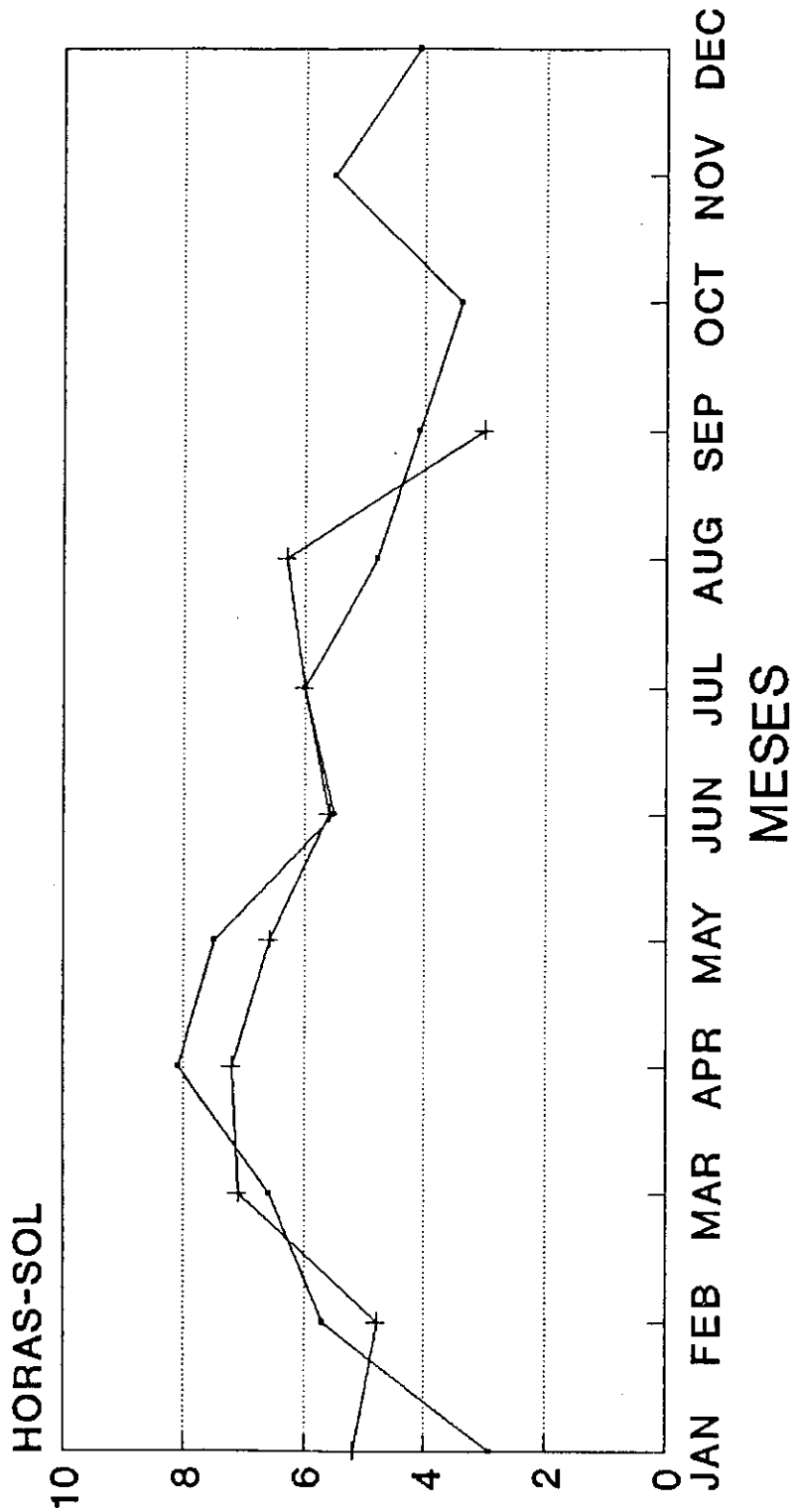
FUENTE:INSIVUMEH

BRILLO SOLAR PROMEDIO  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



FUENTE:INSIVUMEH

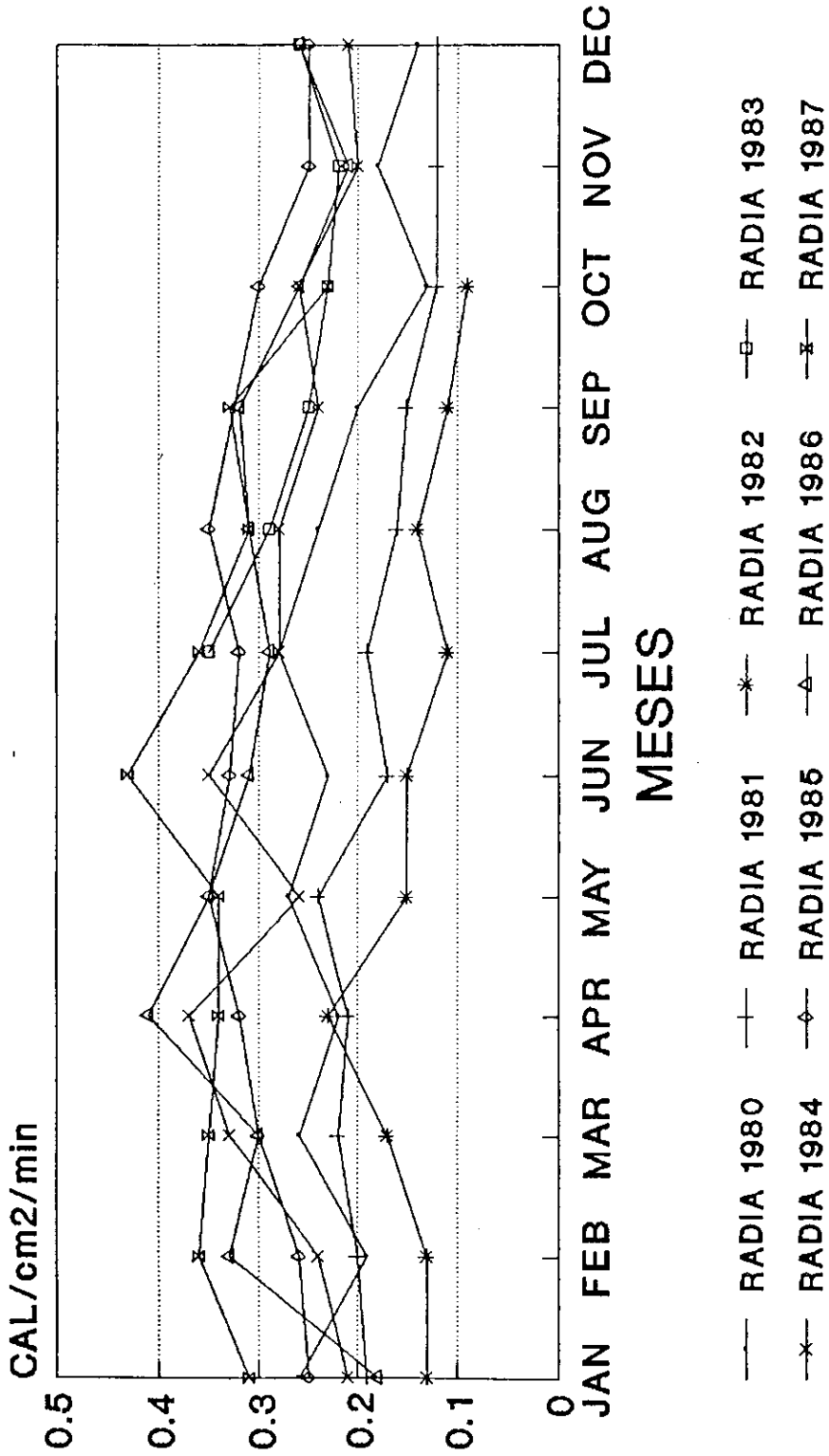
BRILLO SOLAR PROMEDIO  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



—+— HORAS 1988    - - - HORAS 1989

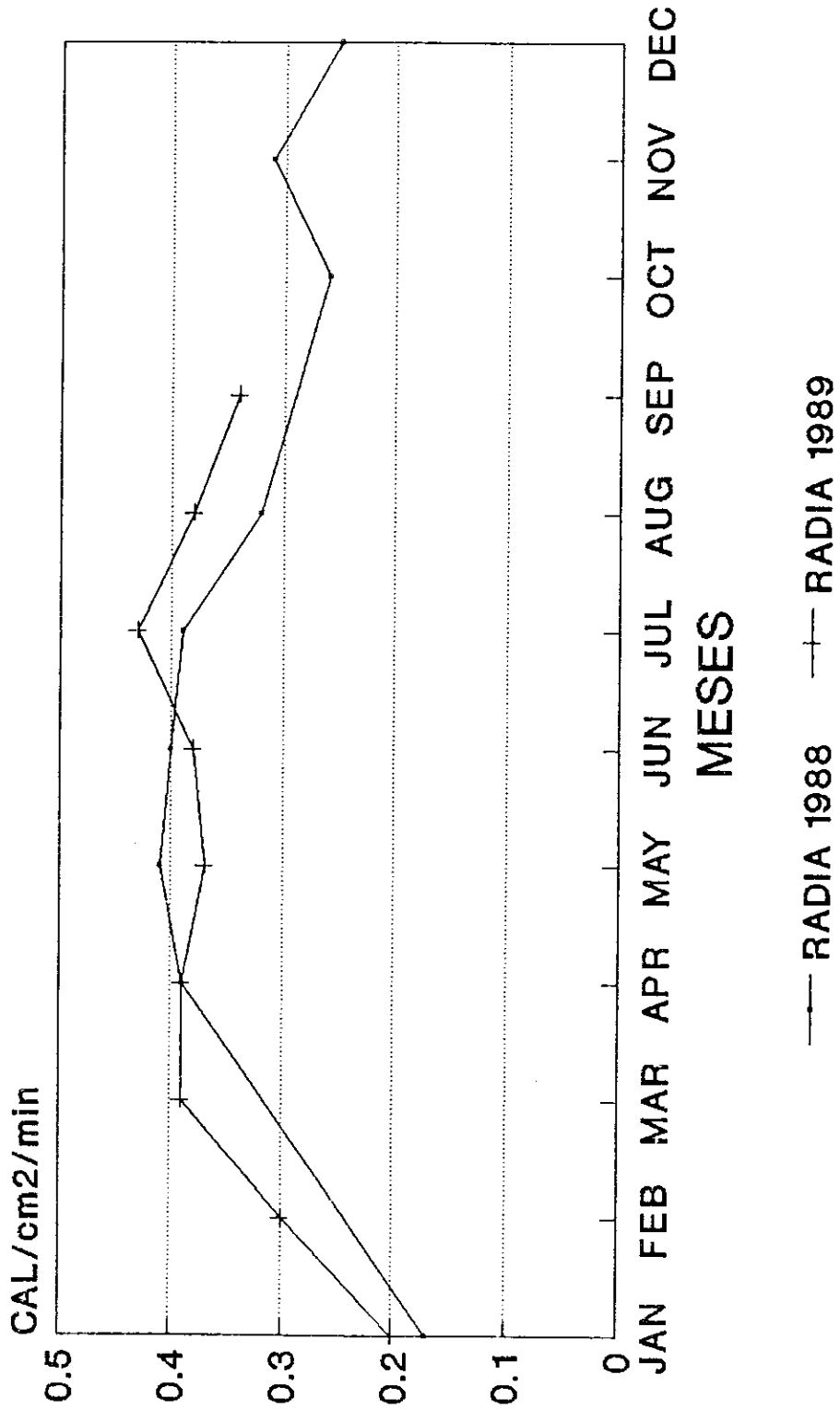
FUENTE:INSIVUMEH

RADIACION SOLAR MEDIA  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



FUENTE:INSIVUMEH

**RADIACION SOLAR MEDIA**  
**DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN**  
**ELEVACION: 1323.00 msnm**

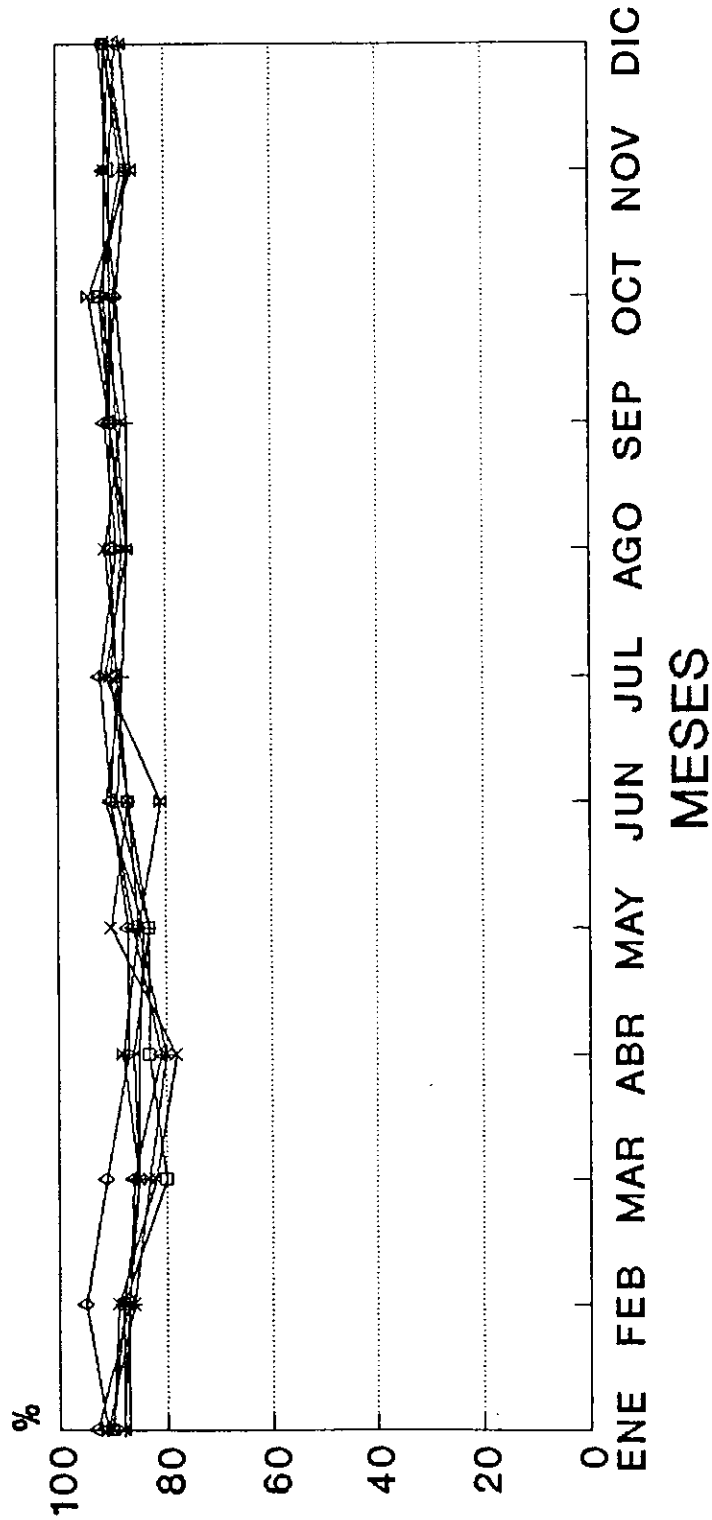


FUENTE:INSIVUMEH

# HUMEDAD RELATIVA MEDIA: PROMEDIO

DEP.: ALTA VERAPAZ MUN.: COBAN

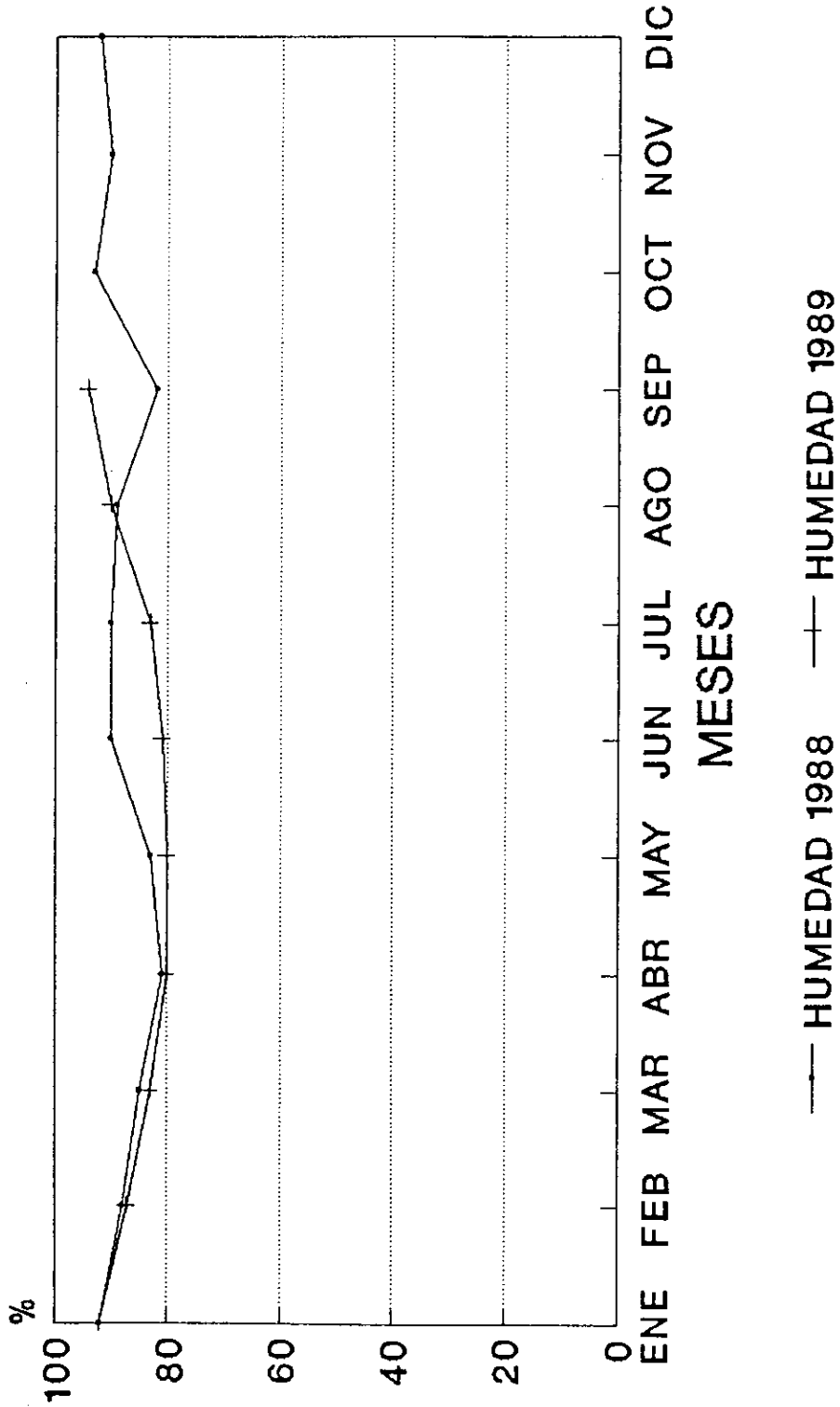
ELEVACION: 1323.00 msnm



- HUMEDAD 1980 — HUMEDAD 1981\* — HUMEDAD 1982<sup>o</sup> — HUMEDAD 1983
- x — HUMEDAD 1984 — HUMEDAD 1985 — HUMEDAD 1986<sup>o</sup> — HUMEDAD 1987

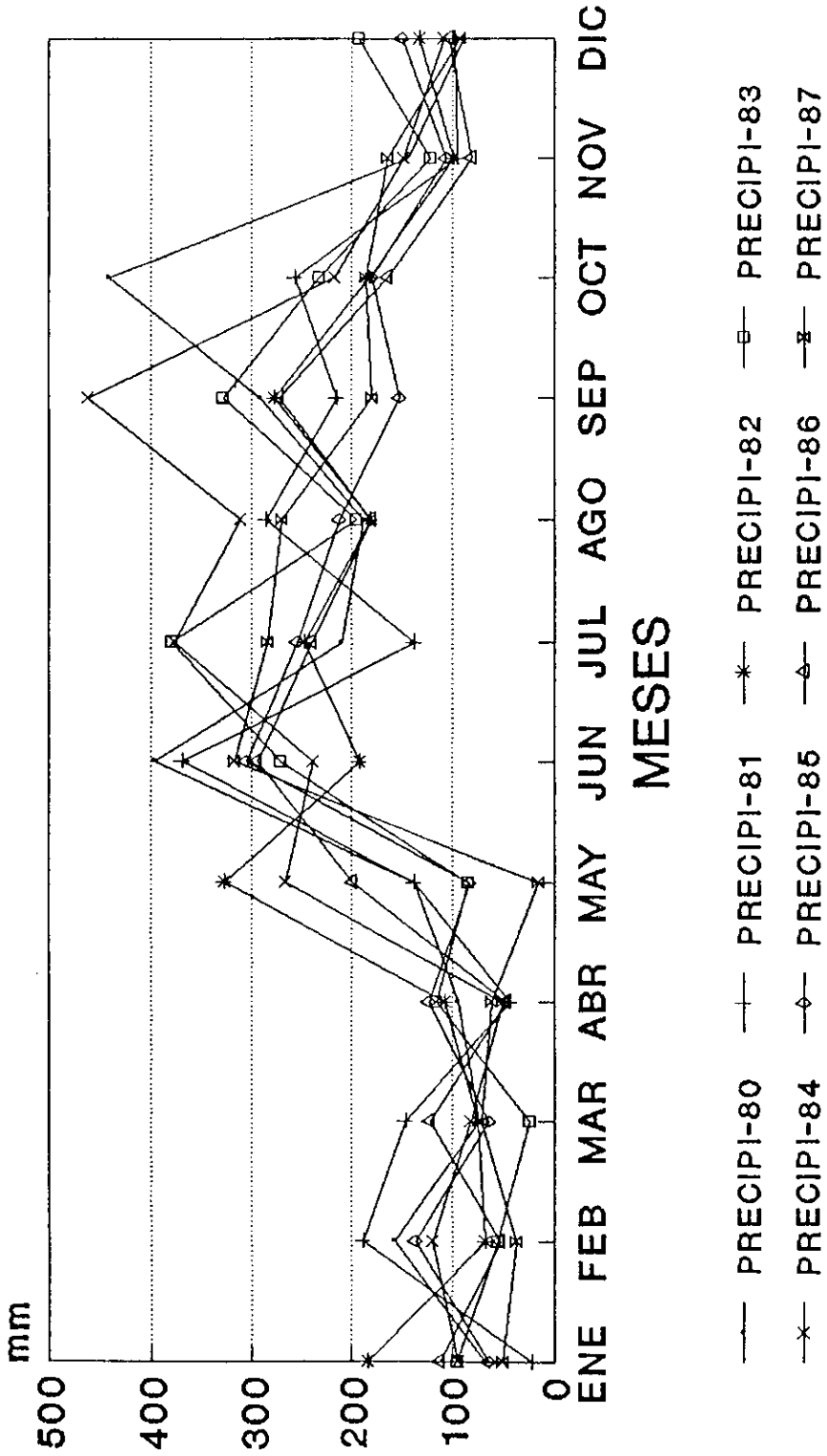
FUENTE: INSIVUMEH

HUMEDAD RELATIVA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: ALTA VERAPAZ MUN.: COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



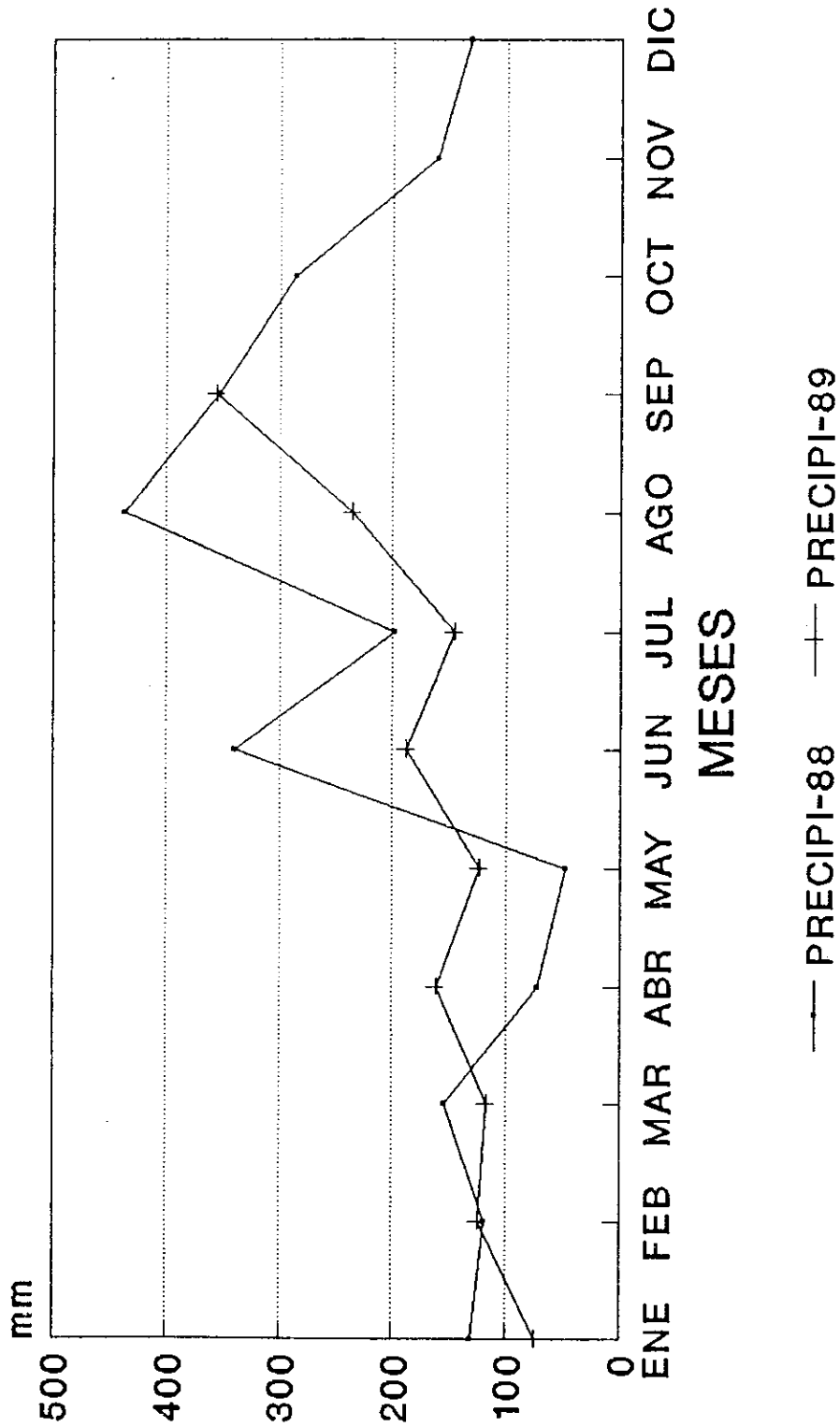
FUENTE: INSIVUMEH

PRECIPITACION TOTAL  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



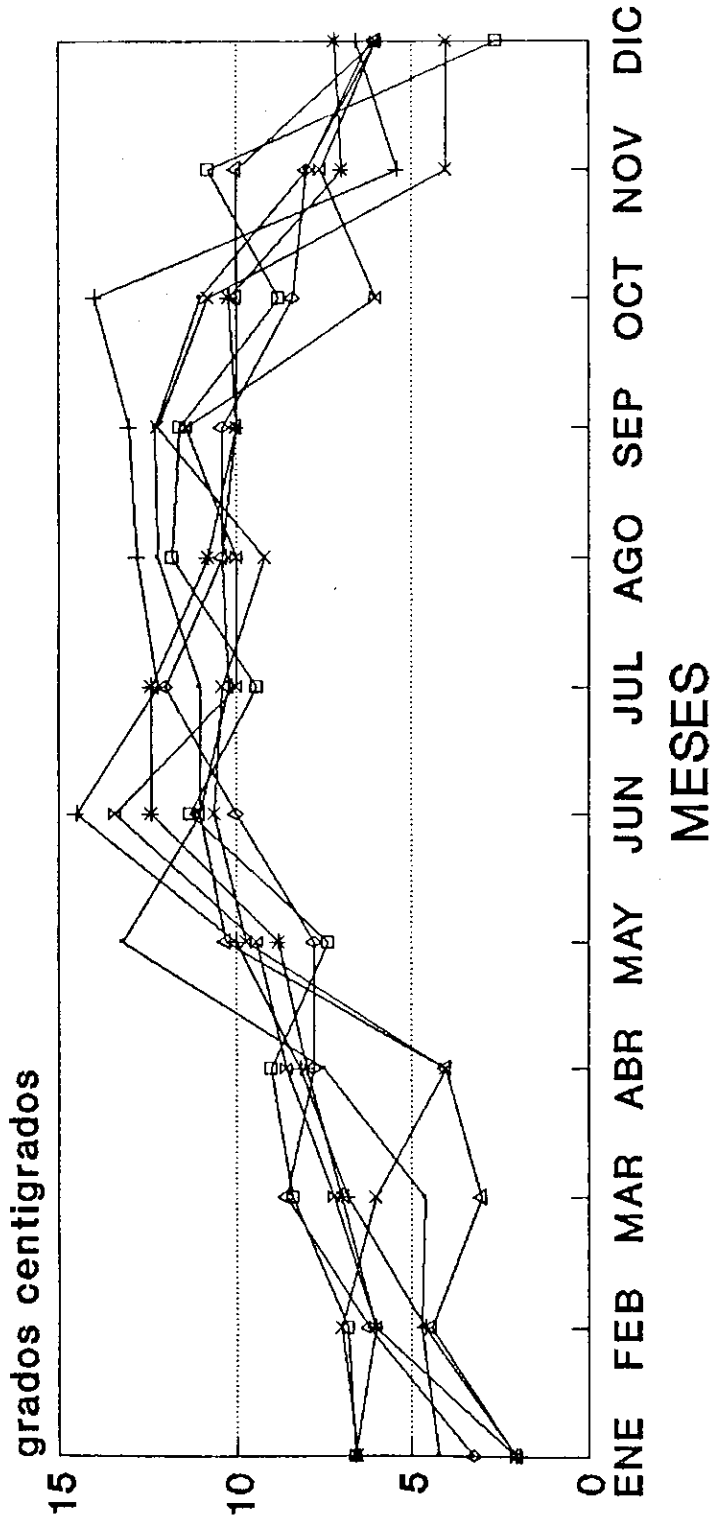
FUENTE:INSIVUMEH

PRECIPITACION TOTAL  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



FUENTE:INSIVUMEH

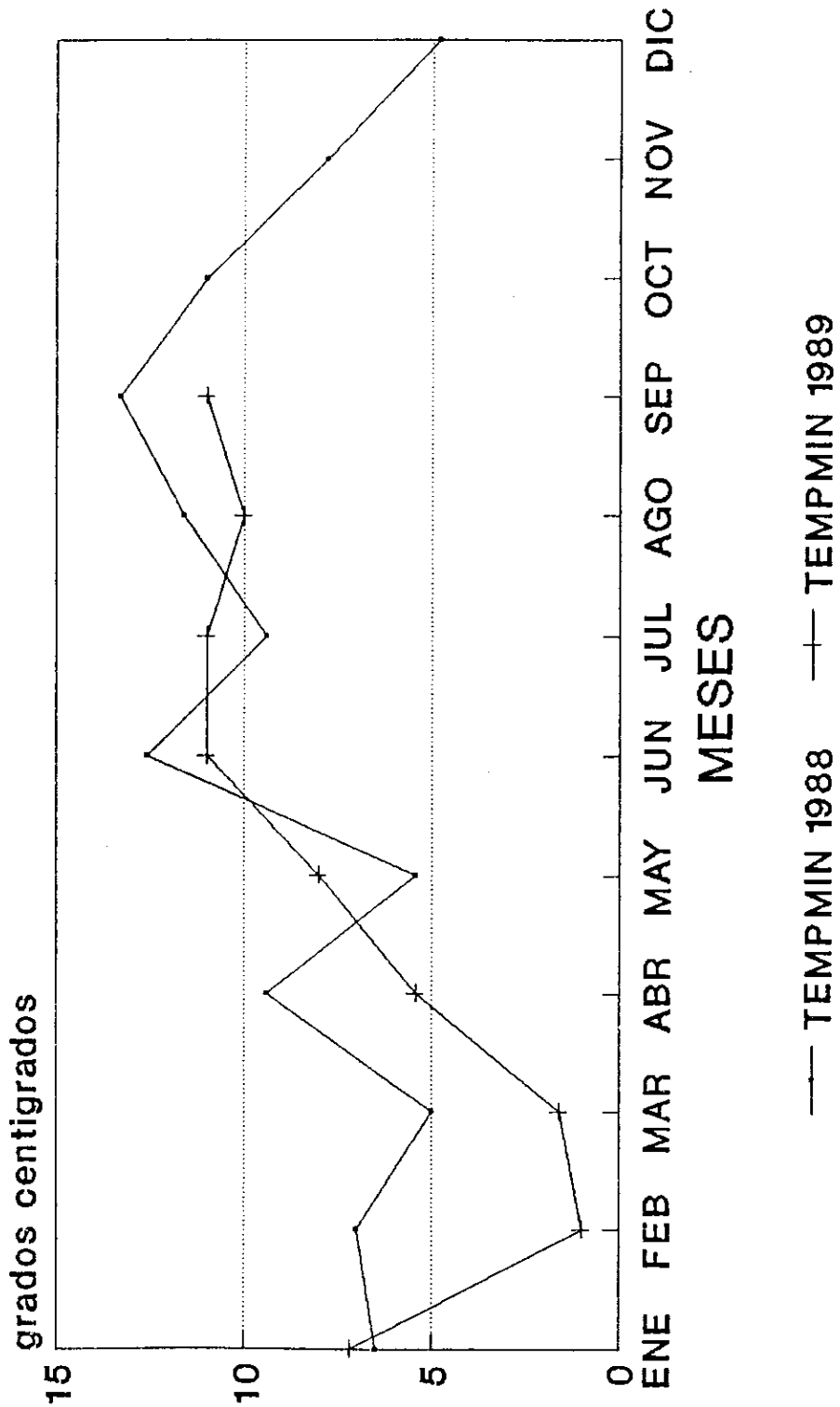
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



- +— TEMPMIN 1980 —\*— TEMPMIN 1981 —□— TEMPMIN 1982 —△— TEMPMIN 1983
- x— TEMPMIN 1984 —◇— TEMPMIN 1985 —x— TEMPMIN 1986 —x— TEMPMIN 1987

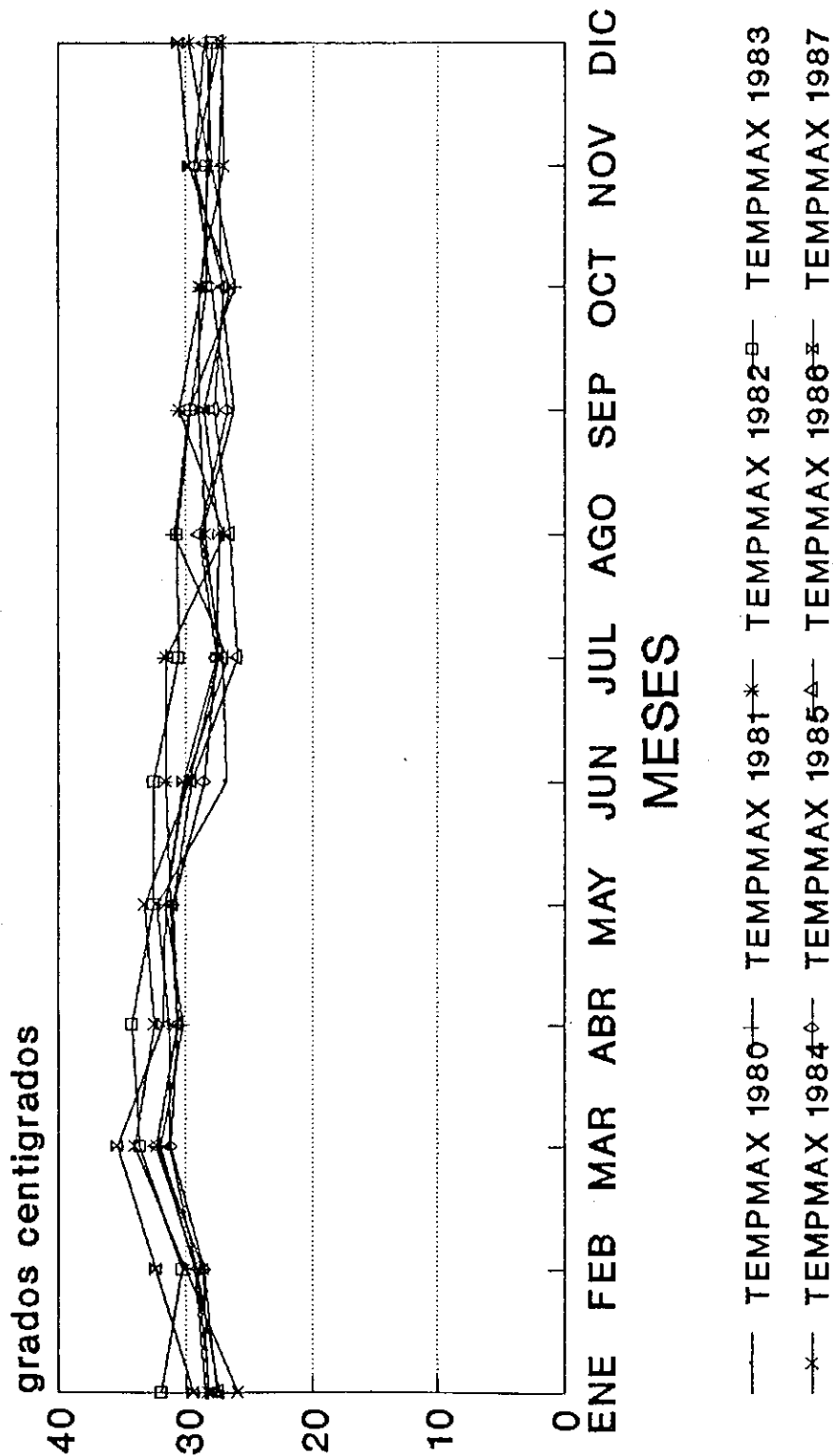
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



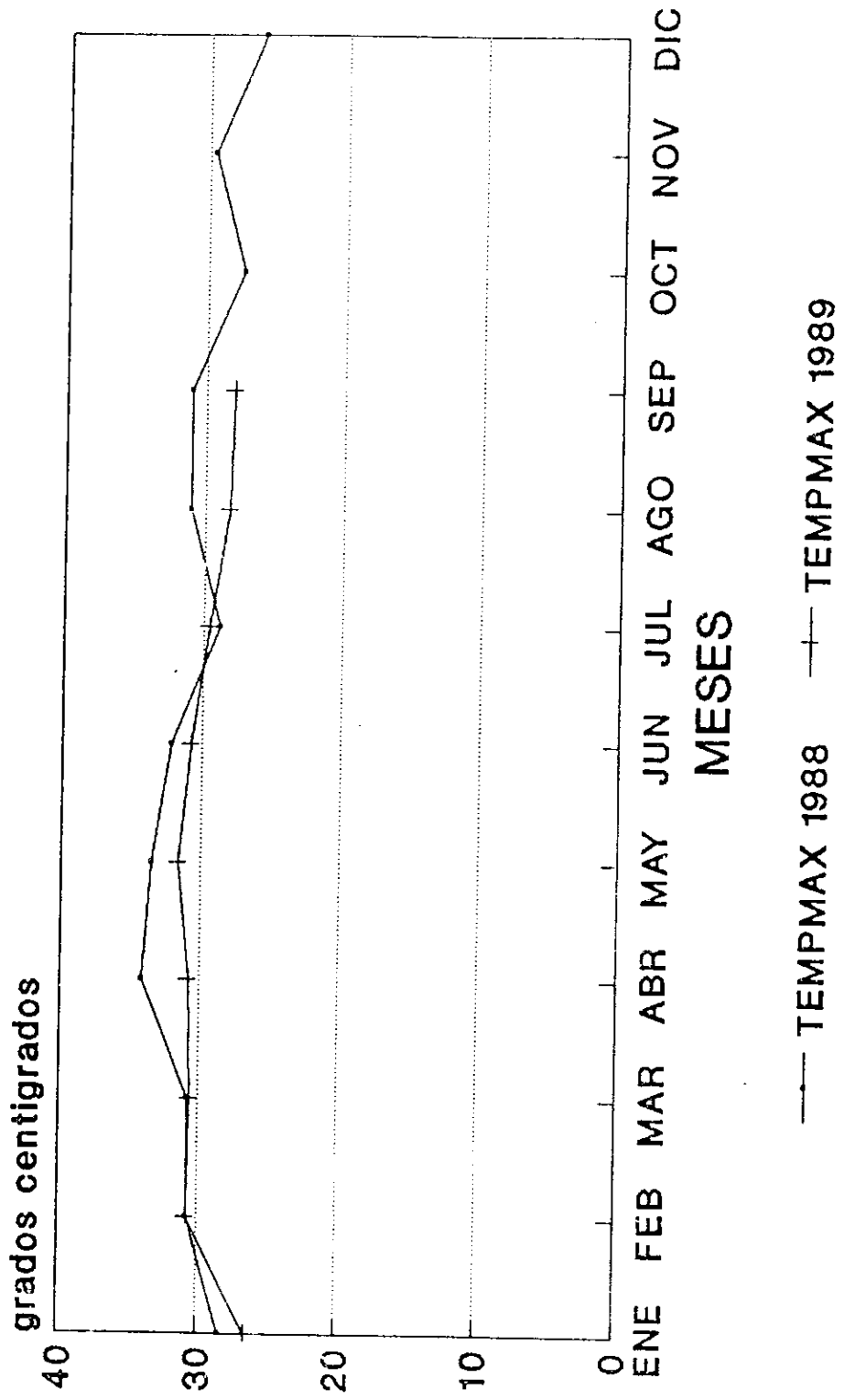
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm

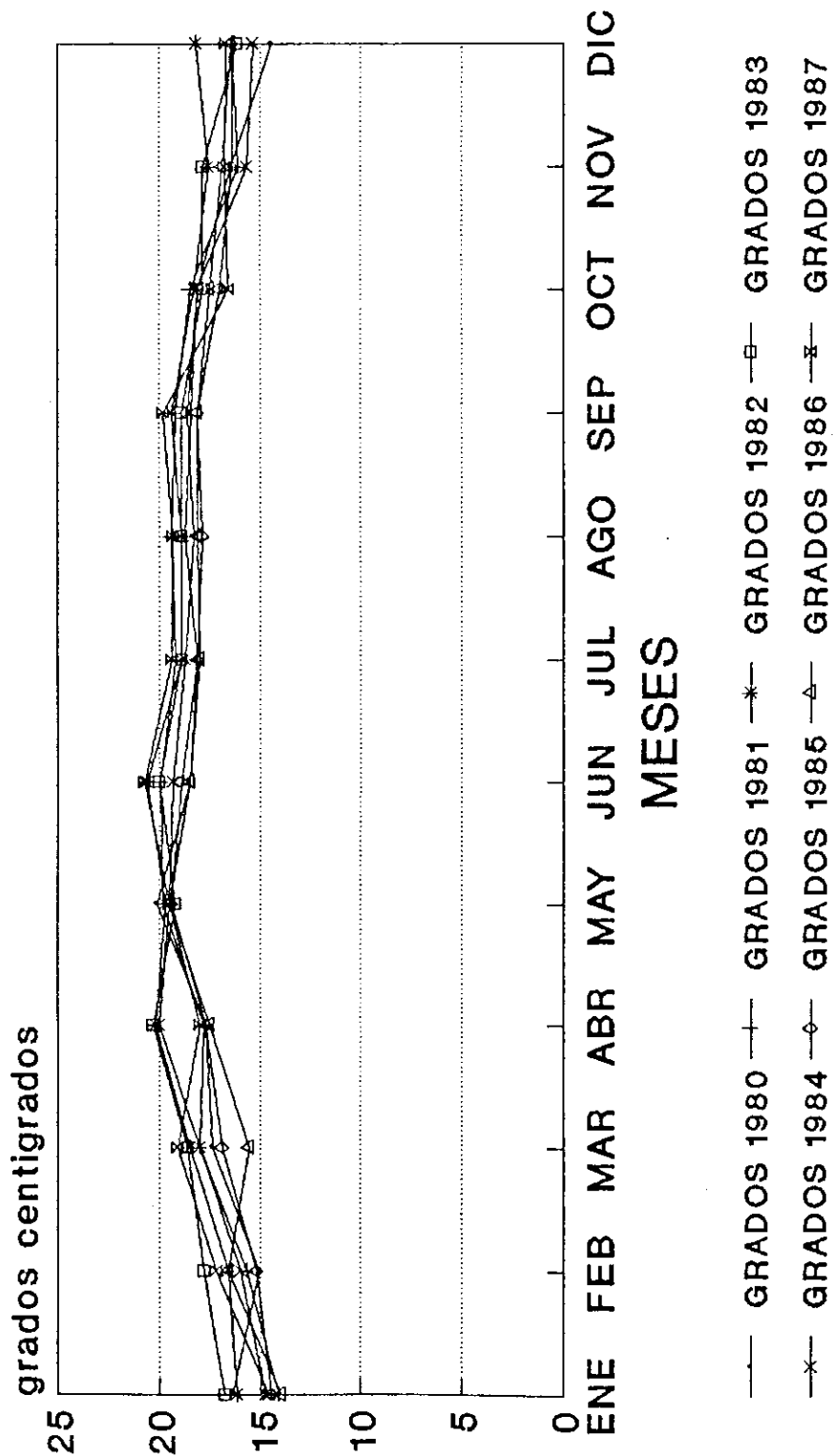


FUENTE: INSIVUMEH

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
ELEVACION: 1323.00 msnm

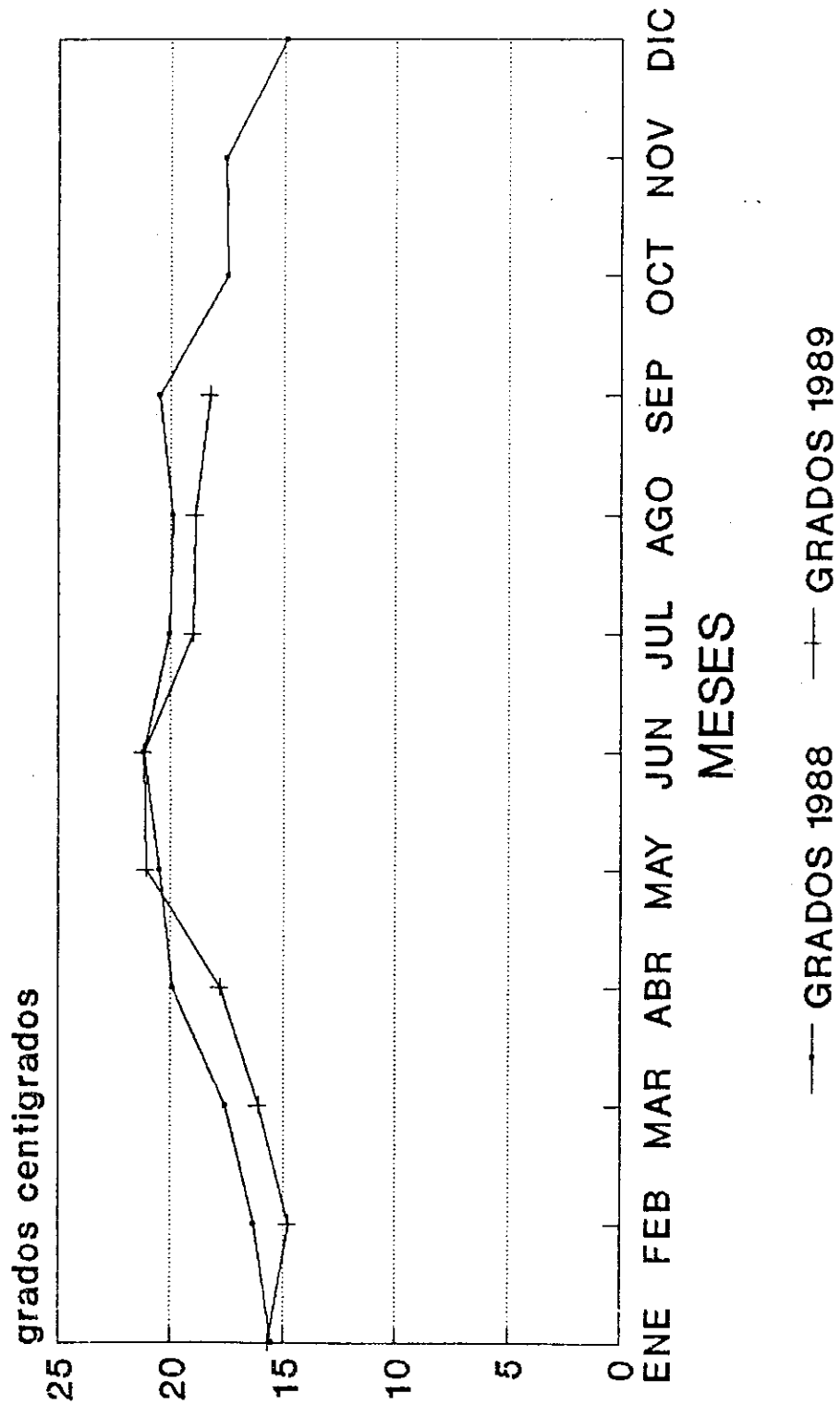


TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: ALTA VERAPAZ MUN.: COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



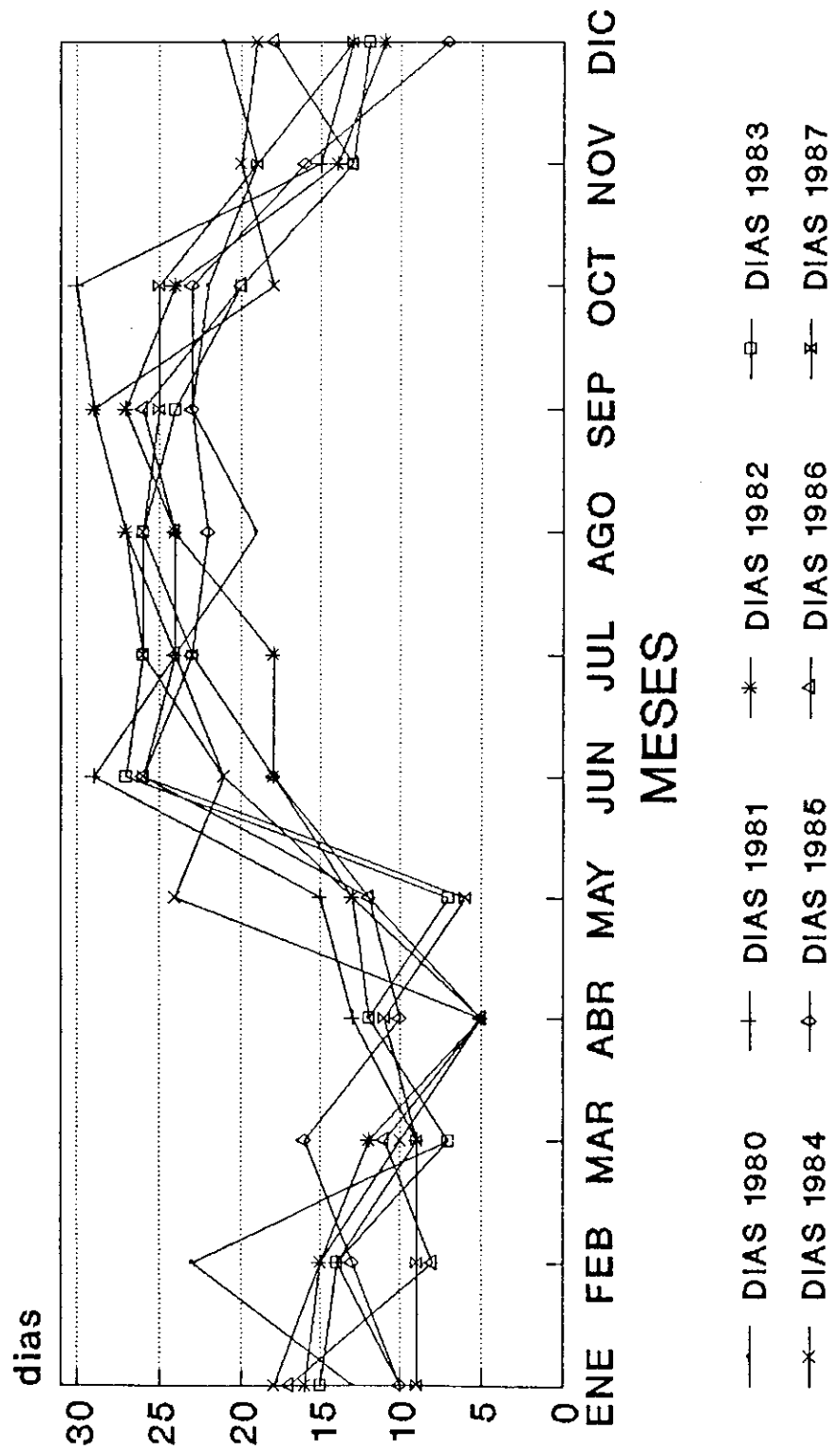
FUENTE: INSIVUMEH

TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: ALTA VERAPAZ MUN.: COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



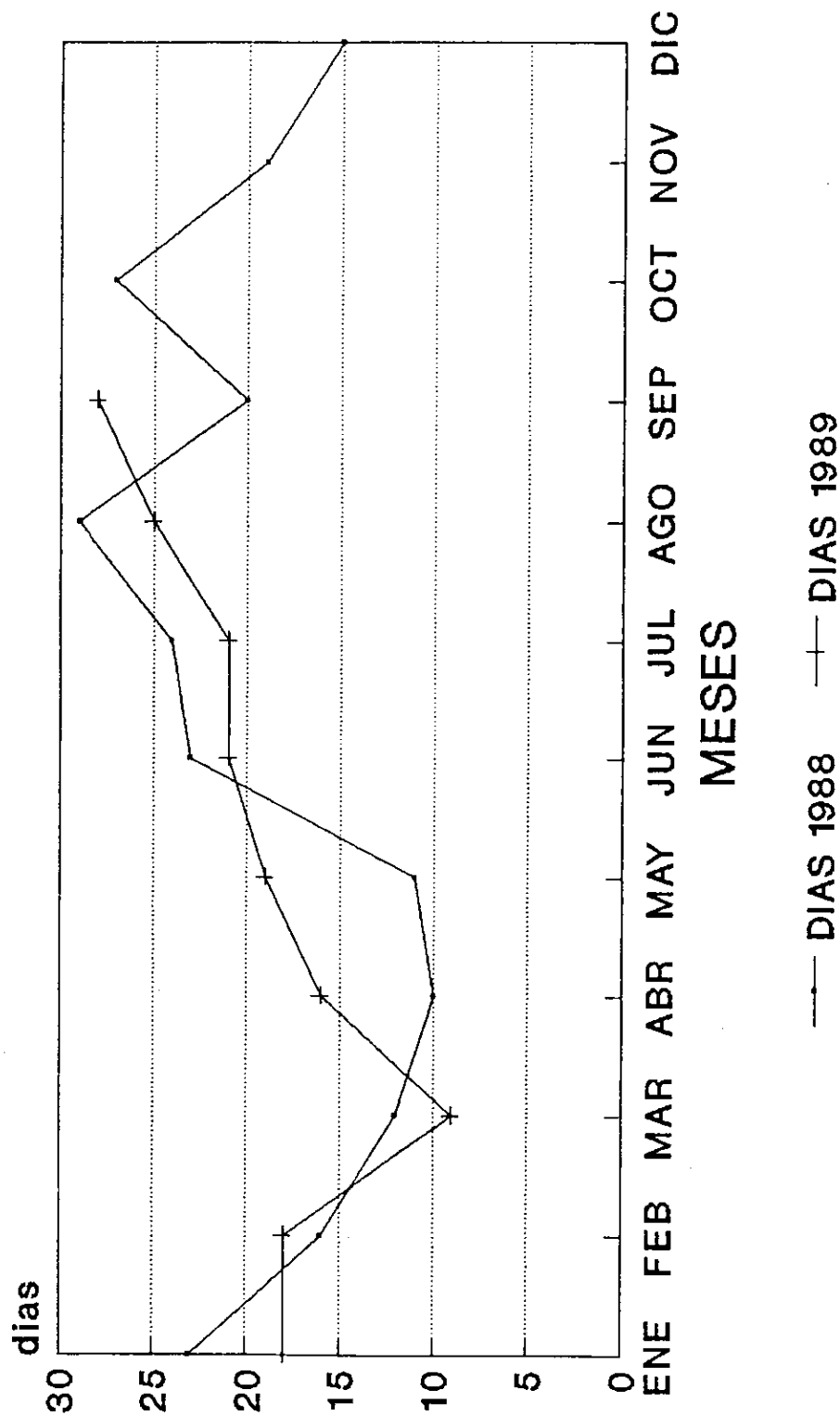
FUENTE: INSIVUMEH

DIAS DE PRECIPITACION  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



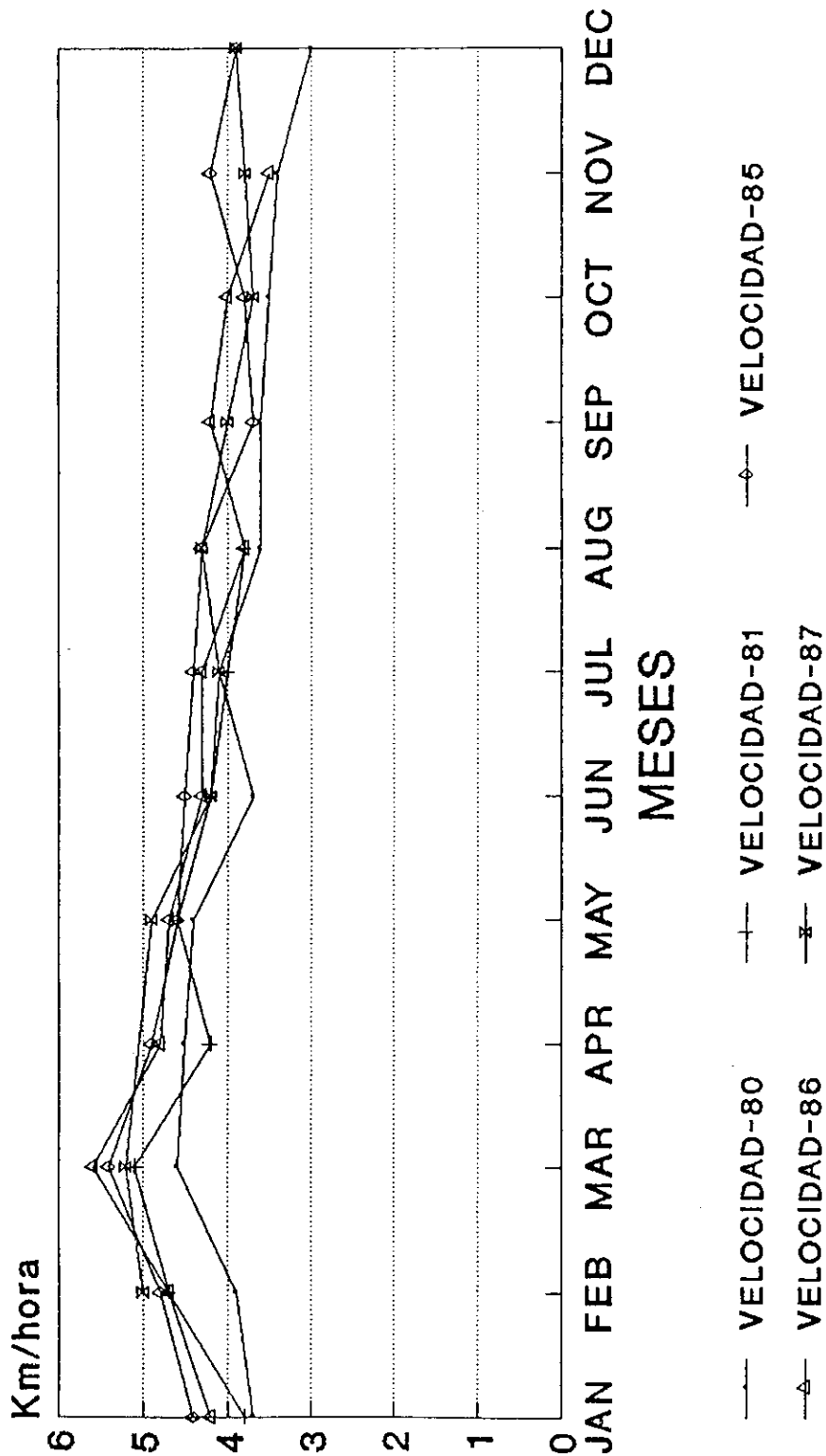
FUENTE:INSIVUMEH

DIAS DE PRECIPITACION  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



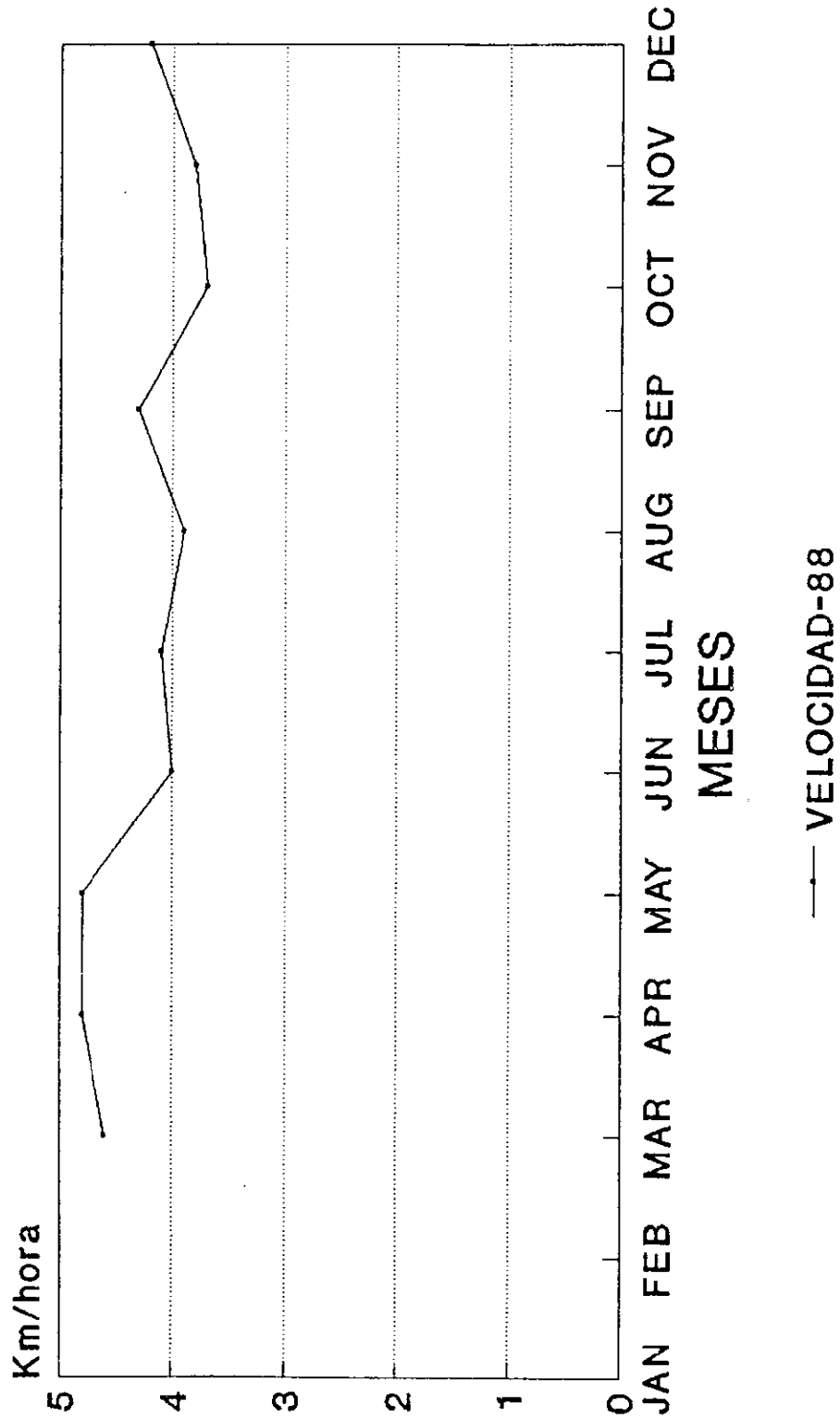
FUENTE:INSIVUMEH

VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO  
 DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
 ELEVACION: 1323.00 msnm



FUENTE:INSIVUMEH

VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO  
DEP.:ALTA VERAPAZ MUN.:COBAN  
ELEVACION: 1323.00 msnm

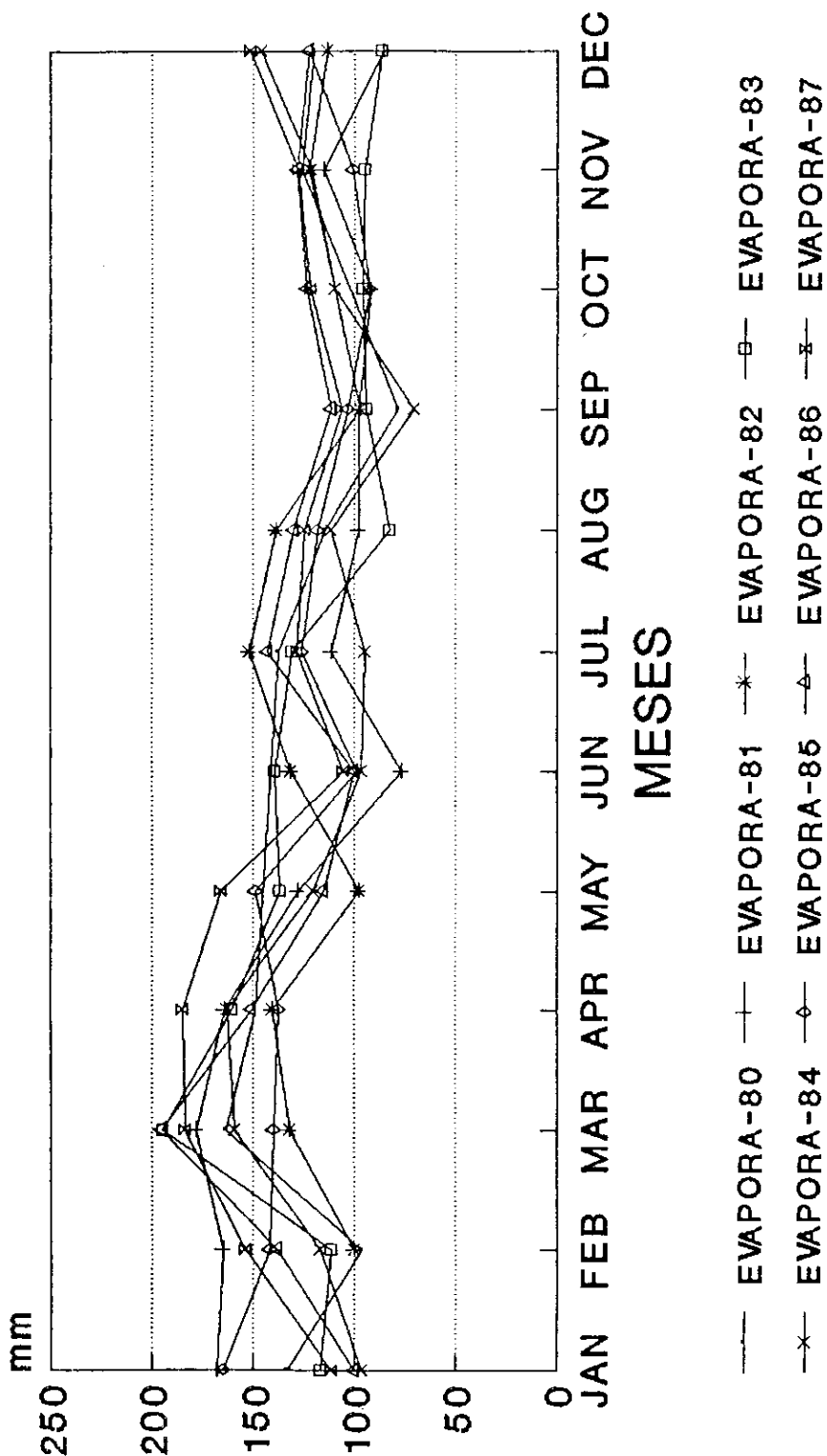


FUENTE:INSIVUMEH

# QUEZALTENANGO

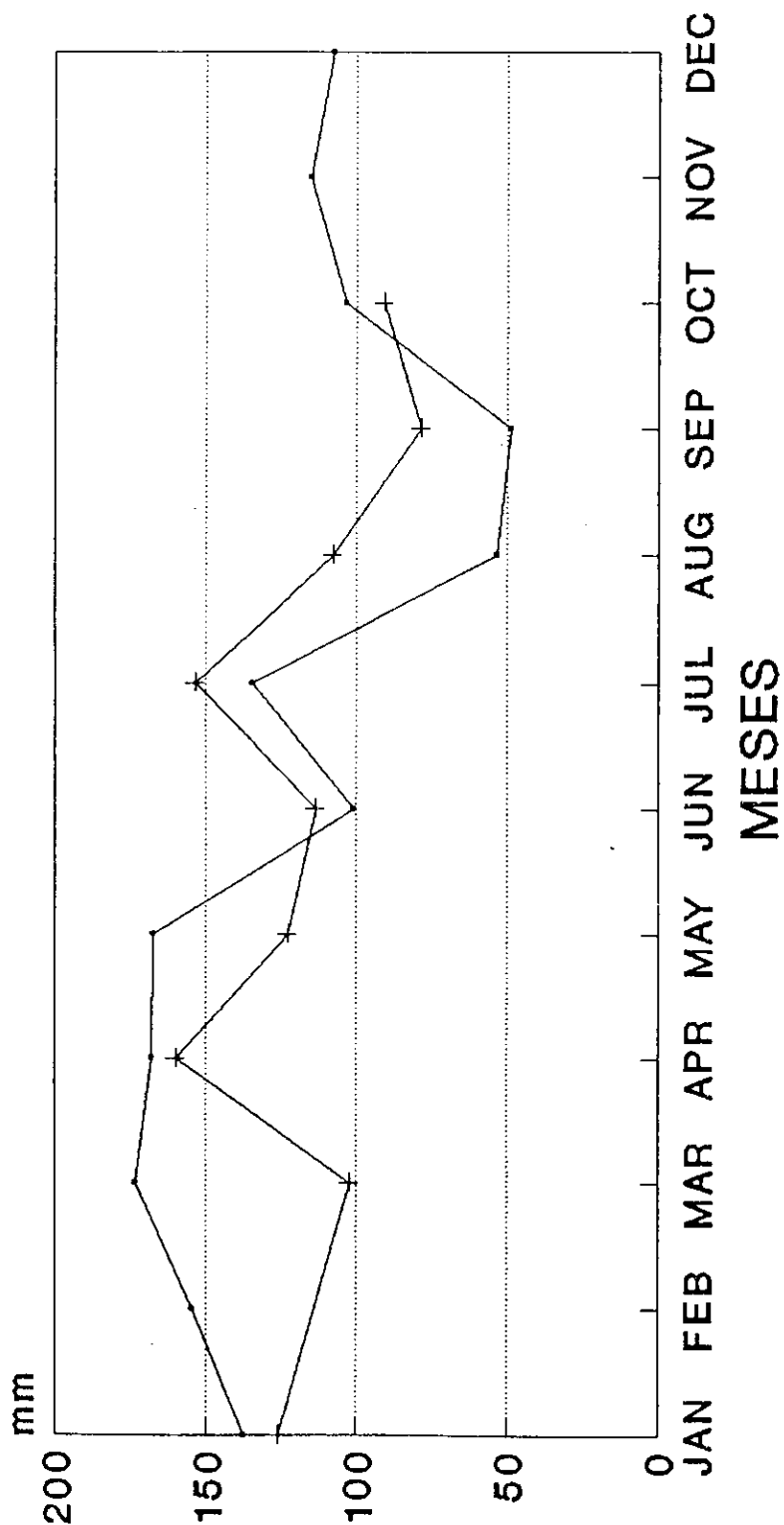
EVAPORACION A LA INTEMPERIE	66
RADIACION SOLAR MEDIA	68
HUMEDAD RELATIVA MEDIA:PROMEDIO	70
PRECIPITACION TOTAL	72
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA	74
TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA	76
TEMPERATURA MEDIA:PROMEDIO	78
DIAS DE PRECIPITACION	80
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	82

EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE  
 ELEVACION:2380.00 msnm



FUENTE:INISIVUMEH

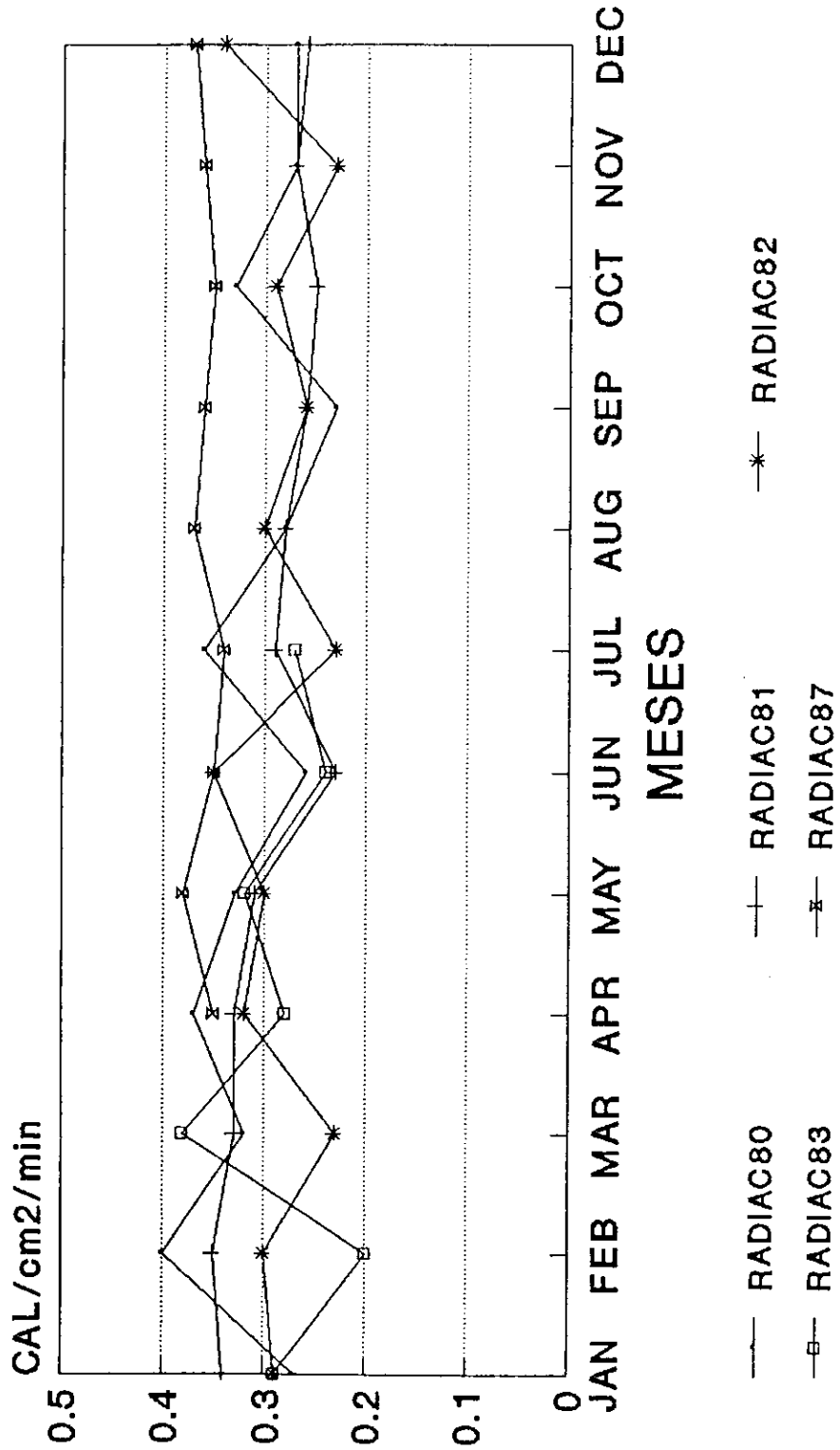
EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE  
 ELEVACION:2380.00 msnm



— EVAPORA-88    —+— EVAPORA-89

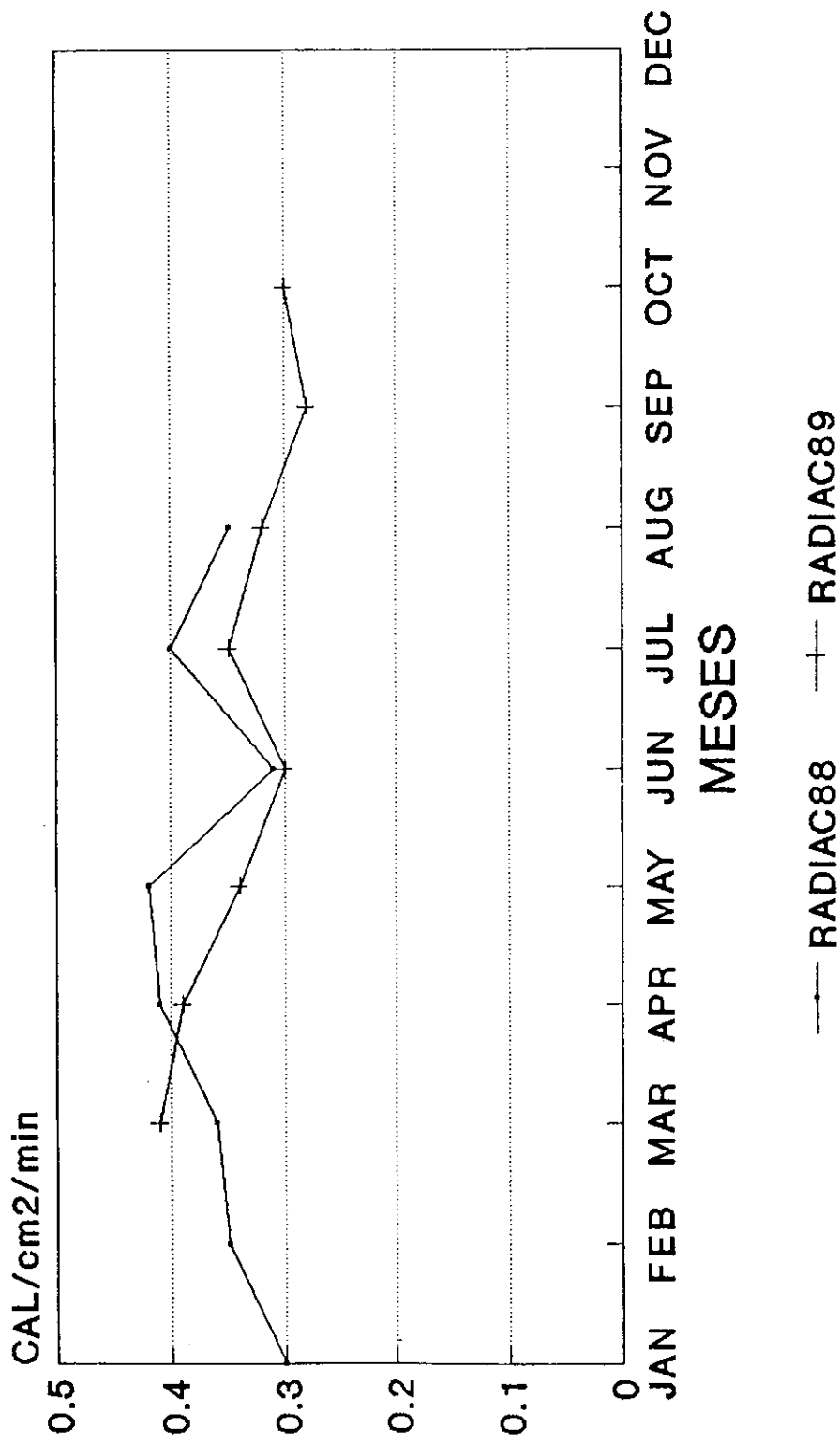
FUENTE:INSIVUMEH

**RADIACION SOLAR MEDIA**  
**DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE**  
**ELEVACION:2380.00 msnm**



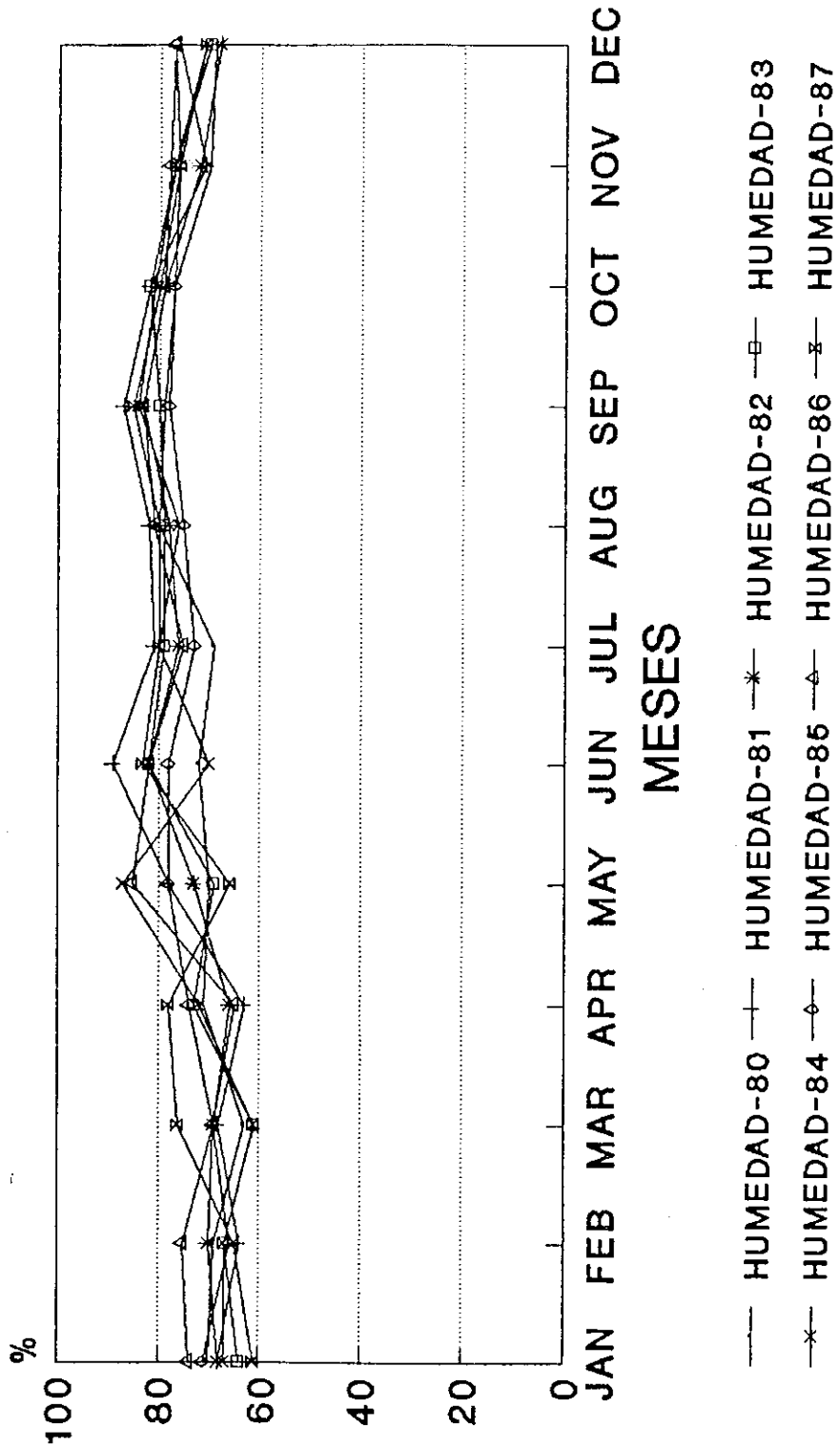
FUENTE:INISIVUMEH

RADIACION SOLAR MEDIA  
DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE  
ELEVACION:2380.00 msnm



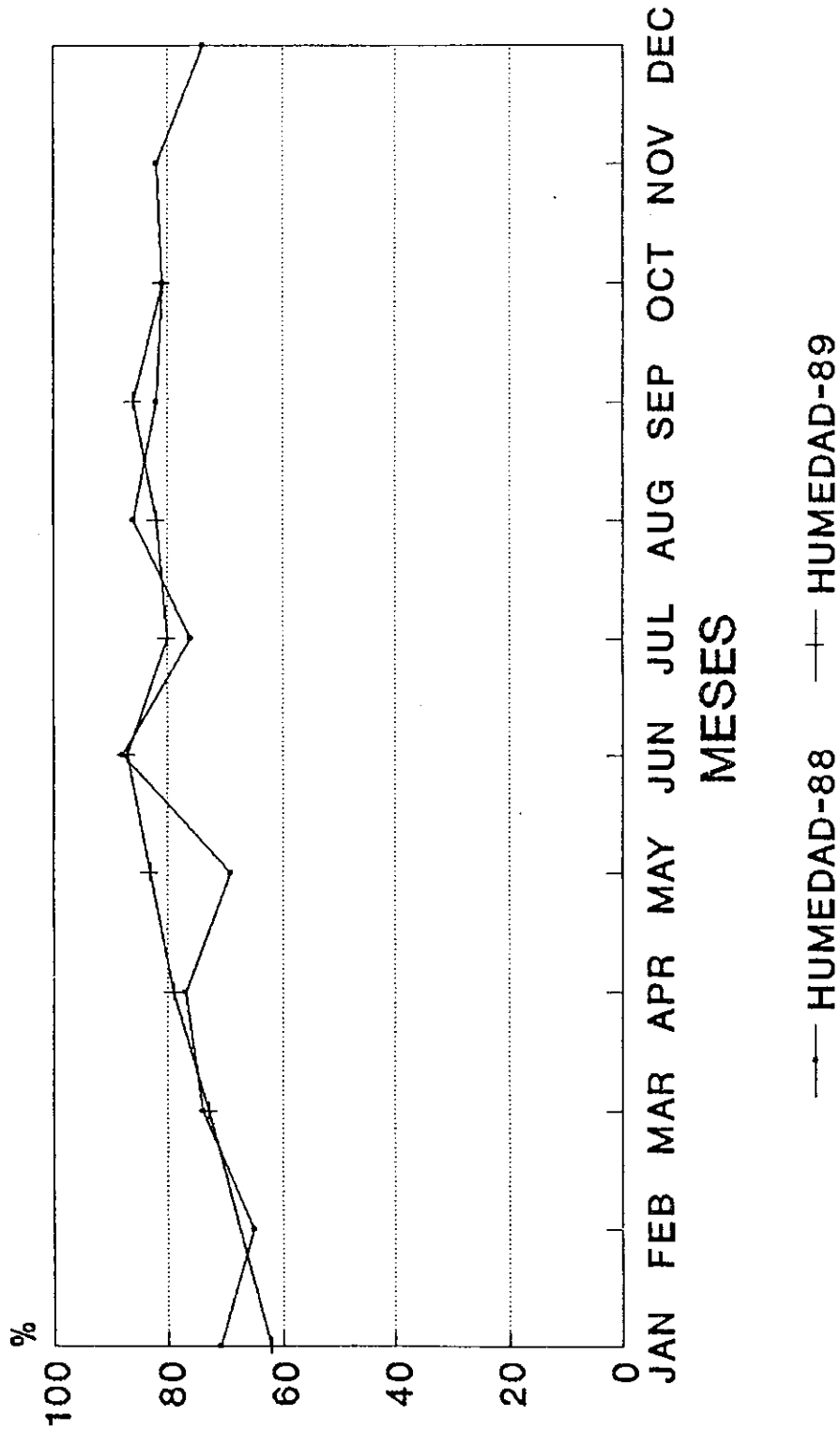
FUENTE:INSIVUMEH

HUMEDAD RELATIVA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: QUEZALTENANGO MUN: OLINTEPEQUE  
 ELEVACION: 2380.00 msnm



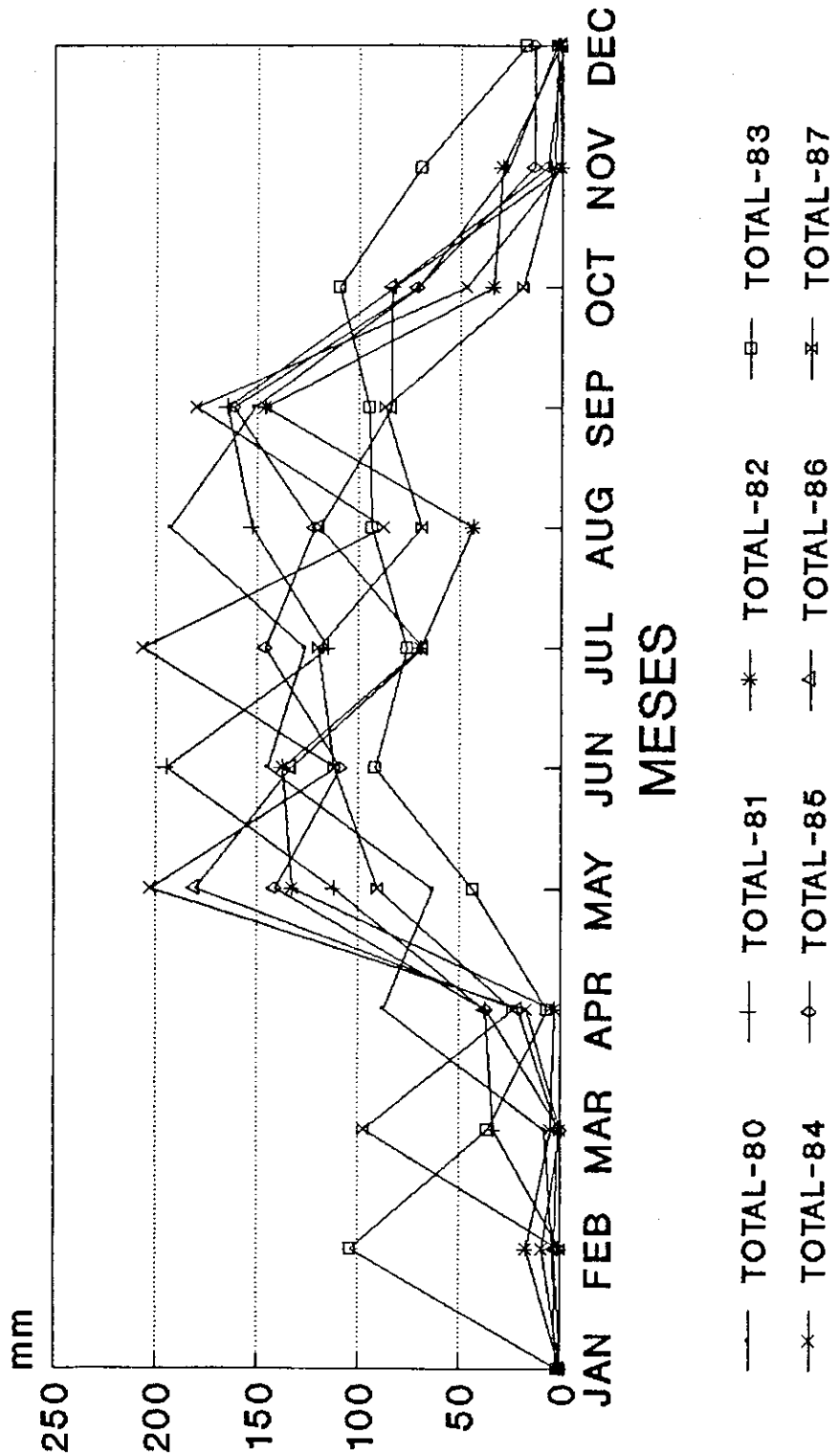
FUENTE: INISIVUMEH

HUMEDAD RELATIVA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: QUEZALTENANGO MUN.: OLINTEPEQUE  
 ELEVACION: 2380.00 msnm



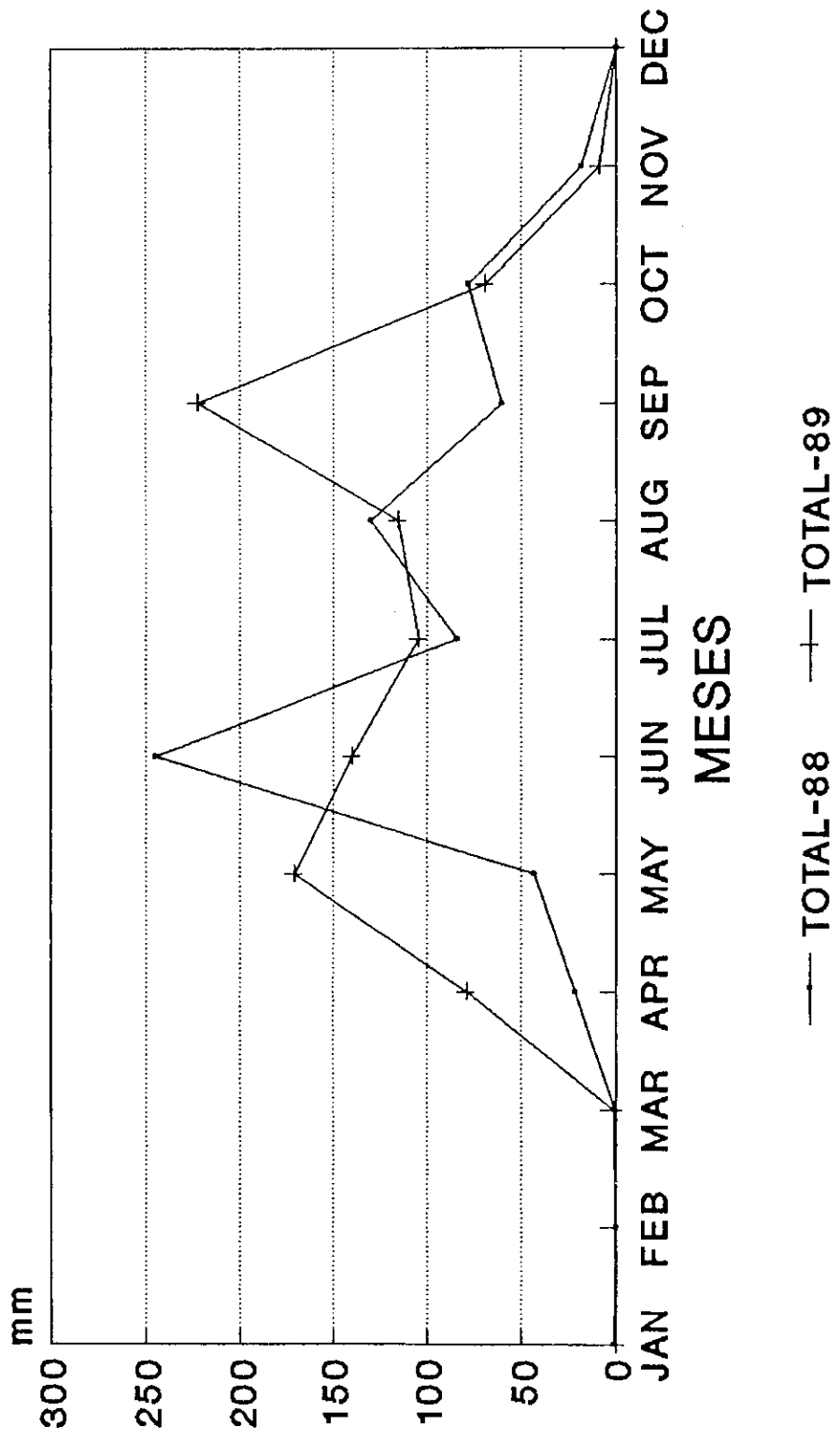
FUENTE: INSIVUMEH

PRECIPITACION TOTAL  
 DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE  
 ELEVACION:2380.00 msnm



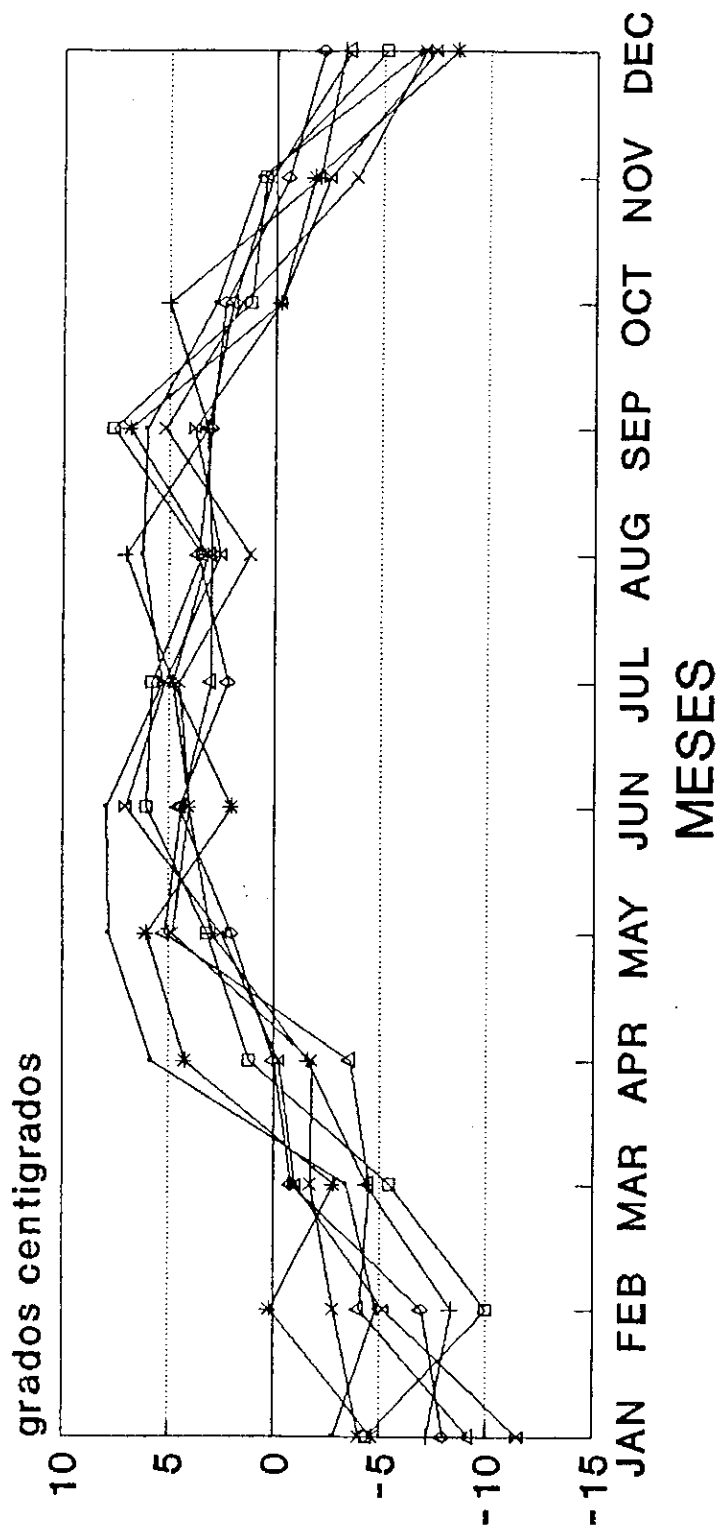
FUENTE:INSIVUMEH

PRECIPITACION TOTAL  
 DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE  
 ELEVACION:2380.00 msnm



FUENTE:INSIVUMEH

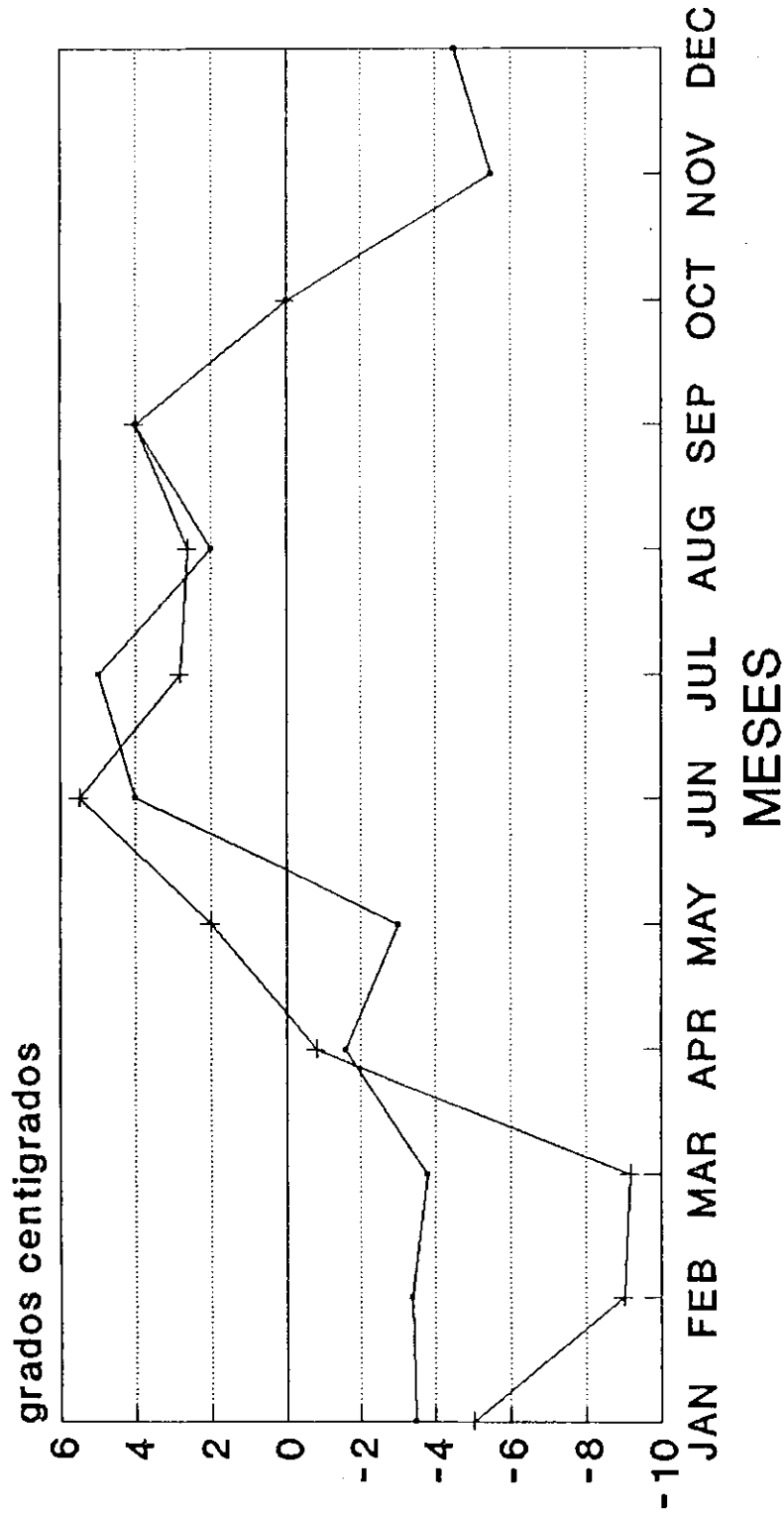
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
 DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE  
 ELEVACION:2380.00 msnm



—+— CENTIGRA-80 —\*— CENTIGRA-81 —\*— CENTIGRA-82 —□— CENTIGRA-83  
 —x— CENTIGRA-84 —◇— CENTIGRA-85 —△— CENTIGRA-86 —x— CENTIGRA-87

FUENTE:INSIVUMEH

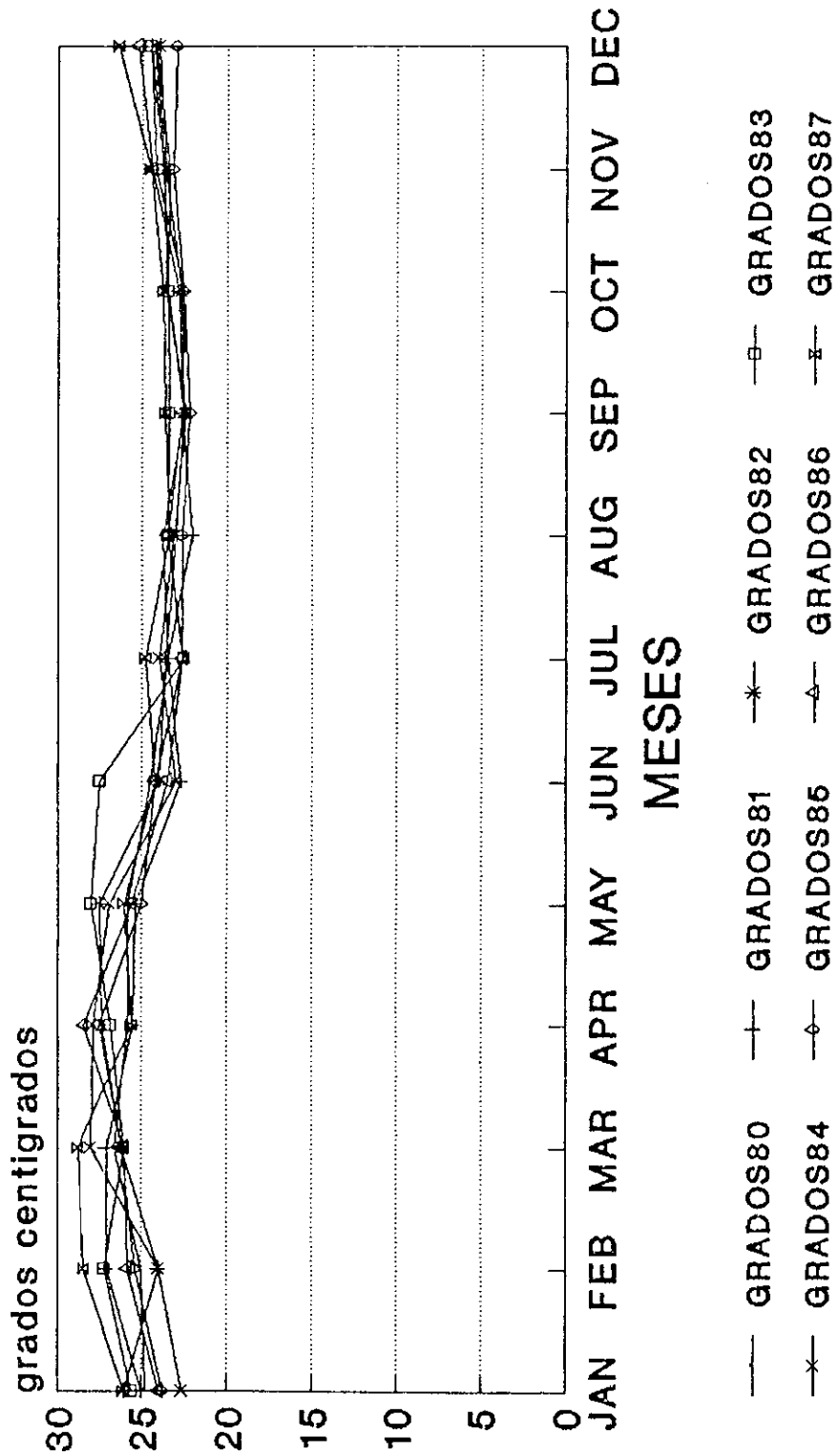
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
 DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE  
 ELEVACION:2380.00 msnm



—+— CENTIGRA-88    —x— CENTIGRA-89

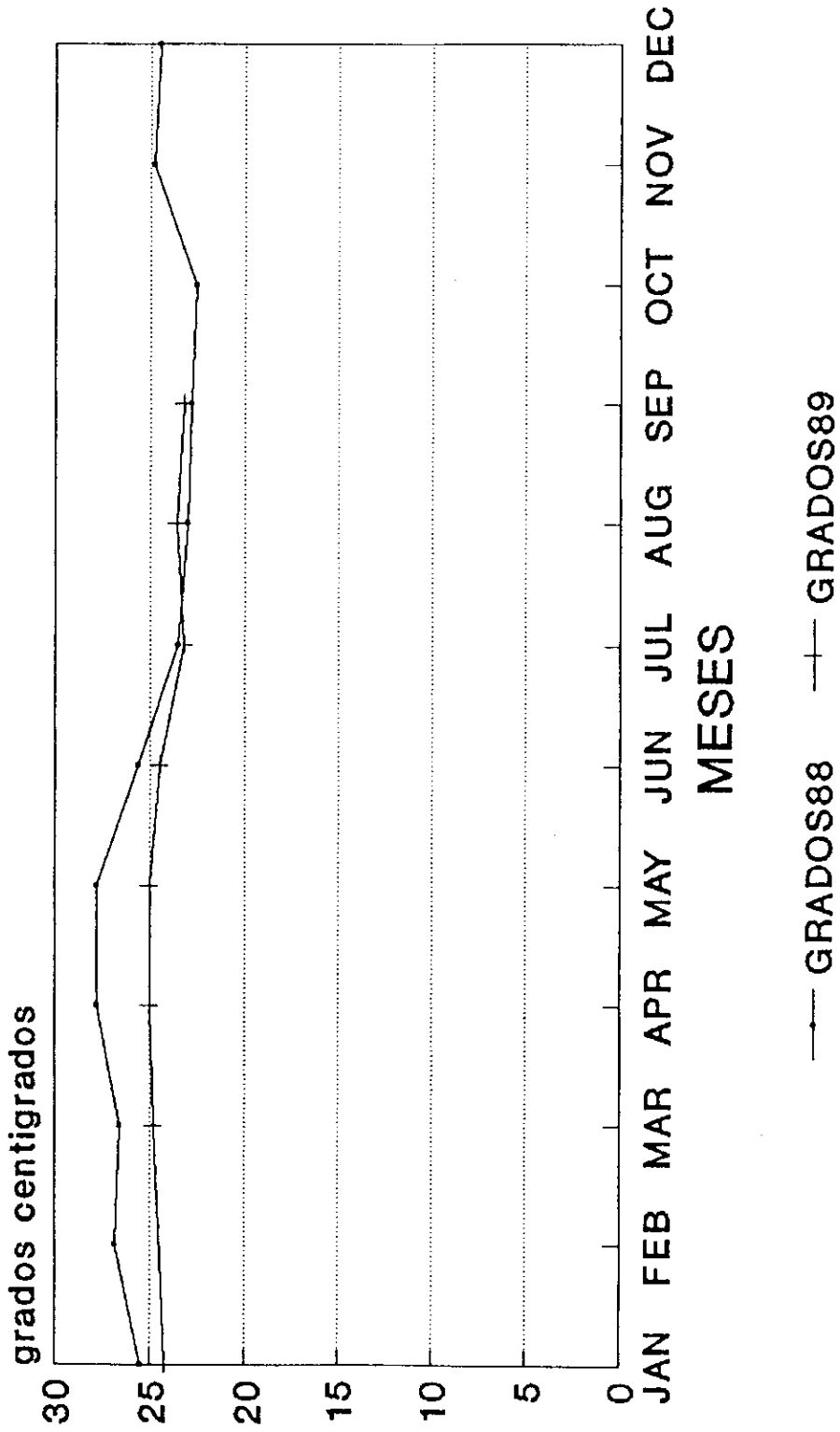
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE  
 ELEVACION:2380.00 msnm



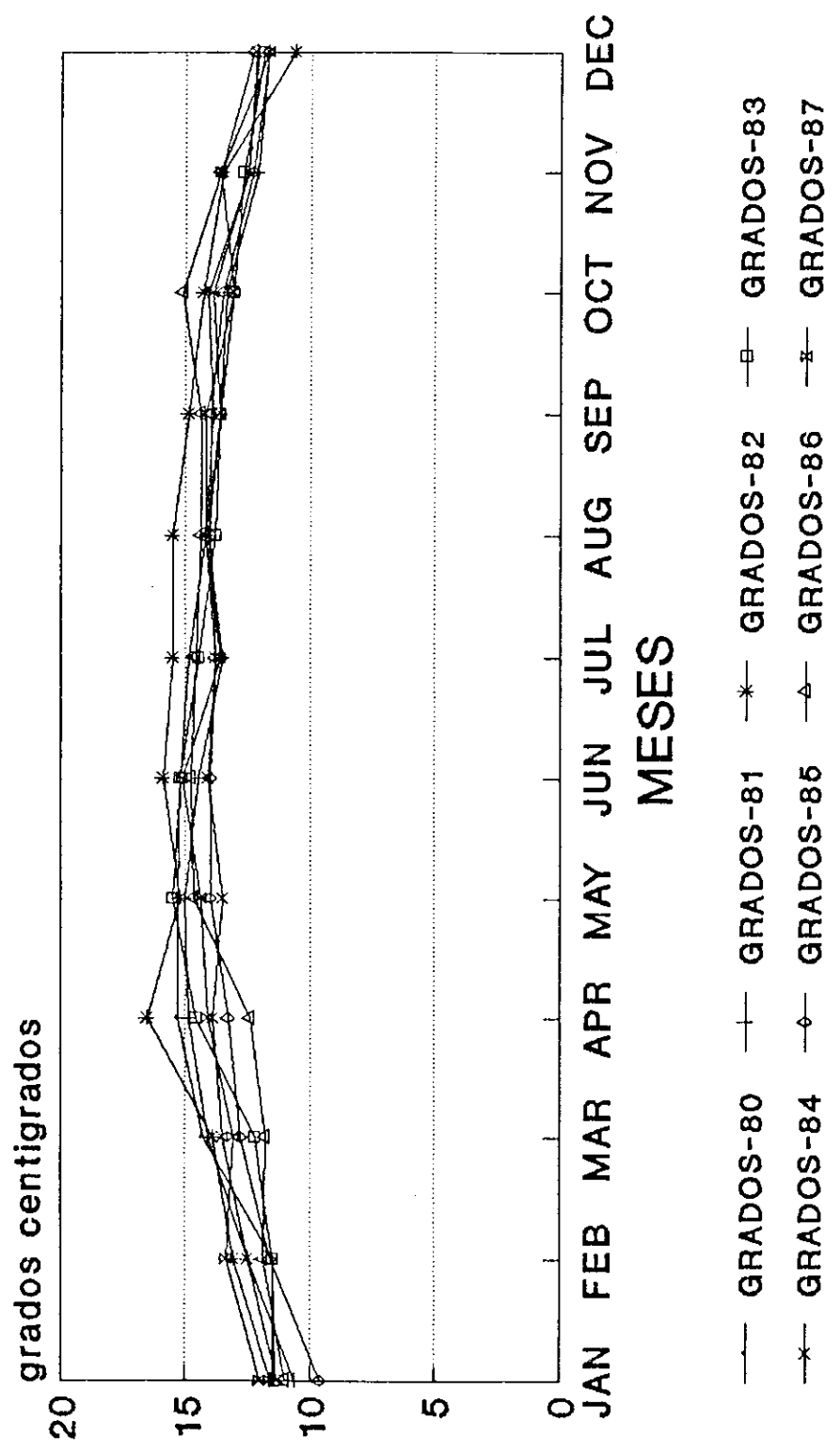
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE  
 ELEVACION:2380.00 msnm



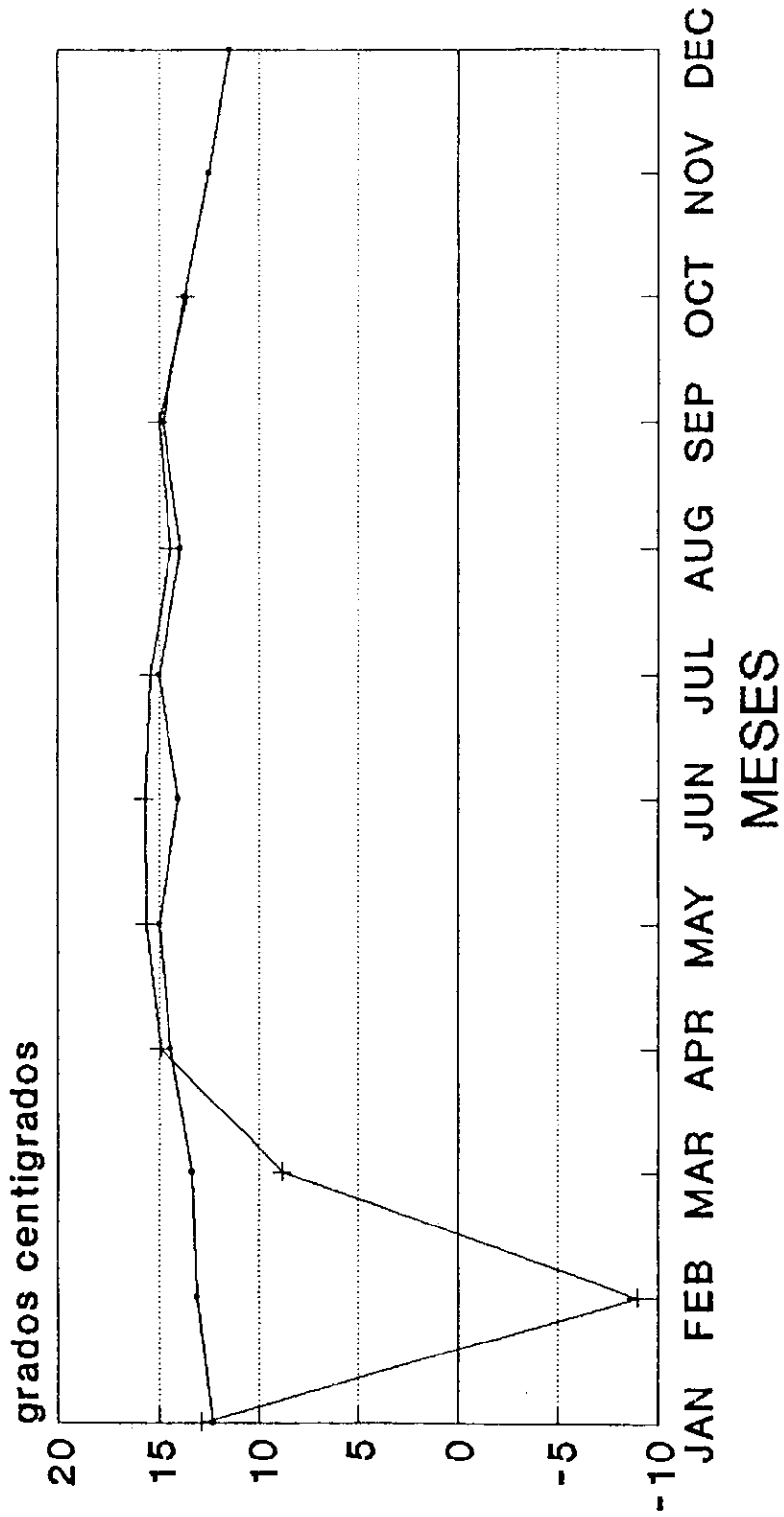
FUENTE:INSIVUMEH

TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: QUEZALTENANGO MUN.: OLINTEPEQUE  
 ELEVACION: 2380.00 msnm



FUENTE: INSIVUMEH

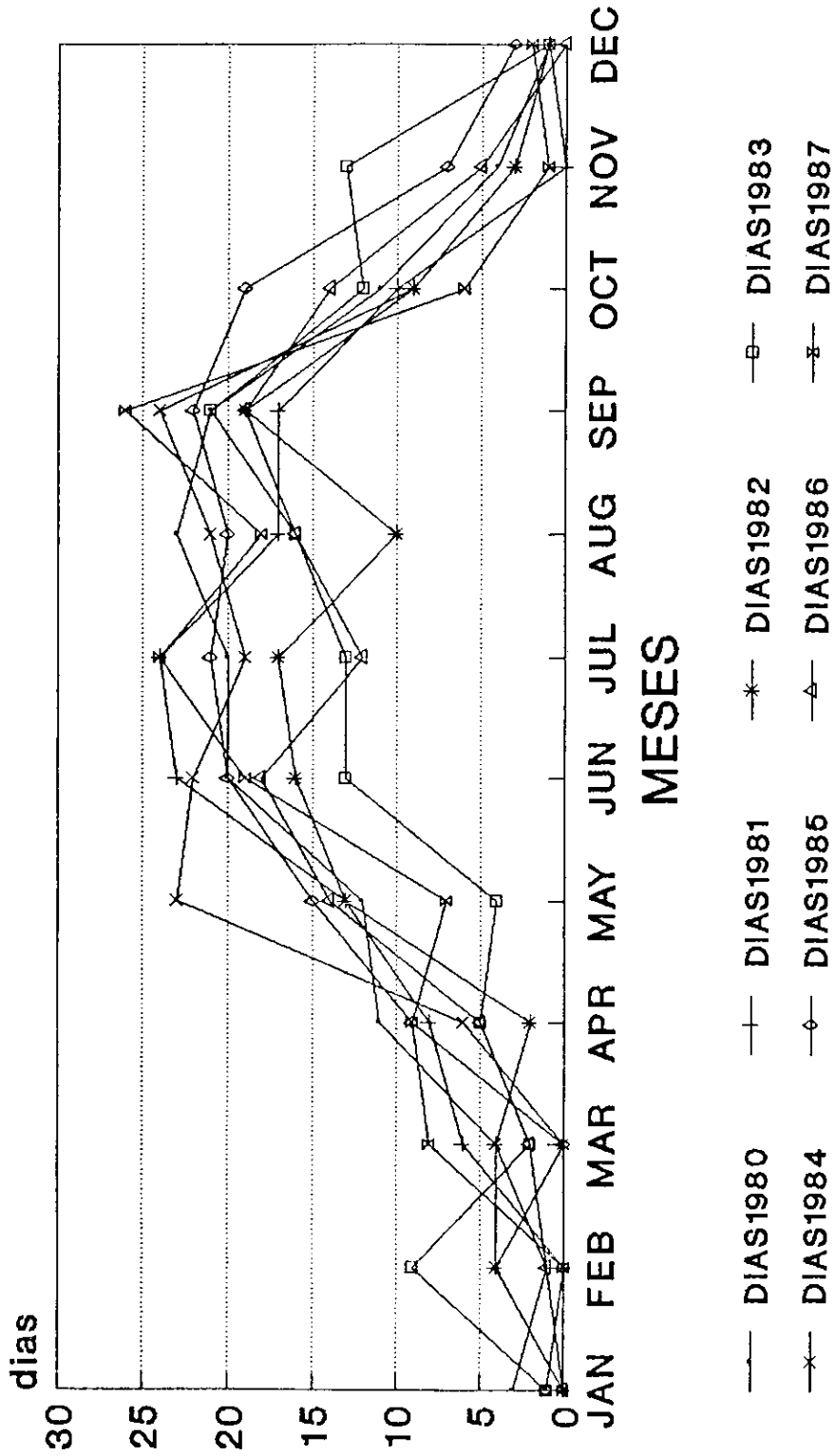
TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: QUEZALTENANGO MUN.: OLINTEPEQUE  
 ELEVACION: 2380.00 msnm



—●— GRADOS 1988    —+— GRADOS 1989

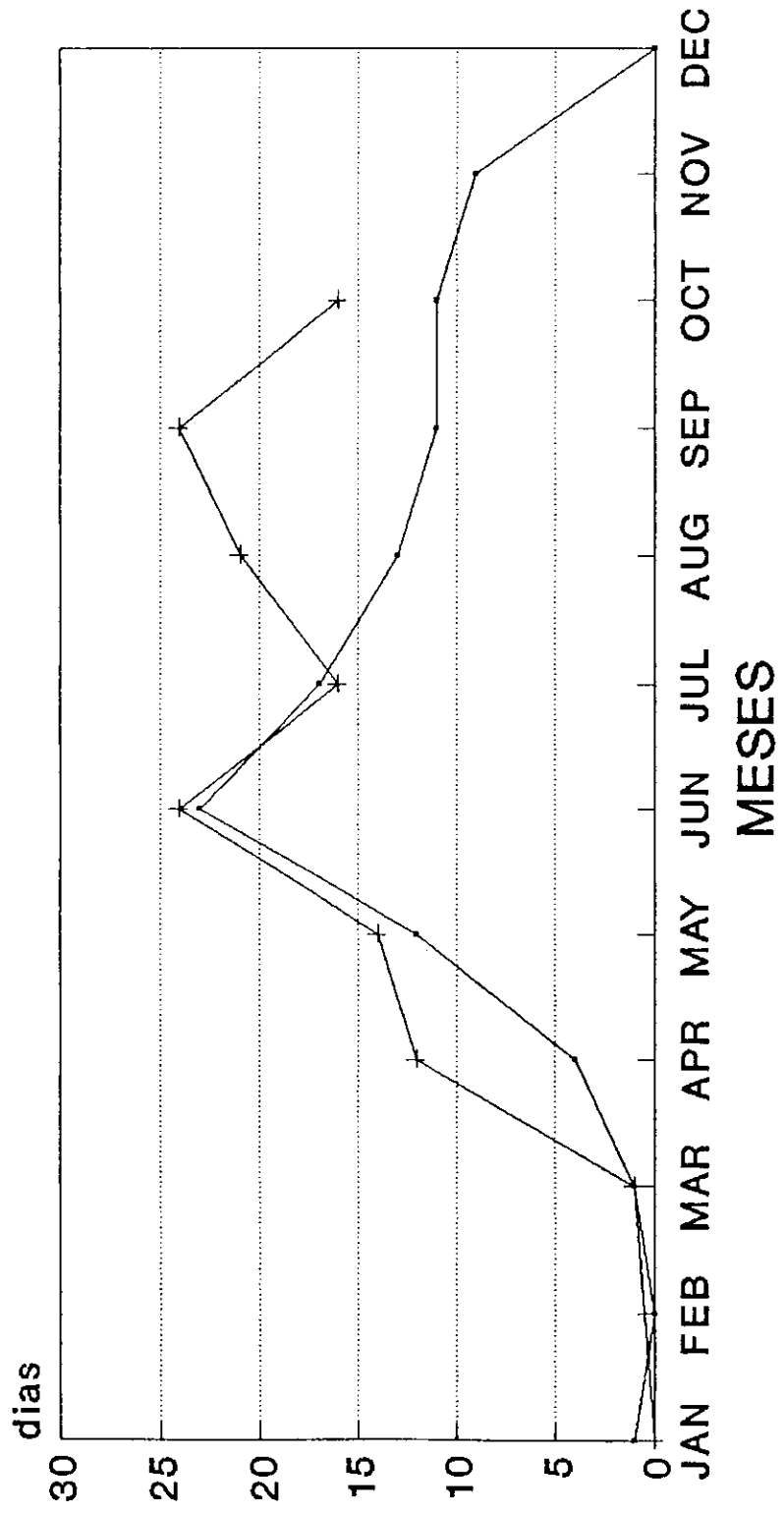
FUENTE: INSIVUMEH

DIAS DE PRECIPITACION  
 DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE  
 ELEVACION:2380.00 msnm



FUENTE:INSIVUMEH

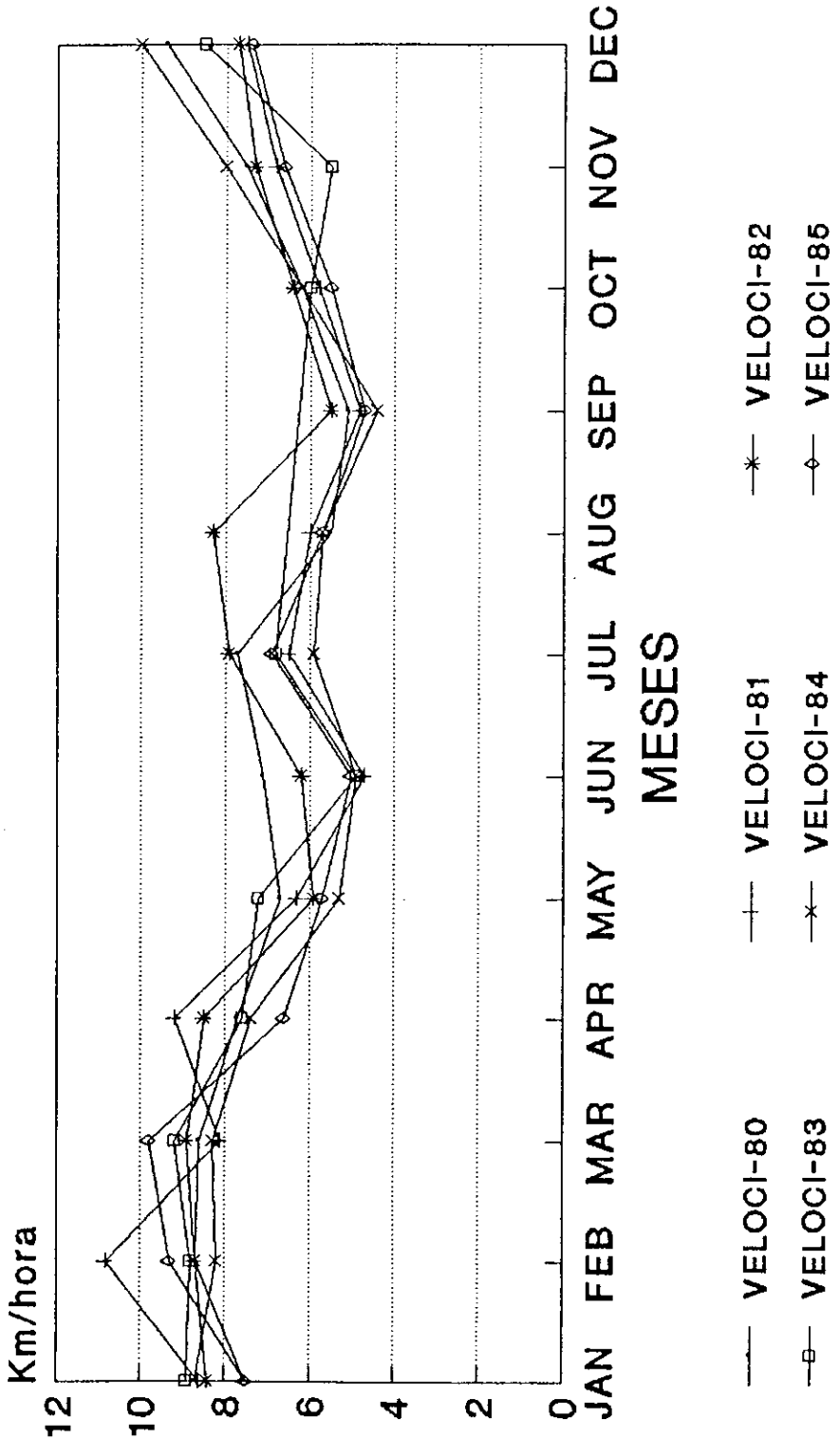
DIAS DE PRECIPITACION  
 DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE  
 ELEVACION:2380.00 msnm



—+— DIAS1988    —x— DIAS1989

FUENTE:INSIVUMEH

**VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO**  
**DEP.:QUEZALTENANGO MUN.:OLINTEPEQUE**  
**ELEVACION:2380.00 msnm**

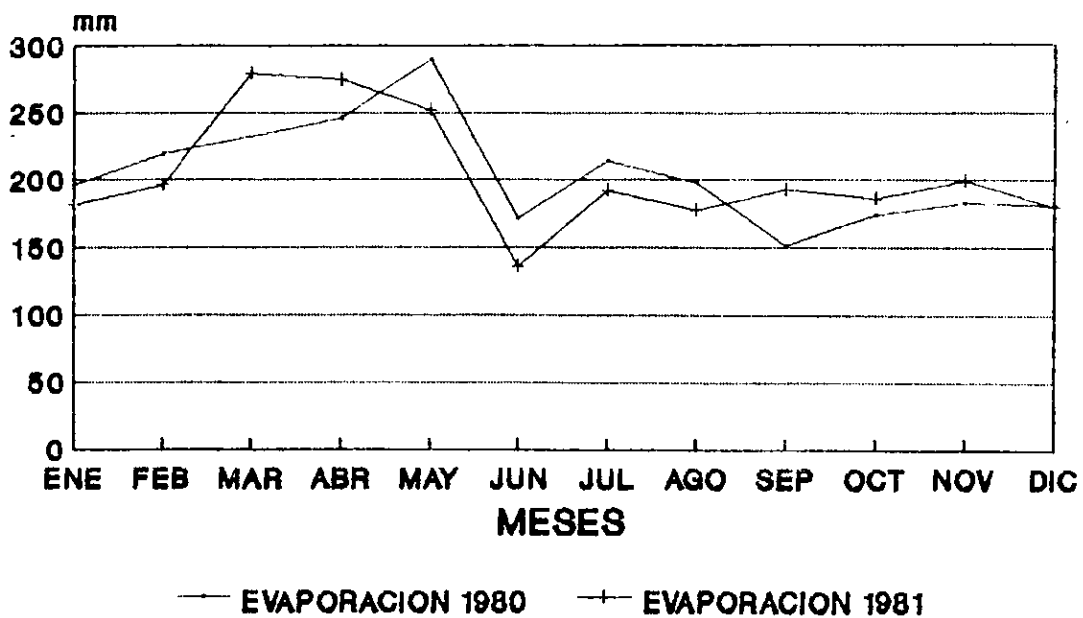


FUENTE:INSIVUMEH

## ZACAPA

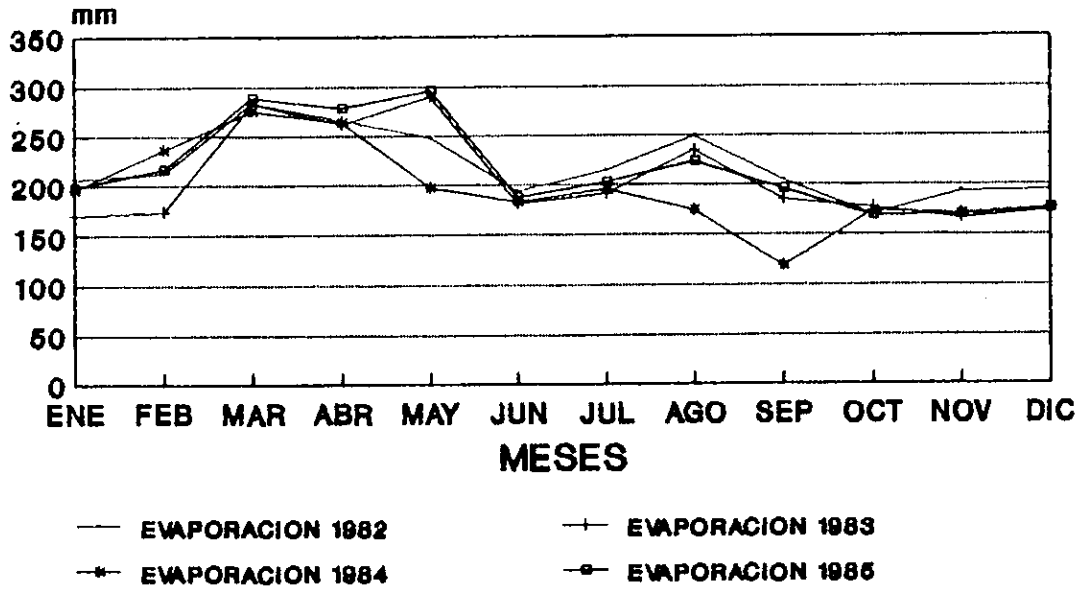
EVAPORACION A LA INTEMPERIE	83
RADIACION SOLAR MEDIA	86
BRILLO SOLAR PROMEDIO	87
HUMEDAD RELATIVA MEDIA:PROMEDIO	88
PRECIPITACION TOTAL	90
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA	93
TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA	96
TEMPERATURA MEDIA:PROMEDIO	99
DIAS DE PRECIPITACION	101
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	104

**EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
ELEVACION: 210.00 msnm**



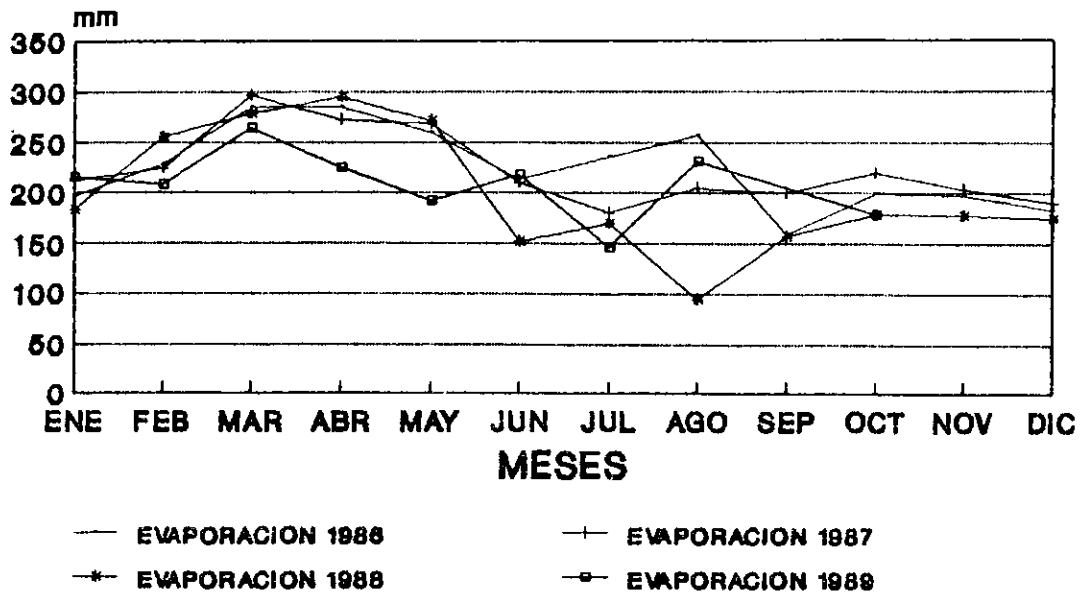
FUENTE: INSIVUMEH/1990  
PROEXAG

**EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
 ELEVACION: 210.00 msnm**



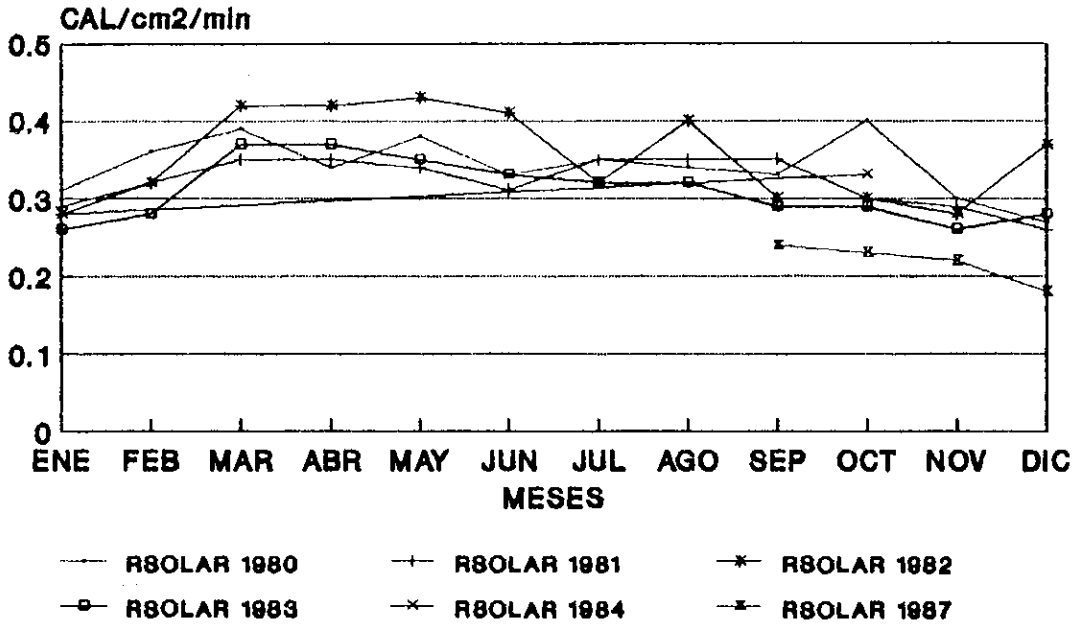
FUENTE: IN8IVUMEH/1990  
 PROEXAG

**EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
 ELEVACION: 210.00 msnm**



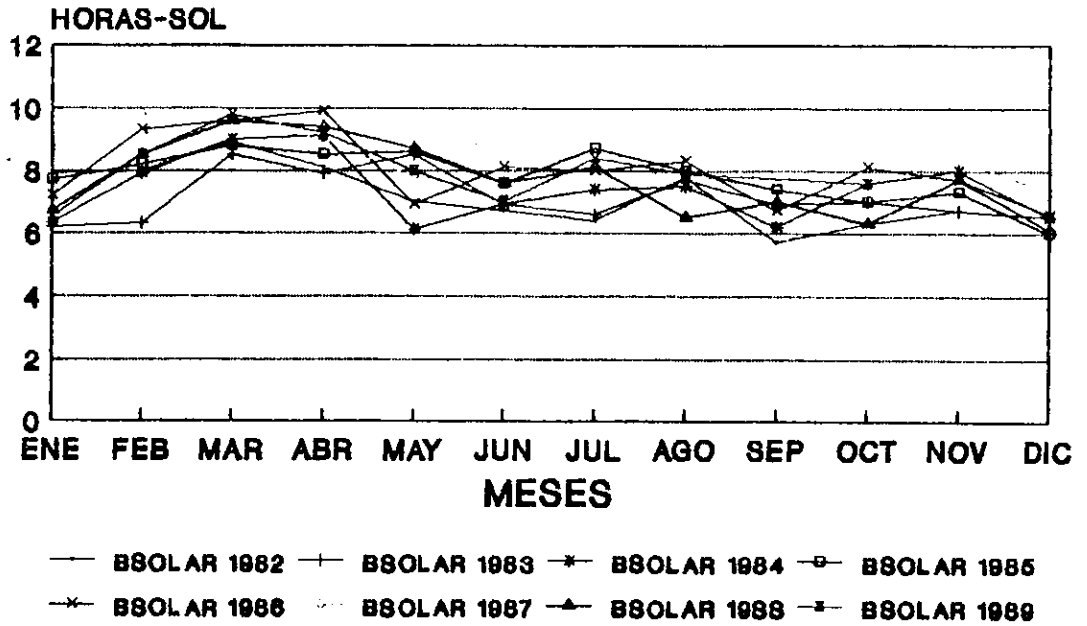
FUENTE: INSIVUMEH/1980  
 PROEXAG

**RADIACION SOLAR MEDIA**  
**DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA**  
**ELEVACION:210.00 msnm**



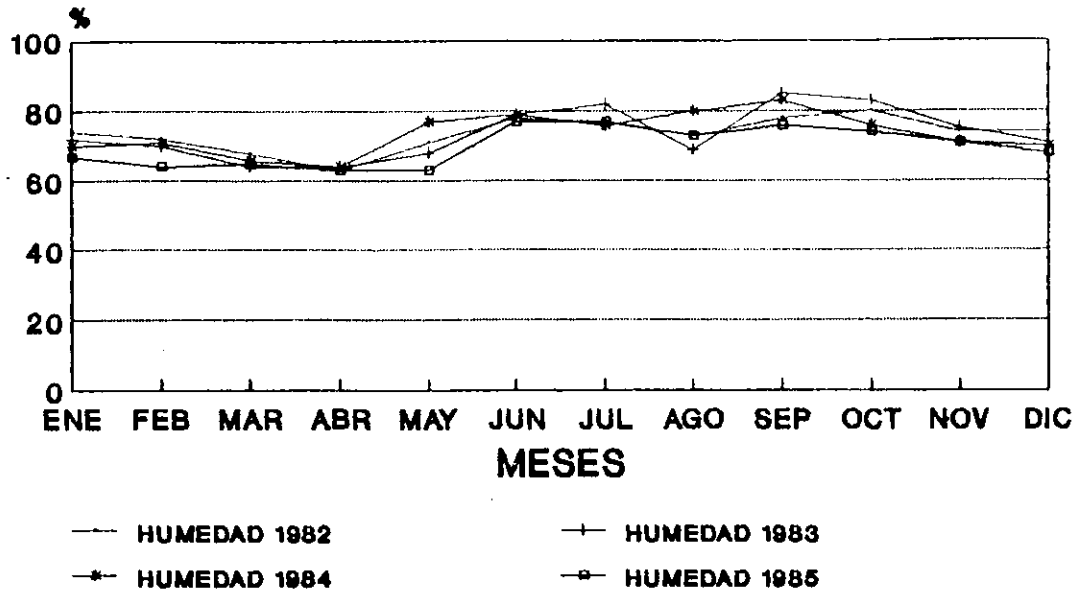
FUENTE:IN8IVUMEH/1980

**BRILLO SOLAR PROMEDIO  
 DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
 ELEVACION: 210.00 msnm**



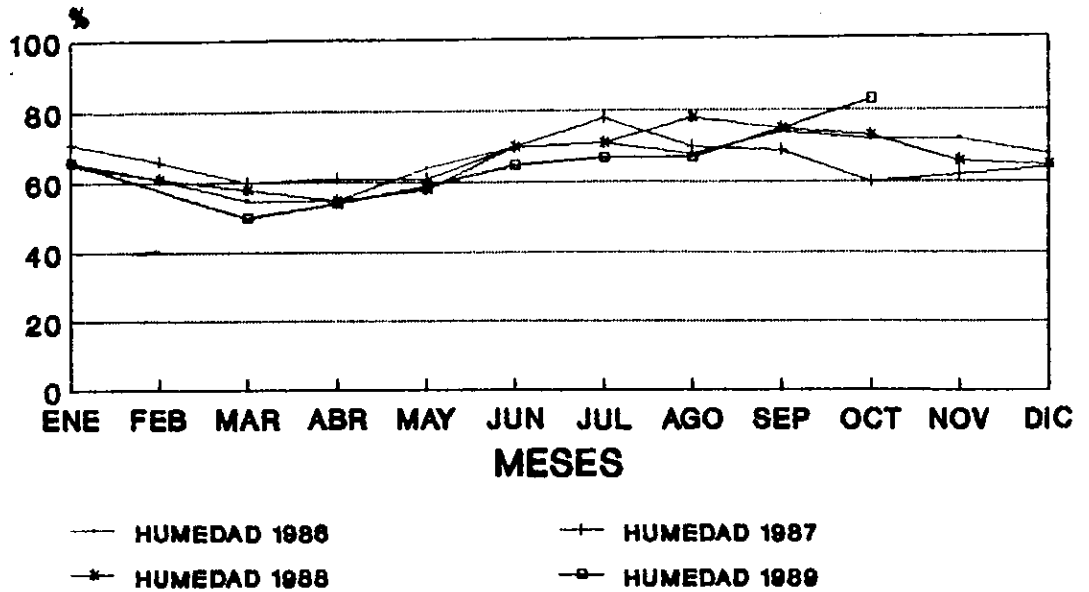
FUENTE:INSIVUMEH/1990

**HUMEDAD RELATIVA MEDIA  
 DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
 ELEVACION: 210.00 msnm**



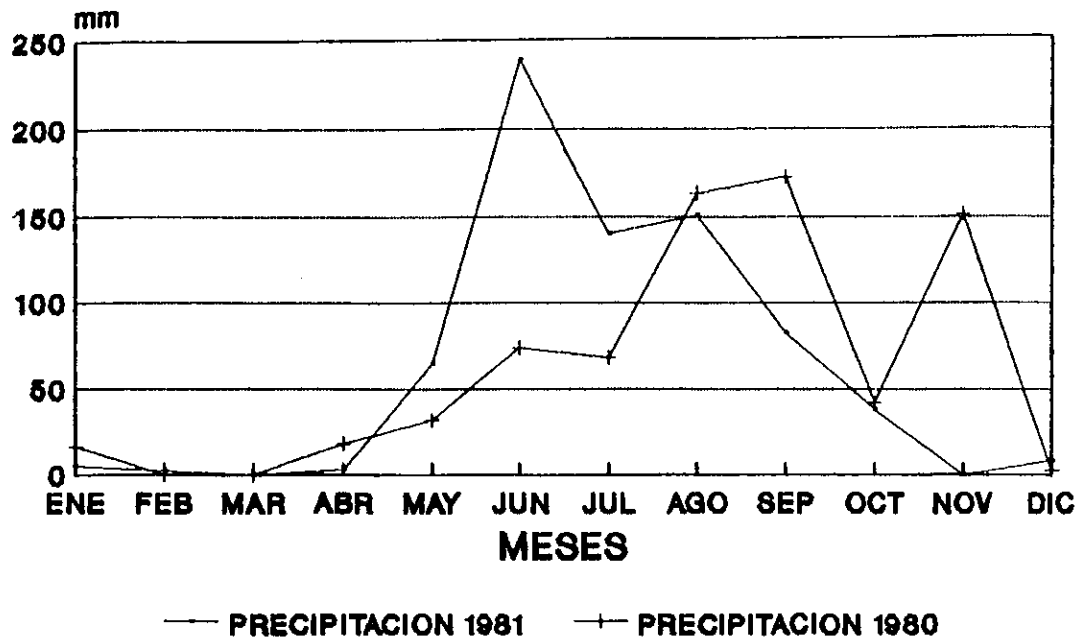
FUENTE: INSIVUMEH/1990  
 PROEXAG

**HUMEDAD RELATIVA MEDIA  
 DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
 ELEVACION: 210.00 msnm**



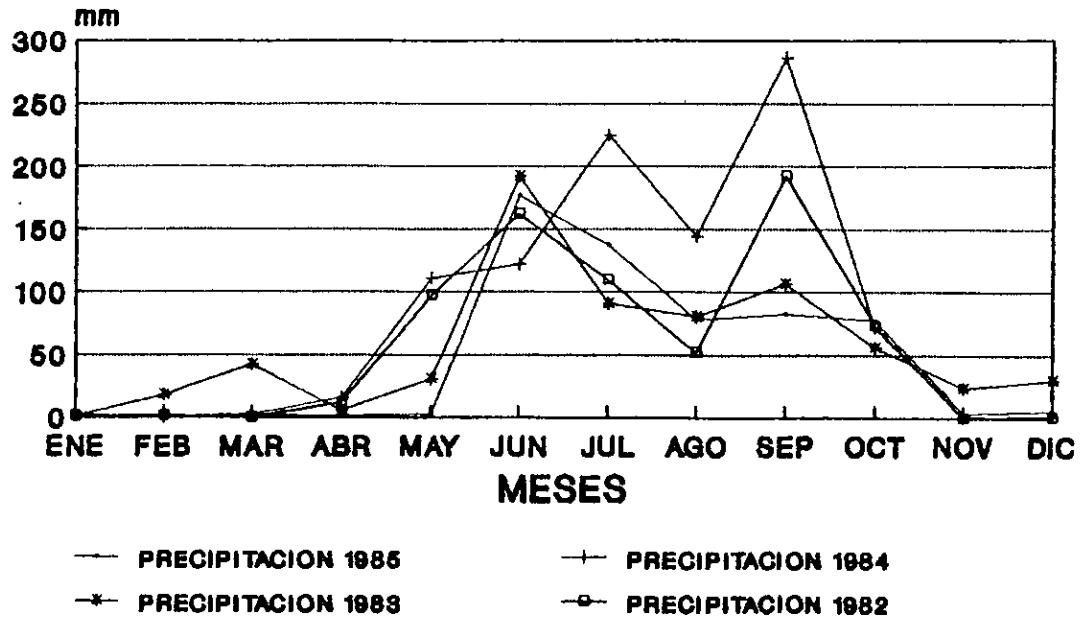
FUENTE: IN8IVUMEH/1990  
 PROEXAG

**PRECIPITACION TOTAL  
DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
ELEVACION: 210.00 msnm**



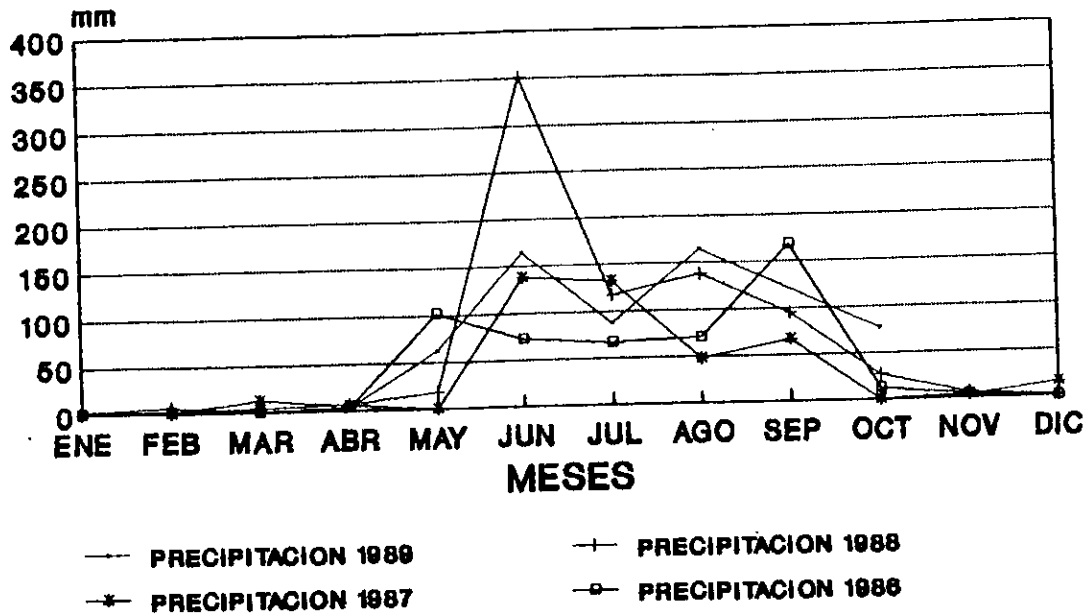
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**PRECIPITACION TOTAL  
DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
ELEVACION: 210 msnm**



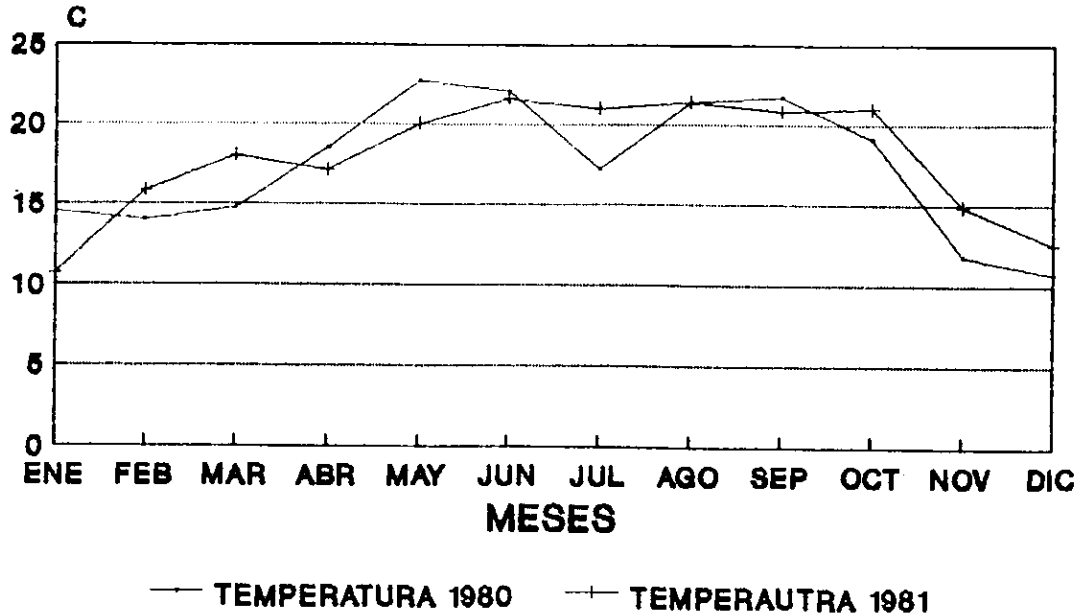
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**PRECIPITACION TOTAL  
 DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
 ELEVACION: 210 msnm**



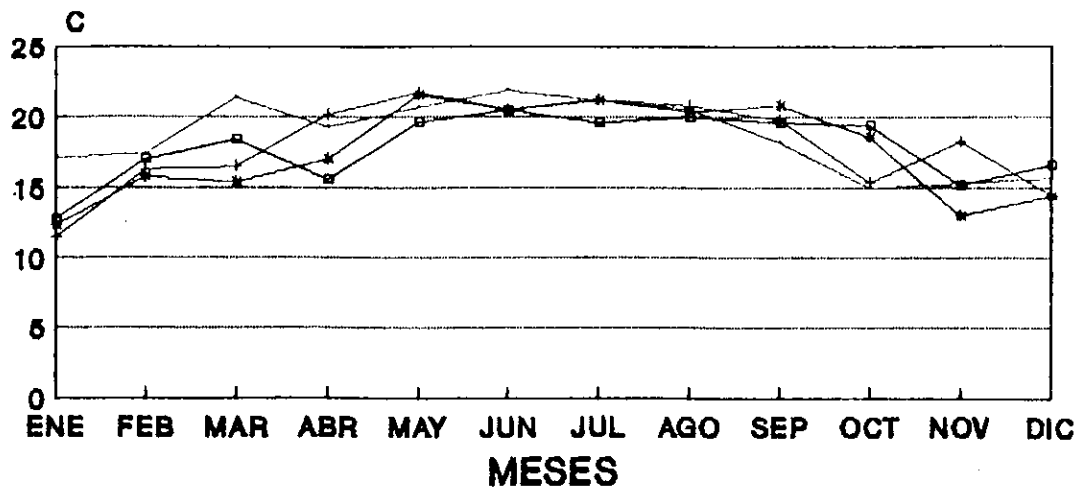
FUENTE: INSIYUMEH/1990

**TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
ELEVACION: 210.00 msnm**



FUENTE: INSIVUMEH/1990  
PROEXAG

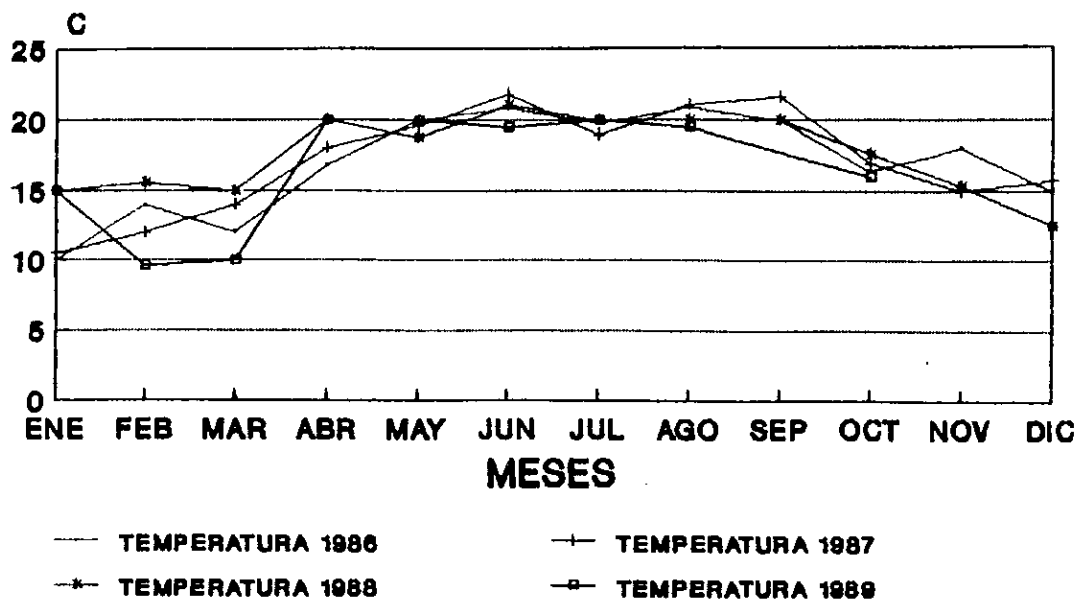
**TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA**  
**DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA**  
**ELEVACION: 210.00 msnm**



— TEMPERATURA 1982                      + TEMPERATURA 1983  
 \* TEMPERATURA 1984                      □ TEMPERATURA 1985

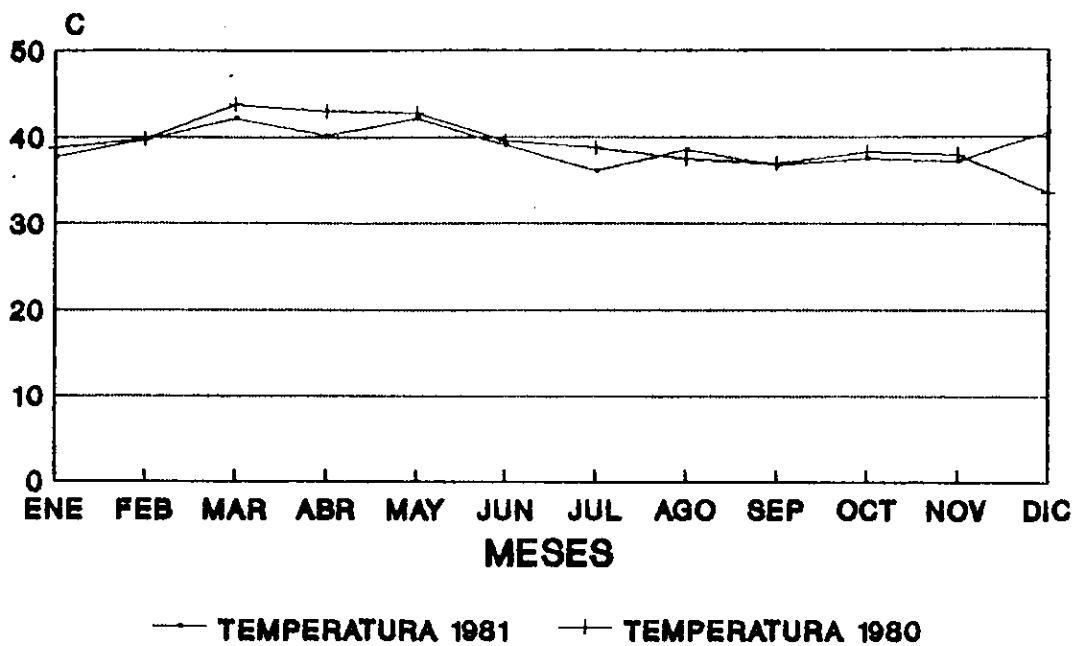
FUENTE: INSIVUMEH/1890  
 PROEXAG

**TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
 DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
 ELEVACION: 210.00 msnm**



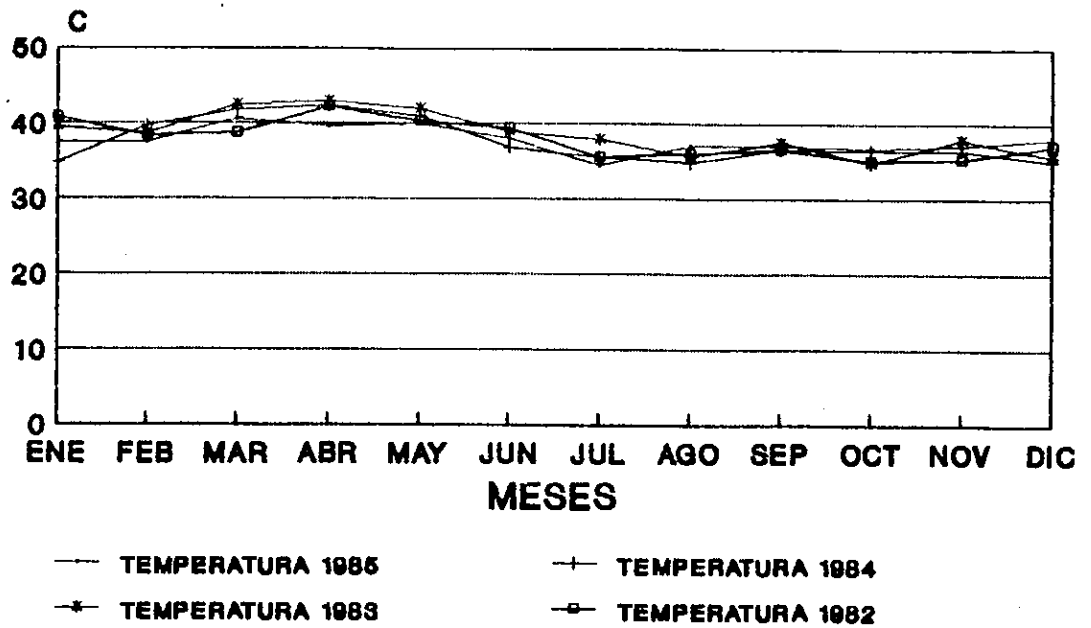
**FUENTE: INSIVUMEH/1990  
 PROEXAG**

**TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
ELEVACION: 210.00 msnm**



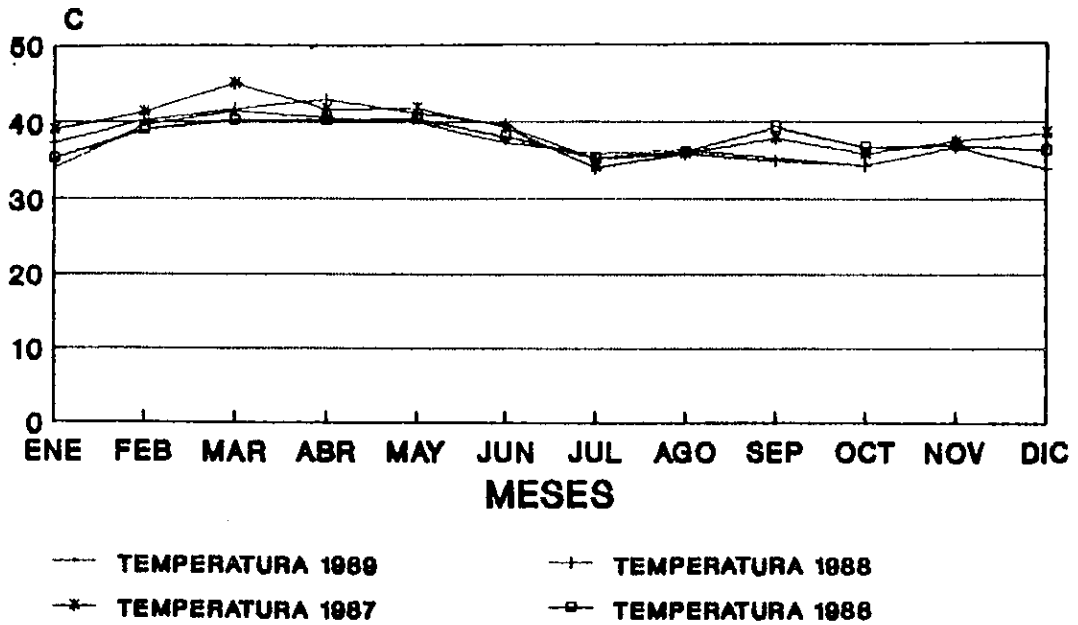
FUENTE: INSIVUMEH

**TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
 ELEVACION: 210.00 msnm**



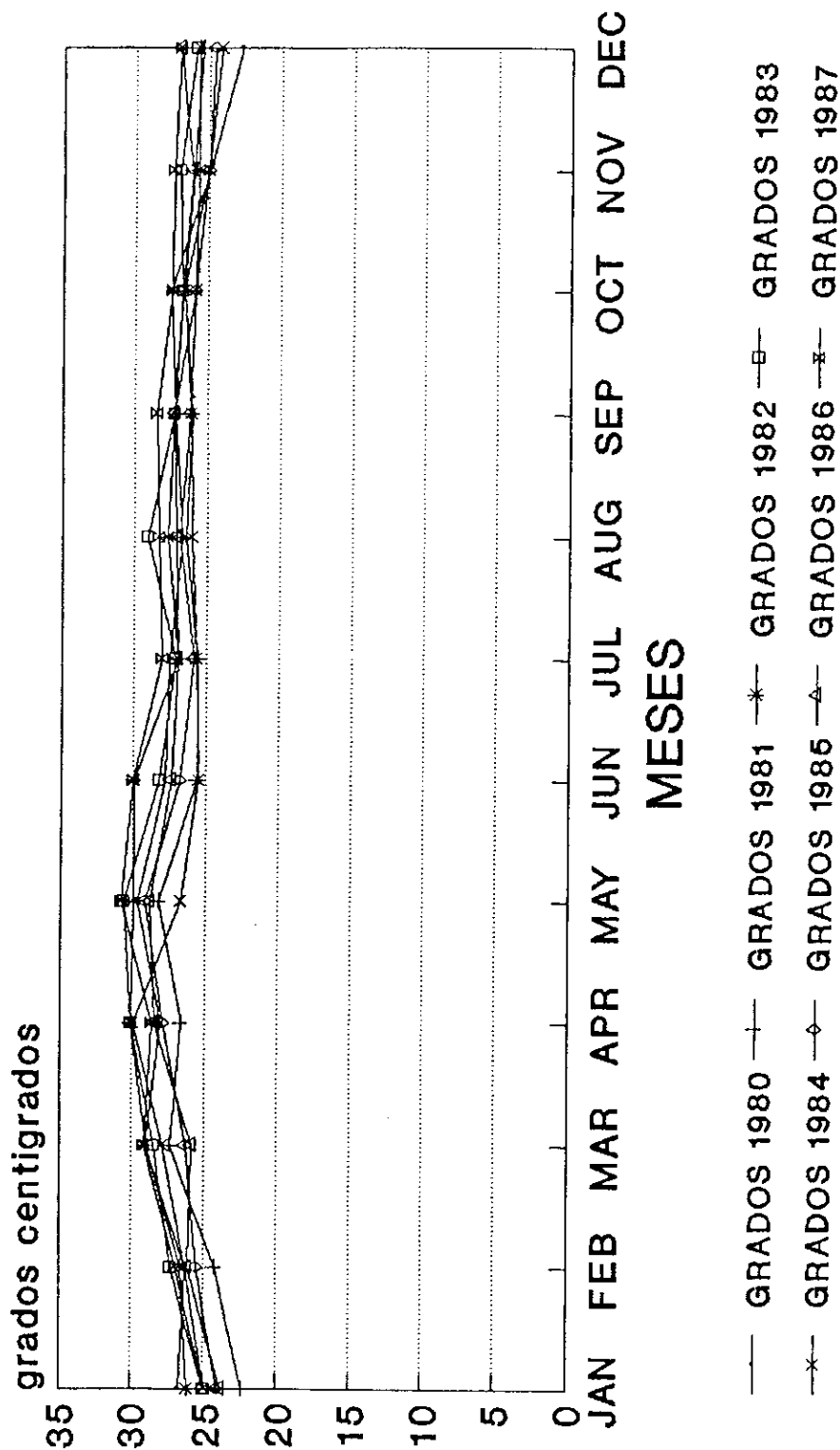
FUENTE: IN8IVUMEH

**TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA**  
**DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA**  
**ELEVACION: 210.00 msnm**



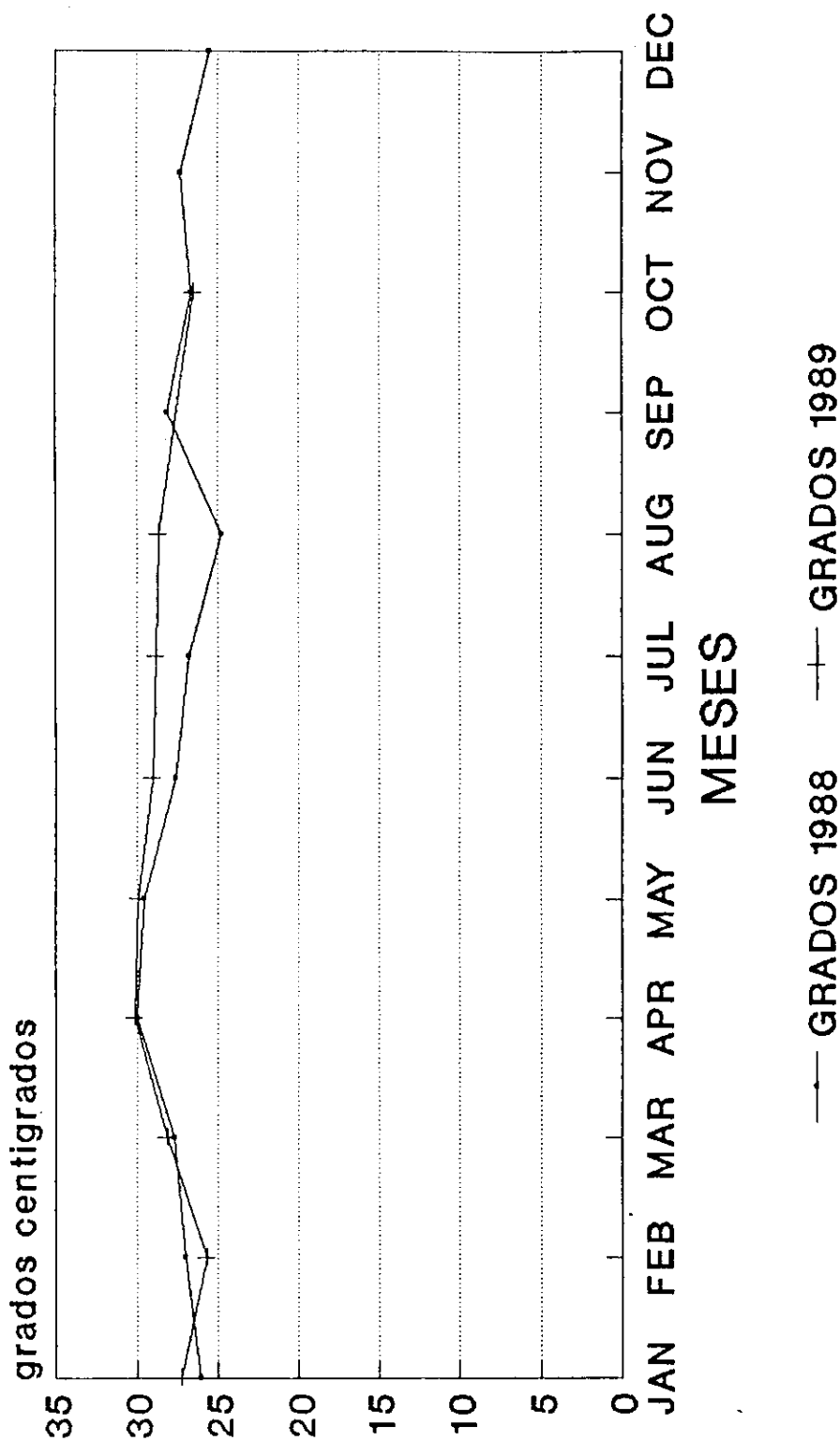
FUENTE: INSIVUMEH/1990

TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: ZACAPA MUN.: ESTANZUELA  
 ELEVACION: 210.00 msnm



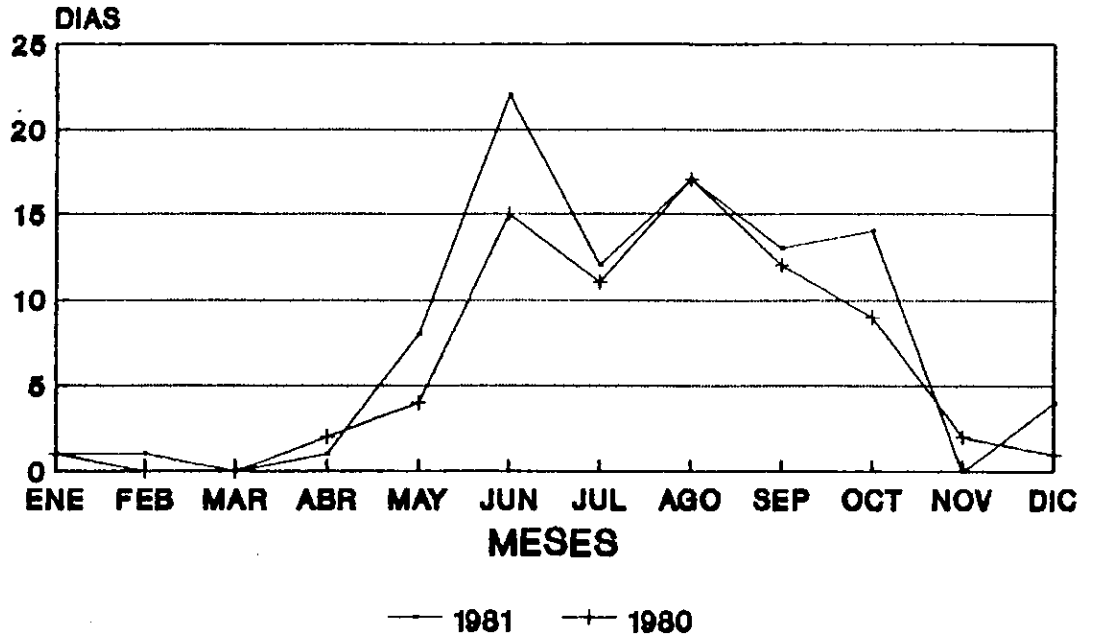
FUENTE: INSIVUMEH

TEMPERATURA MEDIA: PROMEDIO  
 DEP.: ZACAPA MUN.: ESTANZUELA  
 ELEVACION: 210.00 msnm



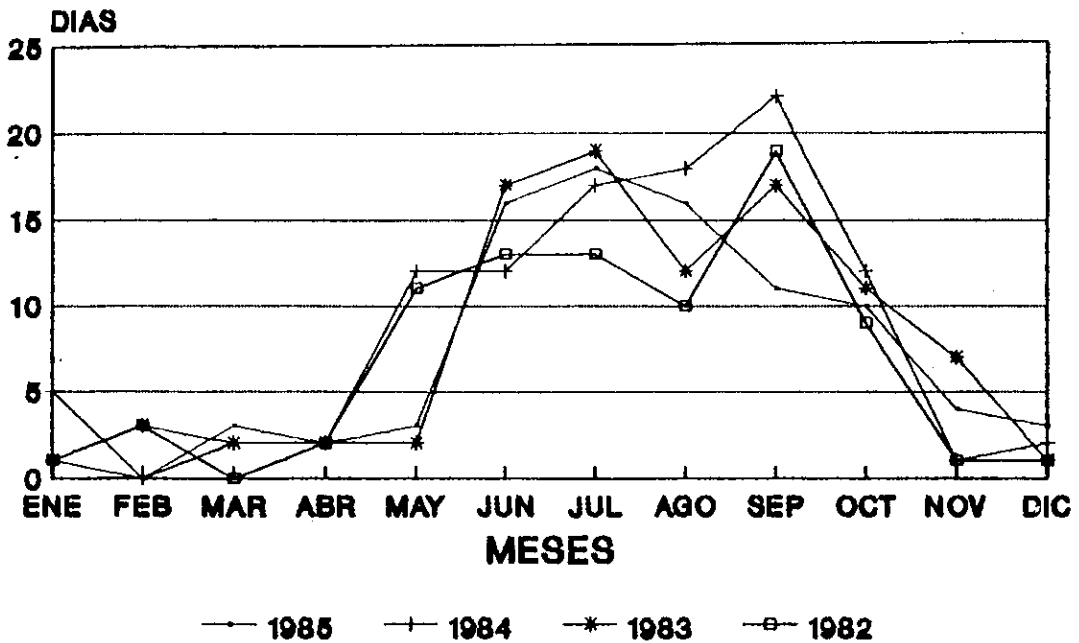
FUENTE: INSIVUMEH

**DIAS DE PRECIPITACION**  
**DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA**  
**ELEVACION: 210.00 msnm**



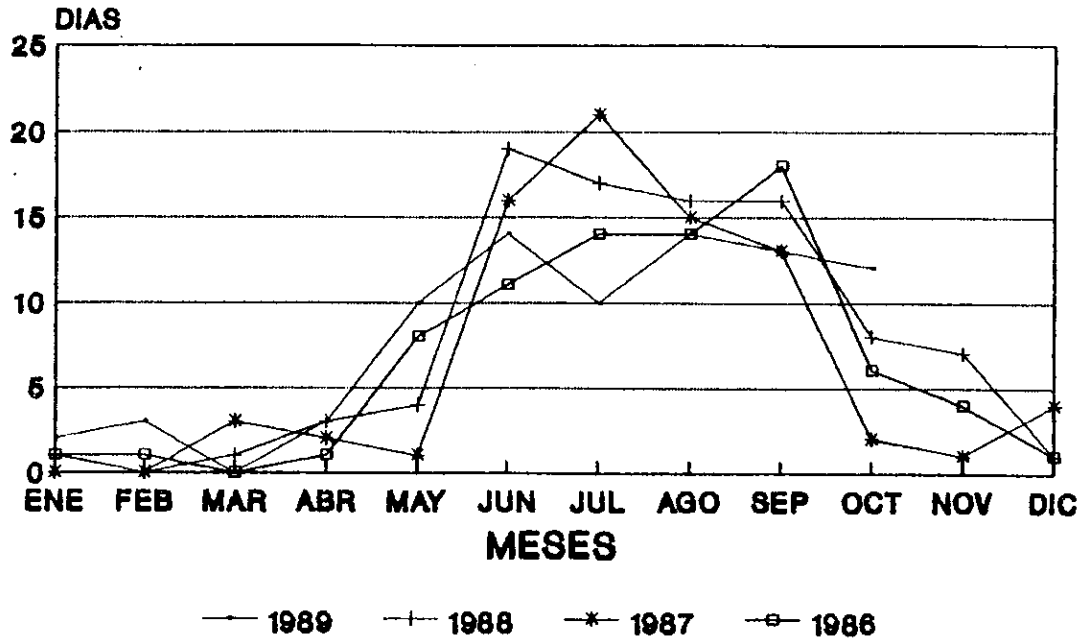
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**DIAS DE PRECIPITACION  
 DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
 ELEVACION: 210.00 msnm**



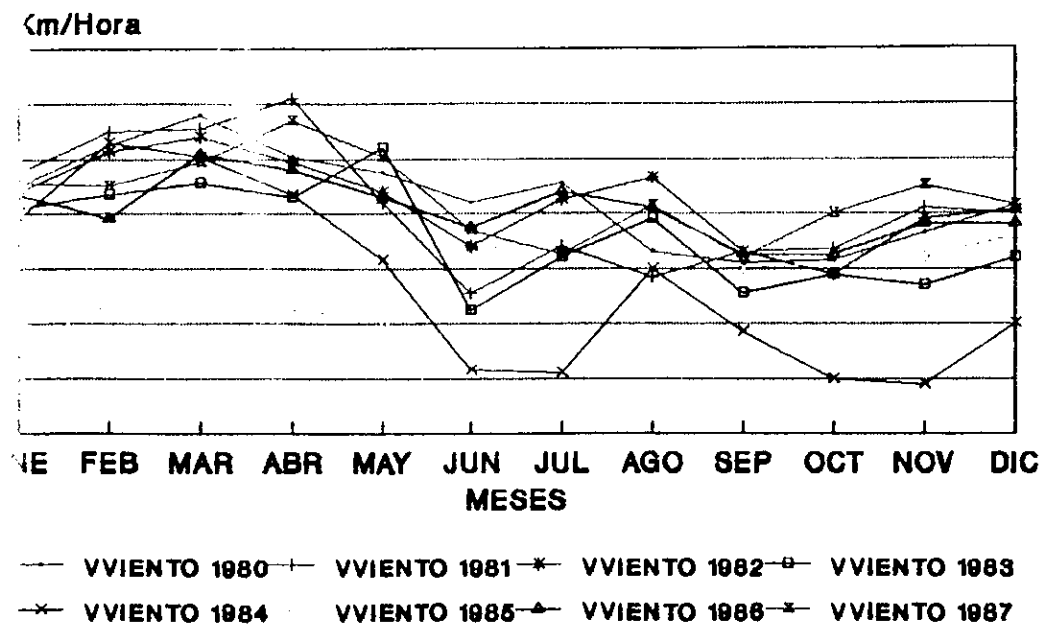
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**DIAS DE PRECIPITACION**  
**DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA**  
**ELEVACION: 210.00 msnm**



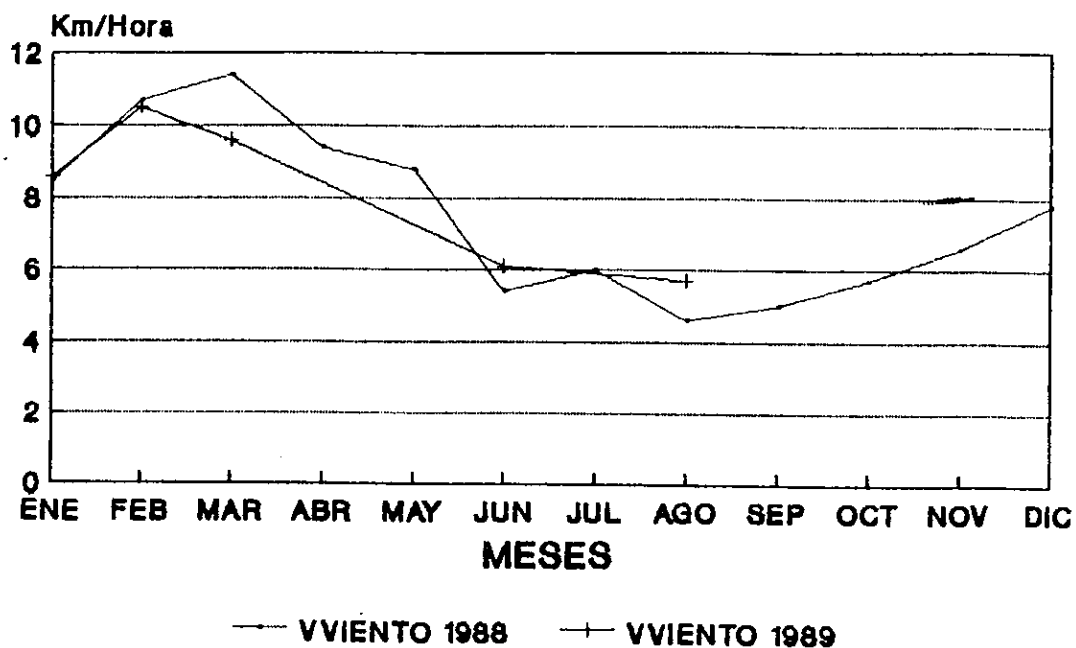
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO  
DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
ELEVACION: 210.00 msnm**



FLUJO DE: PROEXAG/1990

**VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO  
DEP.:ZACAPA MUN.:ESTANZUELA  
ELEVACION: 210.00 msnm**

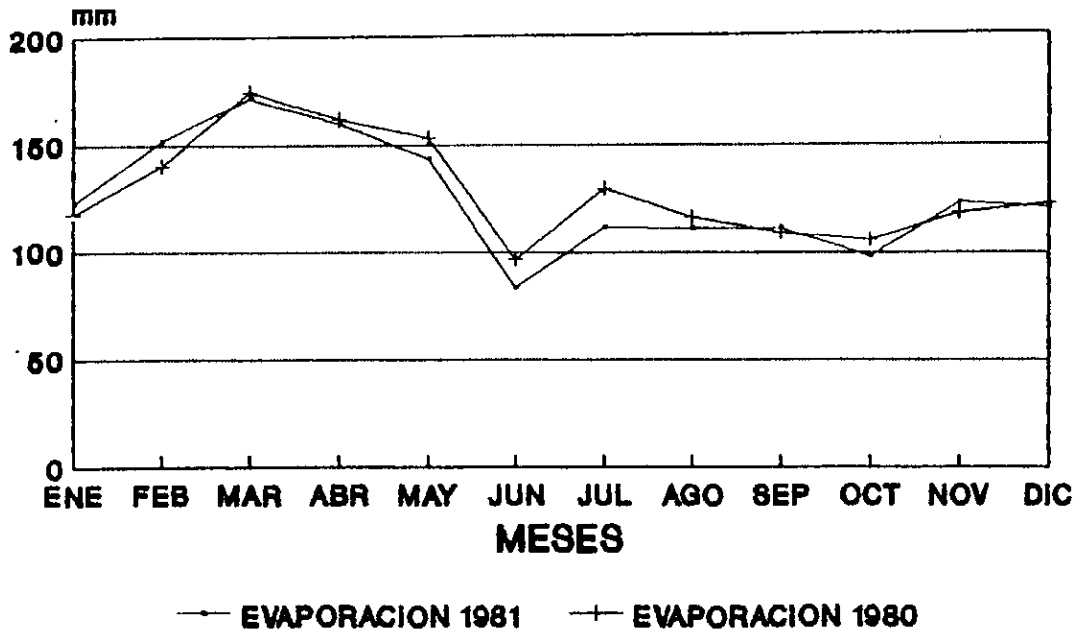


FUENTE: INSIVUMEH/1990

## GUATEMALA

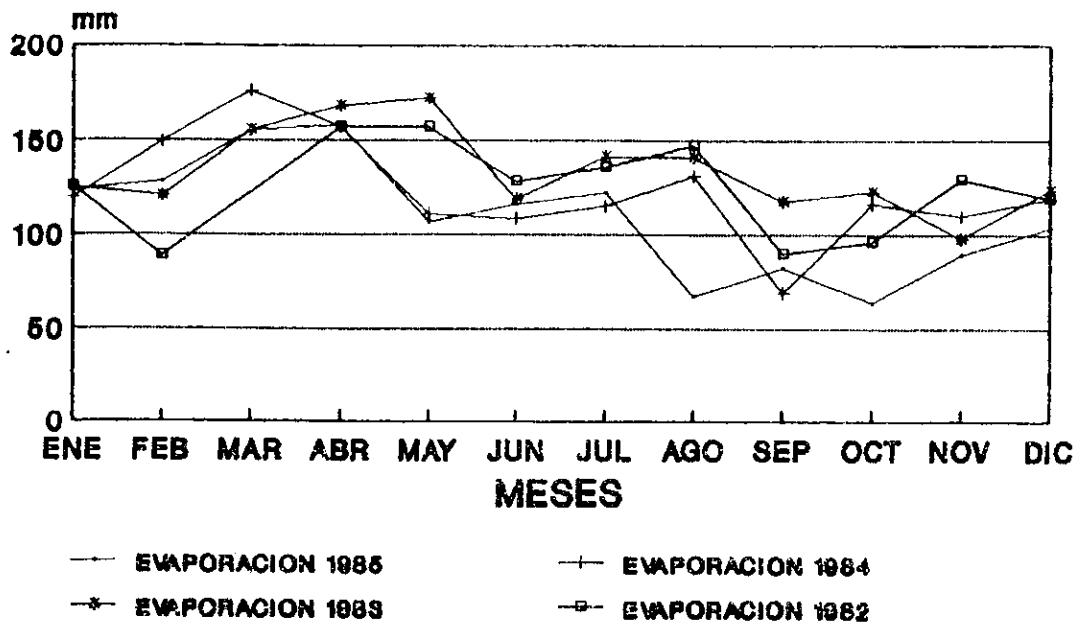
EVAPORACION A LA INTEMPERIE	106
EVAPORACION A LA SOMBRA	109
RADIACION SOLAR MEDIA	112
BRILLO SOLAR PROMEDIO	115
HUMEDAD RELATIVA MEDIA:PROMEDIO	118
PRECIPITACION TOTAL	119
TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA	122
TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA	125
TEMPERATURA MEDIA:PROMEDIO	128
DIAS DE PRECIPITACION	129
VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO	132
PRESION ATMOSFERICA MEDIA	135

**EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm**



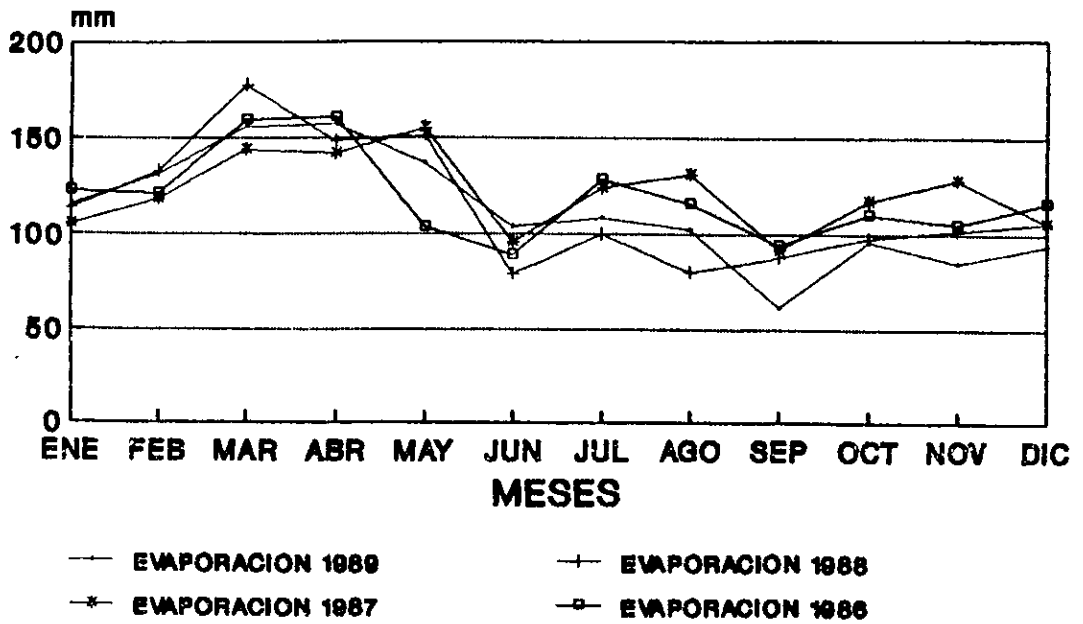
**FUENTE: INSIVUMEN/1980**

**EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm**



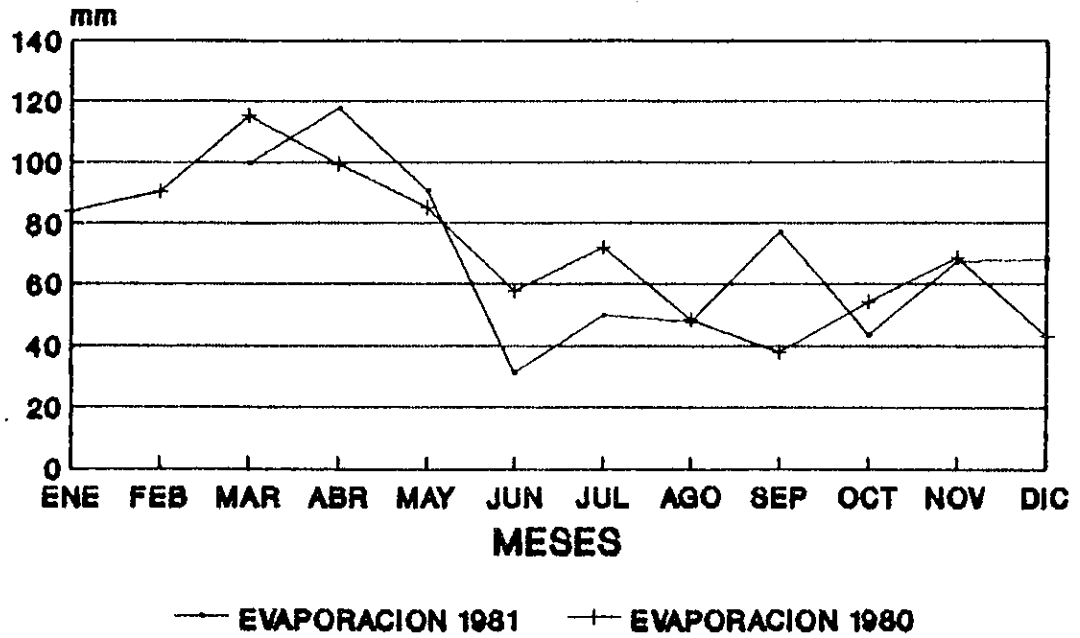
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**EVAPORACION A LA INTEMPERIE  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm**



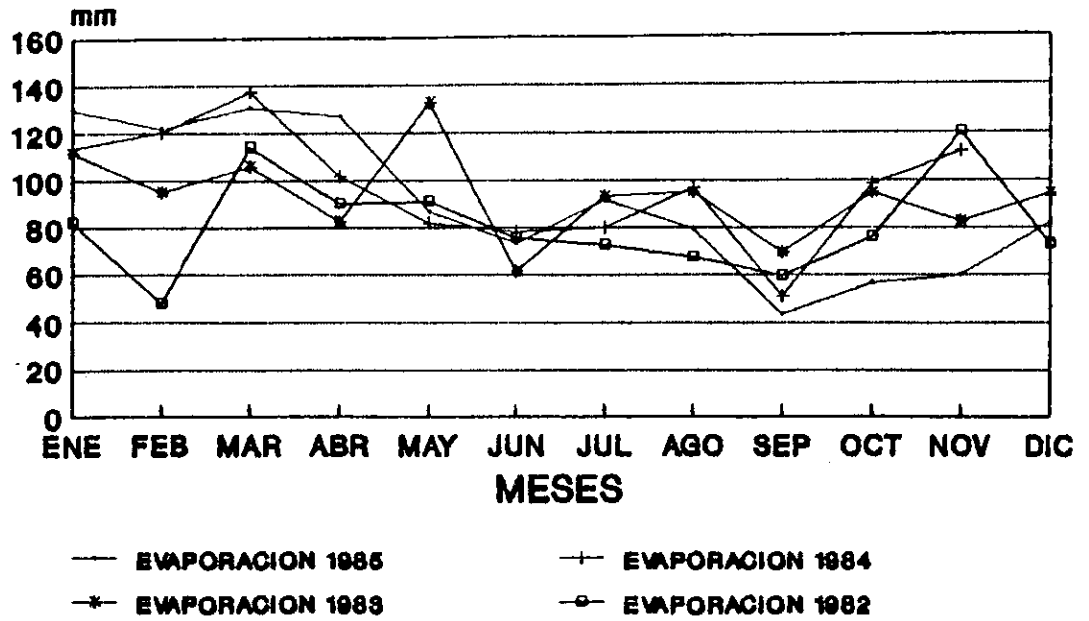
FUENTE: IN8IVUMEH

**EVAPORACION A LA SOMBRA**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



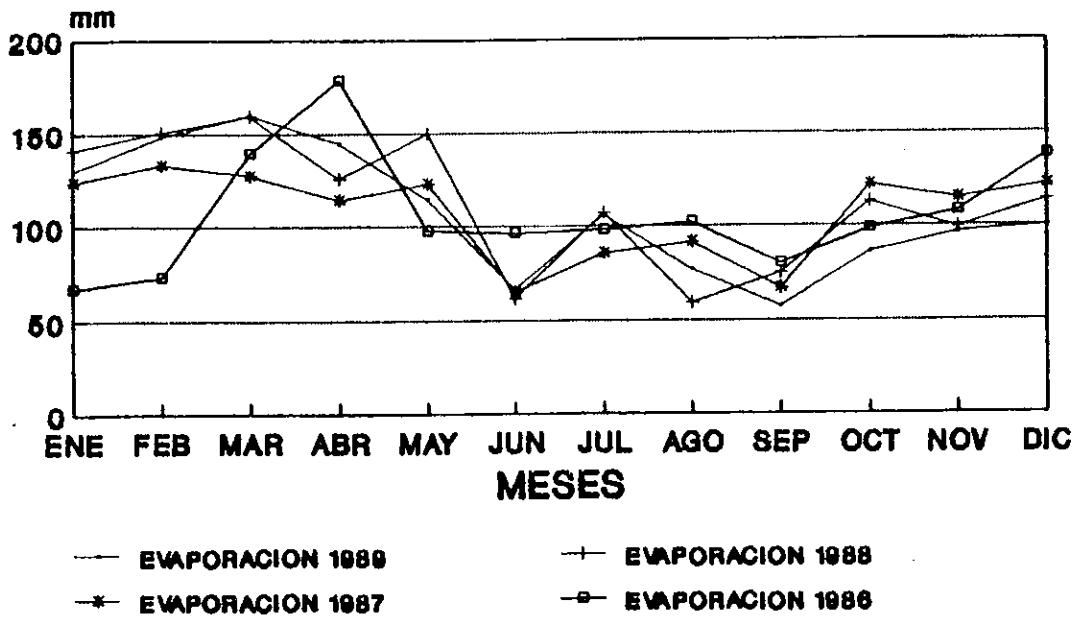
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**EVAPORACION A LA SOMBRA**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



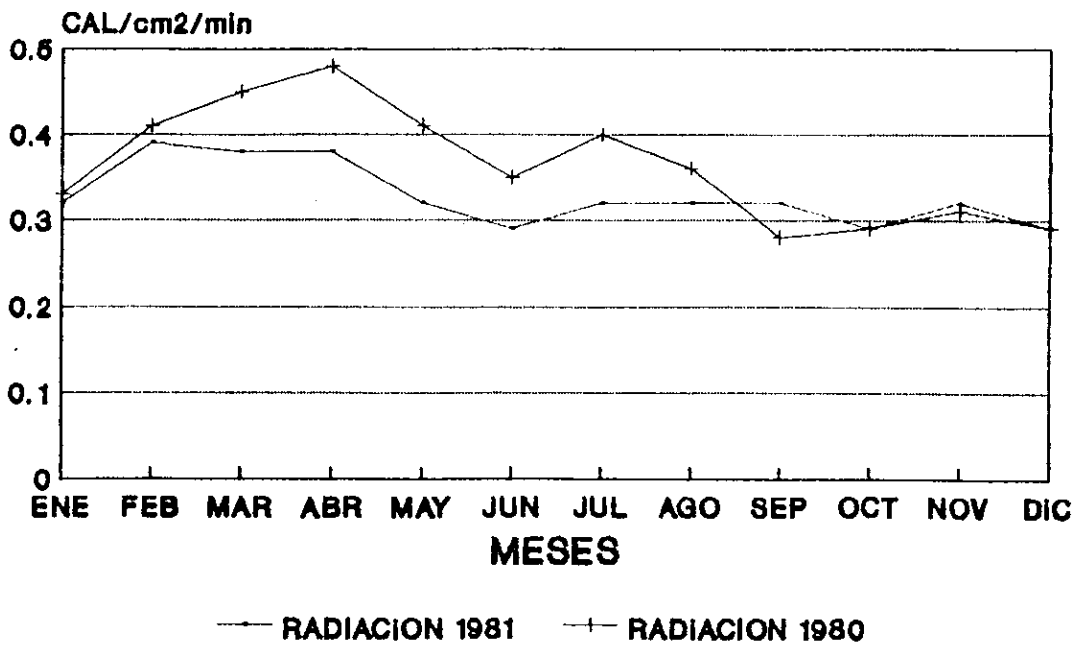
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**EVAPORACION A LA SOMBRA**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



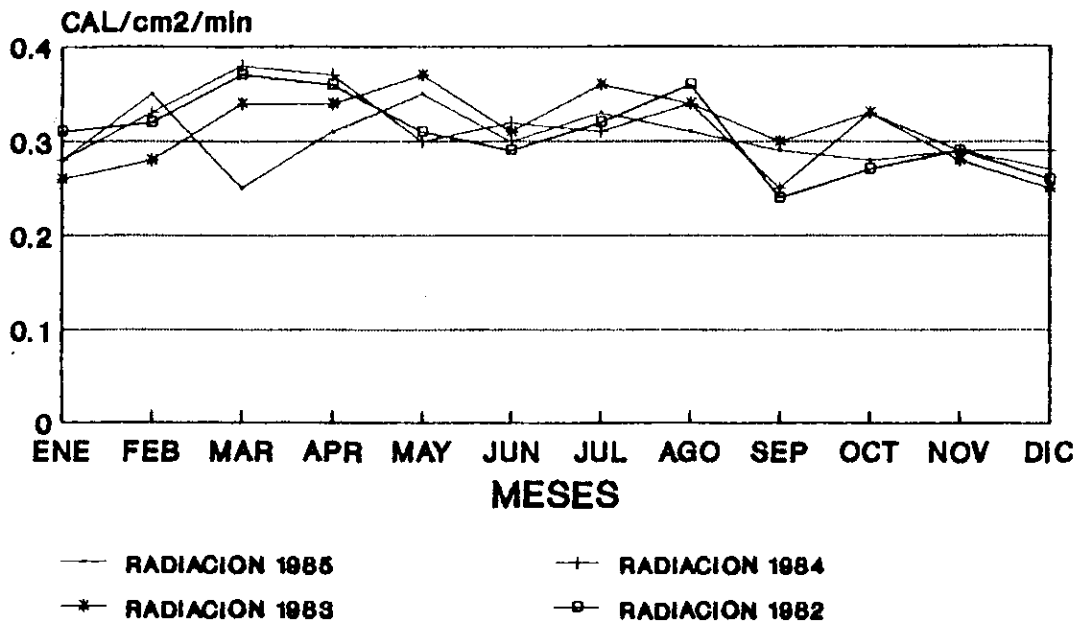
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**RADIACION SOLAR MEDIA MENSUAL Y ANUAL**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



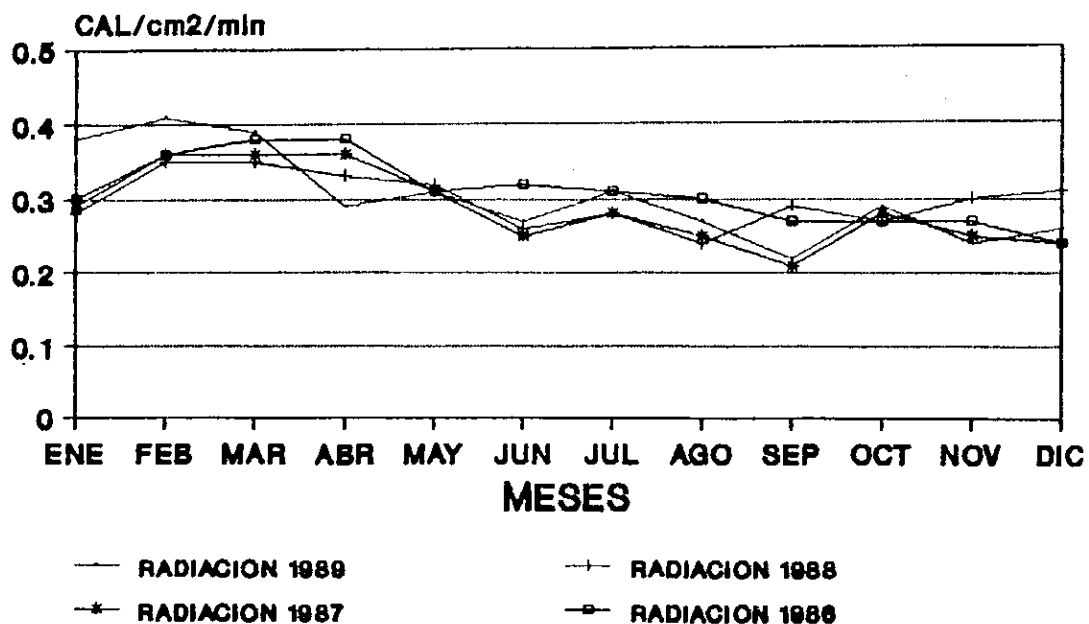
FUENTE: INSIVUMEH/1980

**RADIACION SOLAR MEDIA MENSUAL Y ANUAL  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 1502.00 msnm**



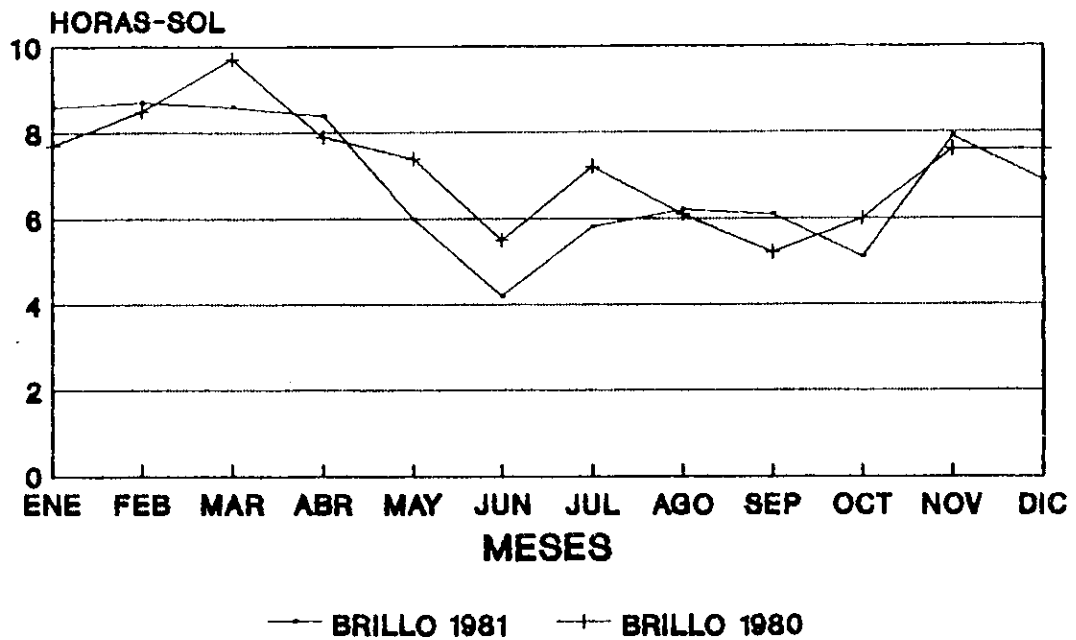
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**RADIACION SOLAR MEDIA MENSUAL Y ANUAL**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



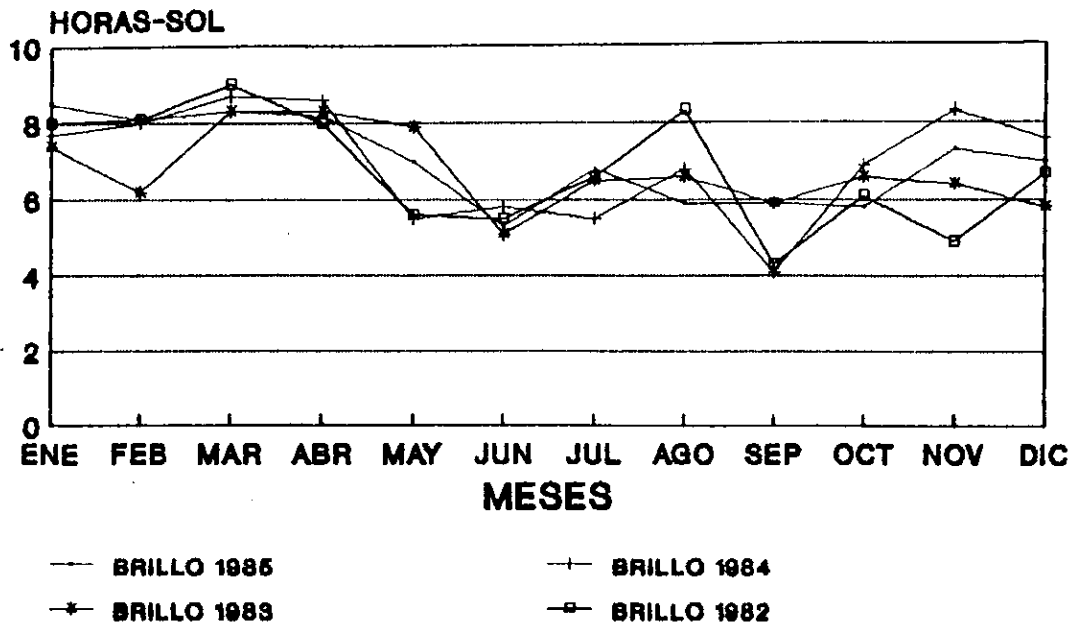
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**BRILLO SOLAR PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm**



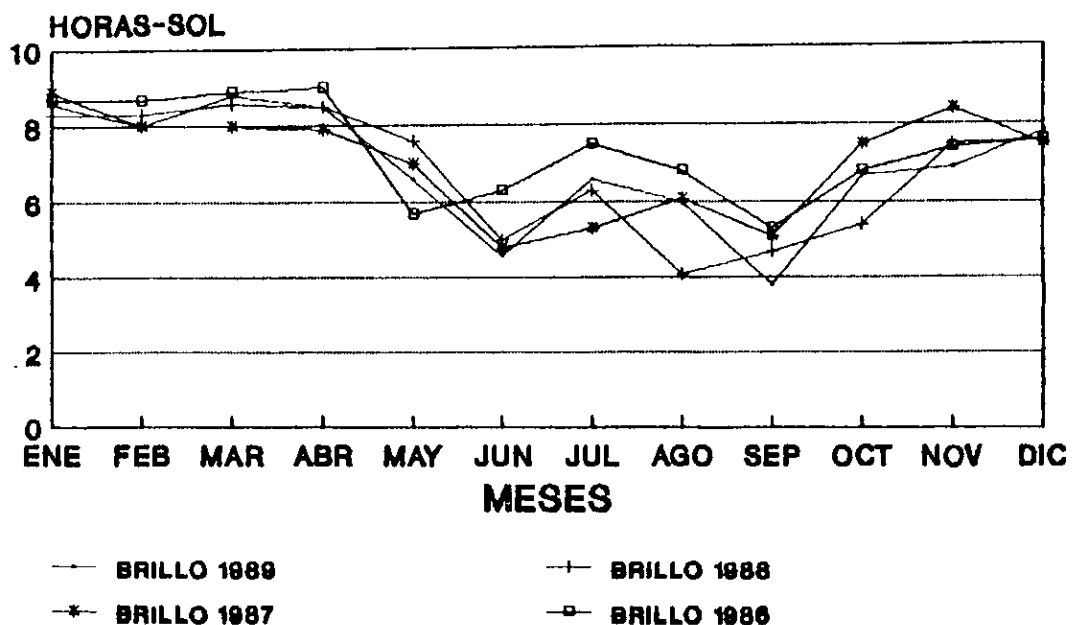
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**BRILLO SOLAR PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm**



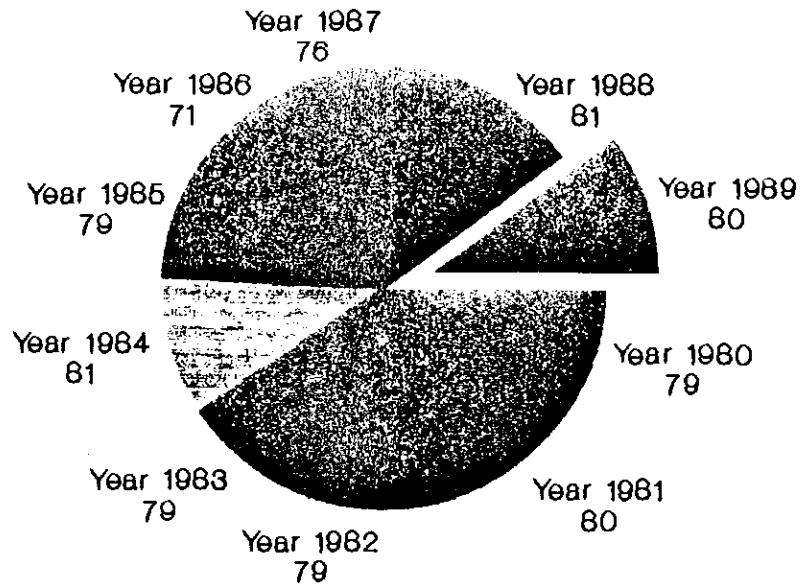
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**BRILLO SOLAR PROMEDIO MENSUAL Y ANUAL**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



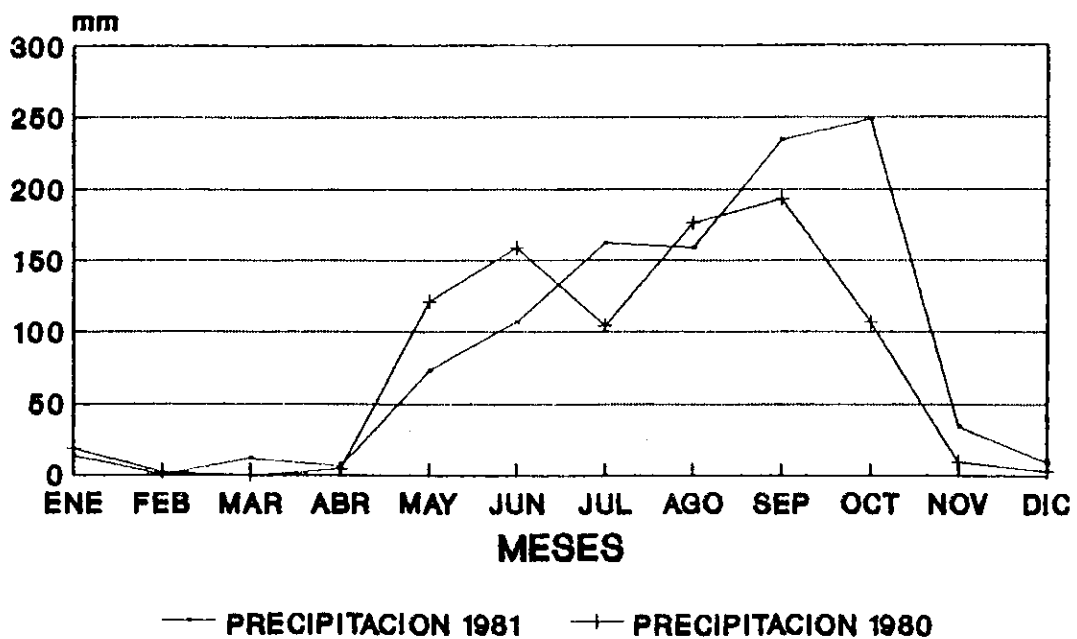
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**HUMEDAD RELATIVA MEDIA EN %  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 mnsnm**



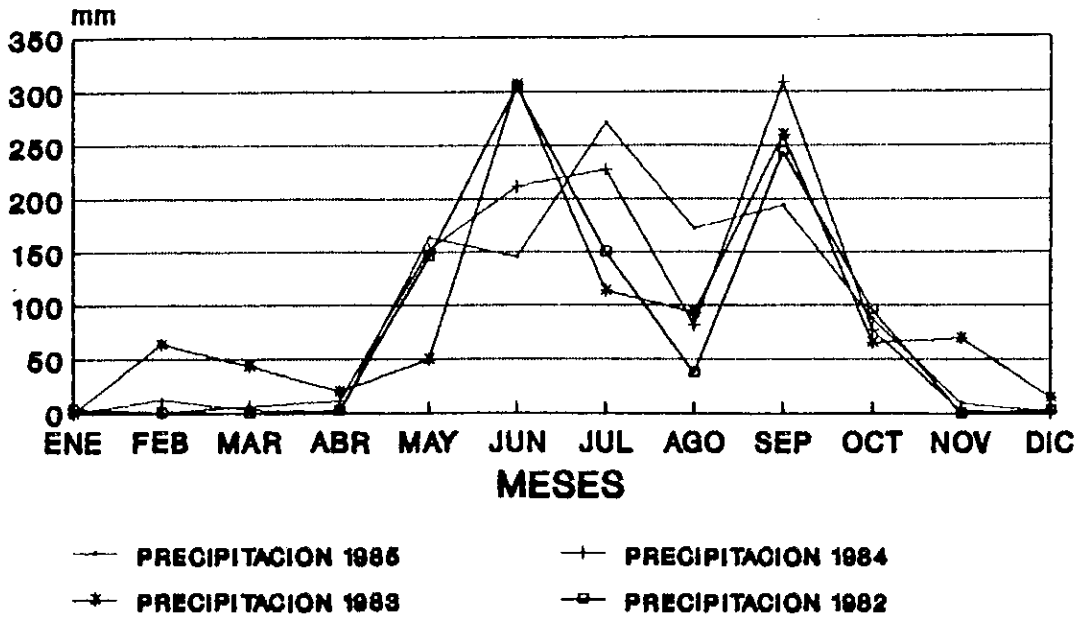
**FUENTE: INSIVUMEH/1990**

**PRECIPITACION TOTAL MENSUAL Y ANUAL  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm**



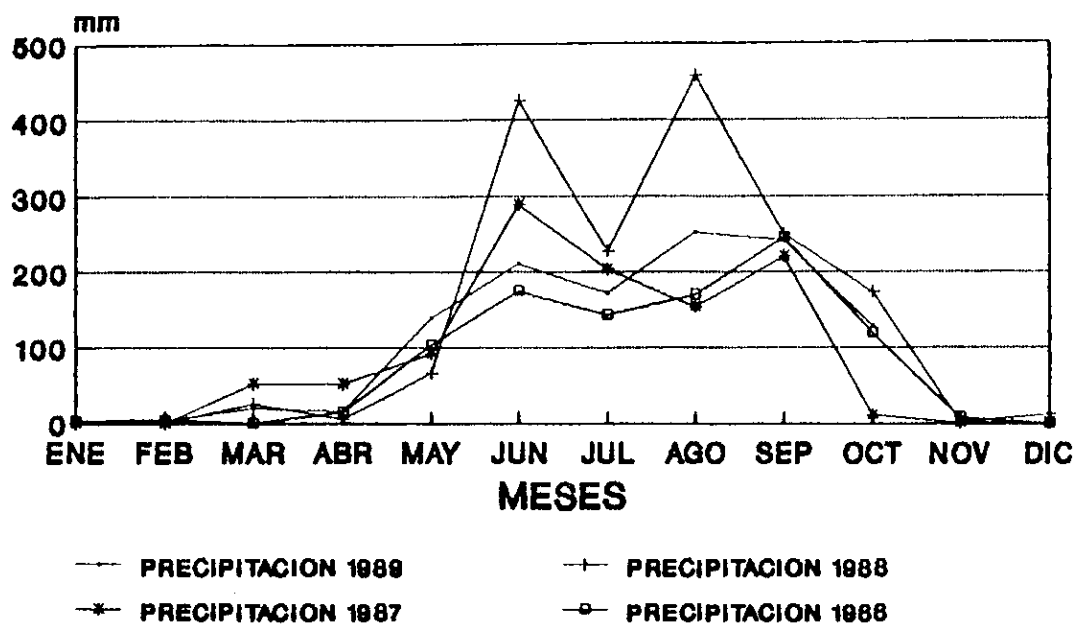
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**PRECIPITACION TOTAL MENSUAL Y ANUAL  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm**



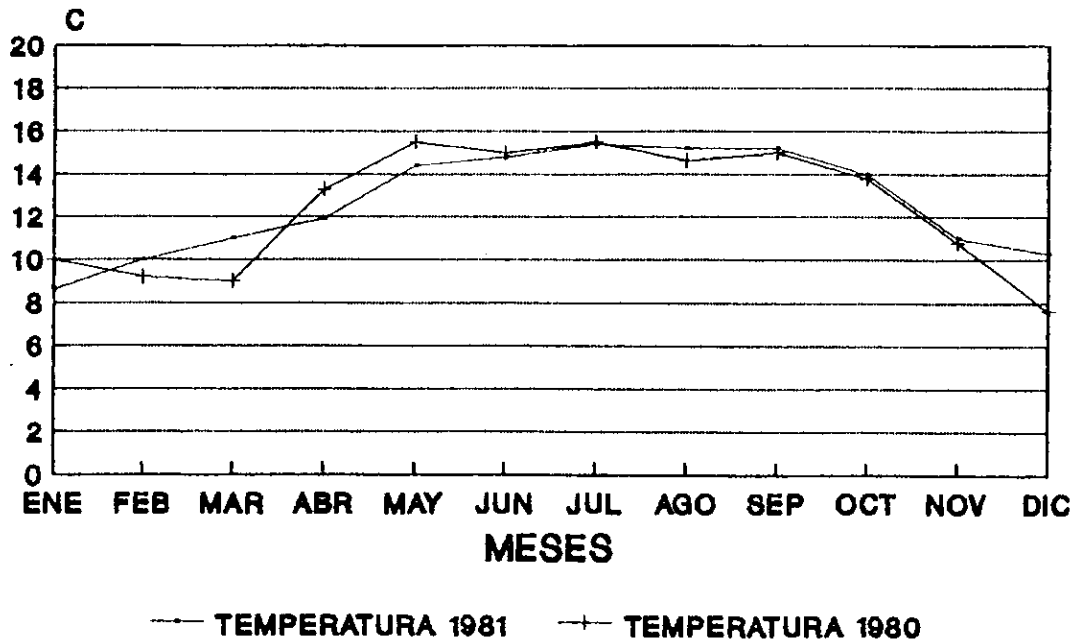
FUENTE: INSIVUMEH/1980

**PRECIPITACION TOTAL MENSUAL Y ANUAL  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm**



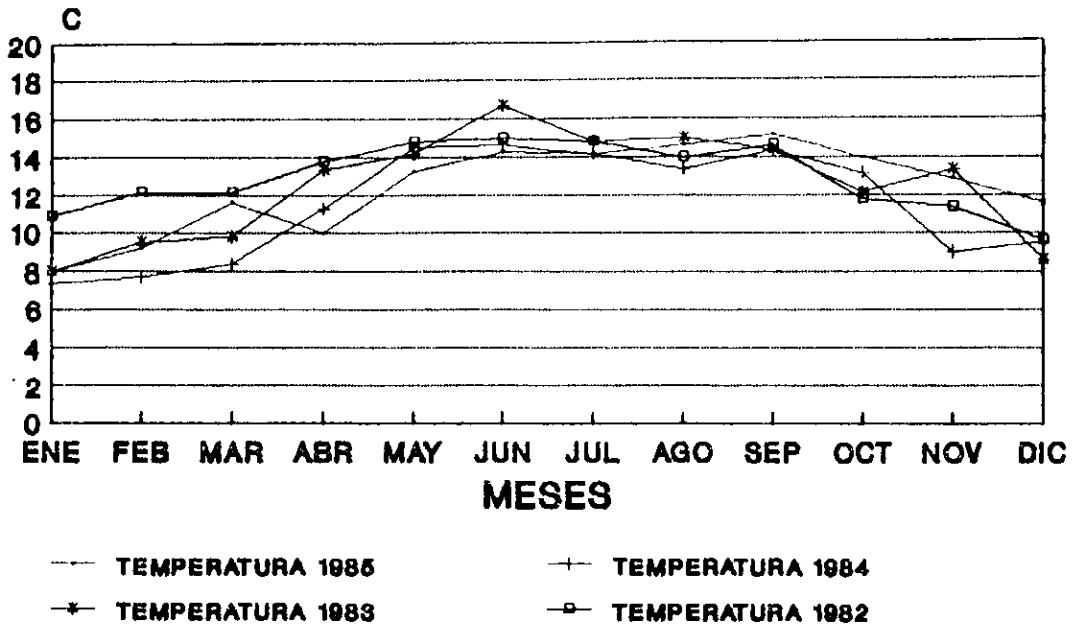
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm**



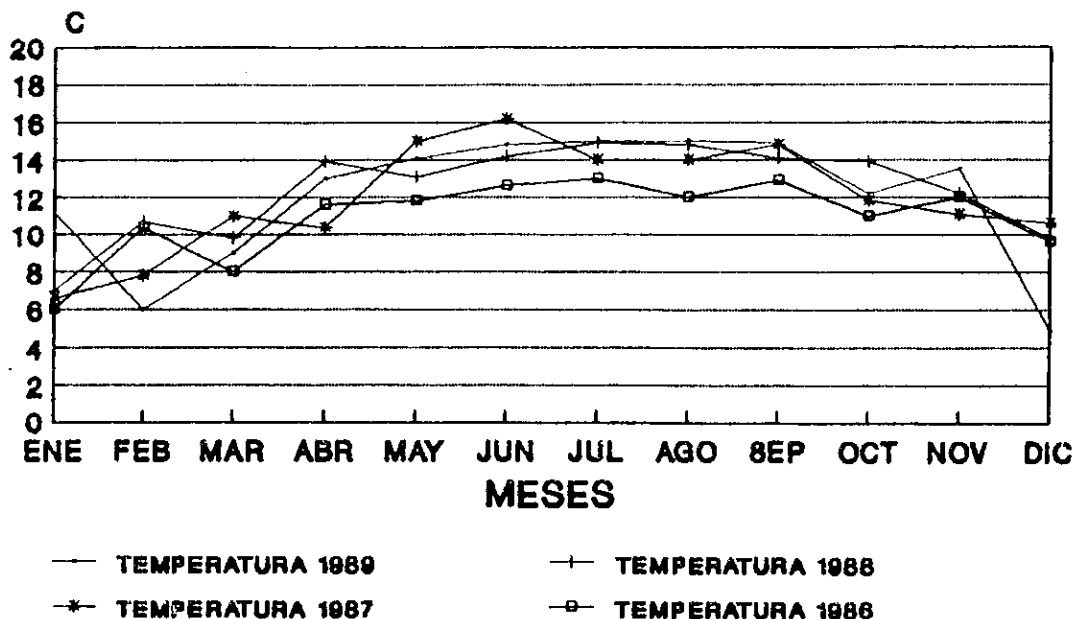
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



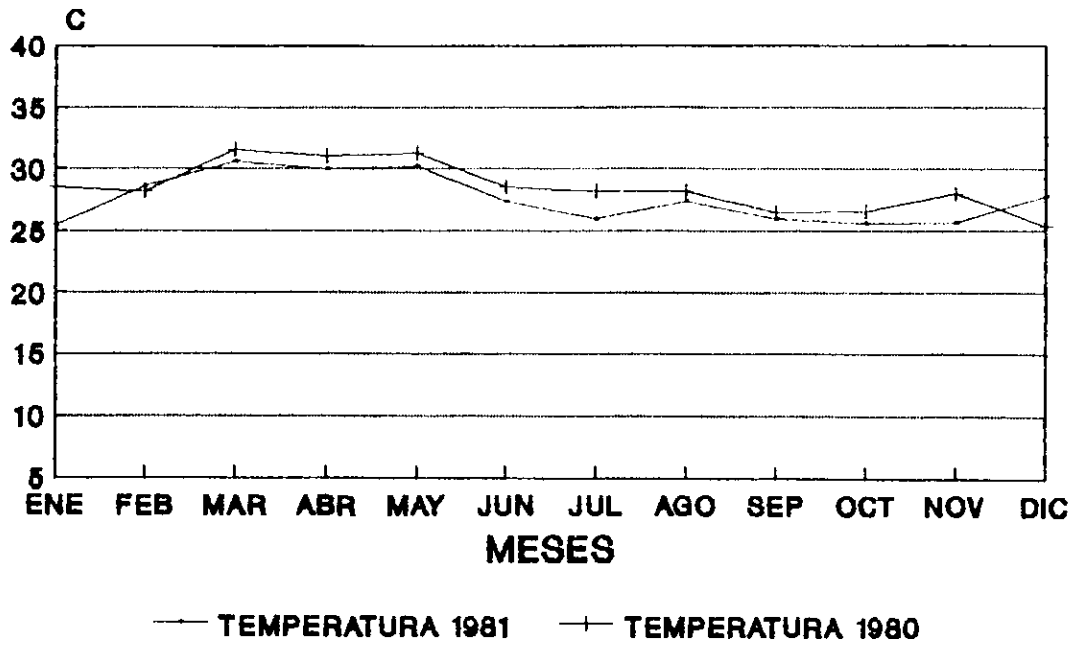
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm**



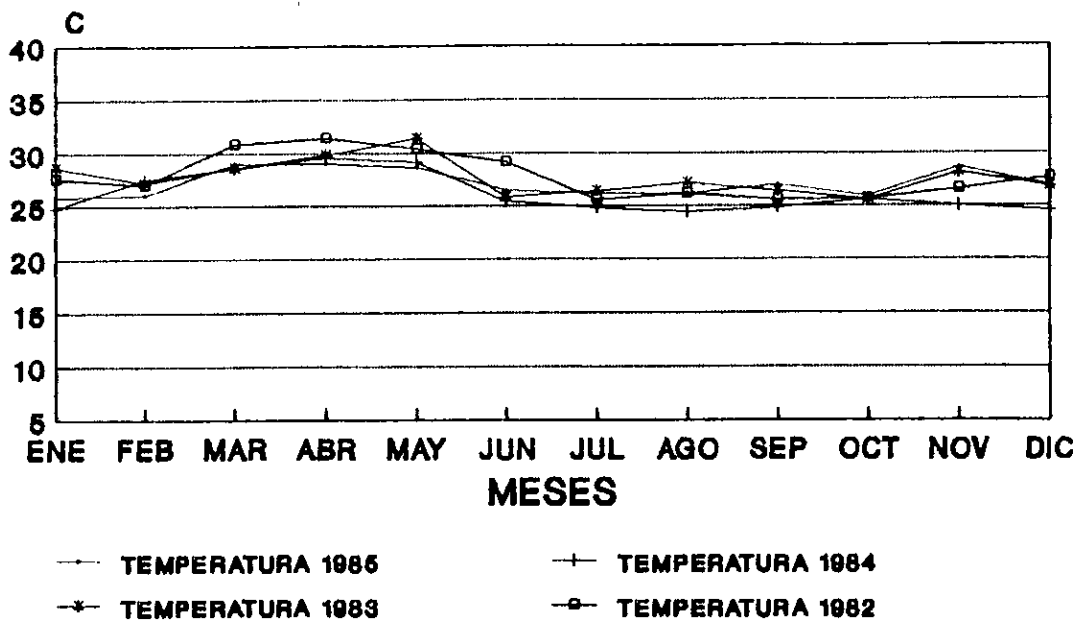
FUENTE: INSIVUMEH/1990

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm



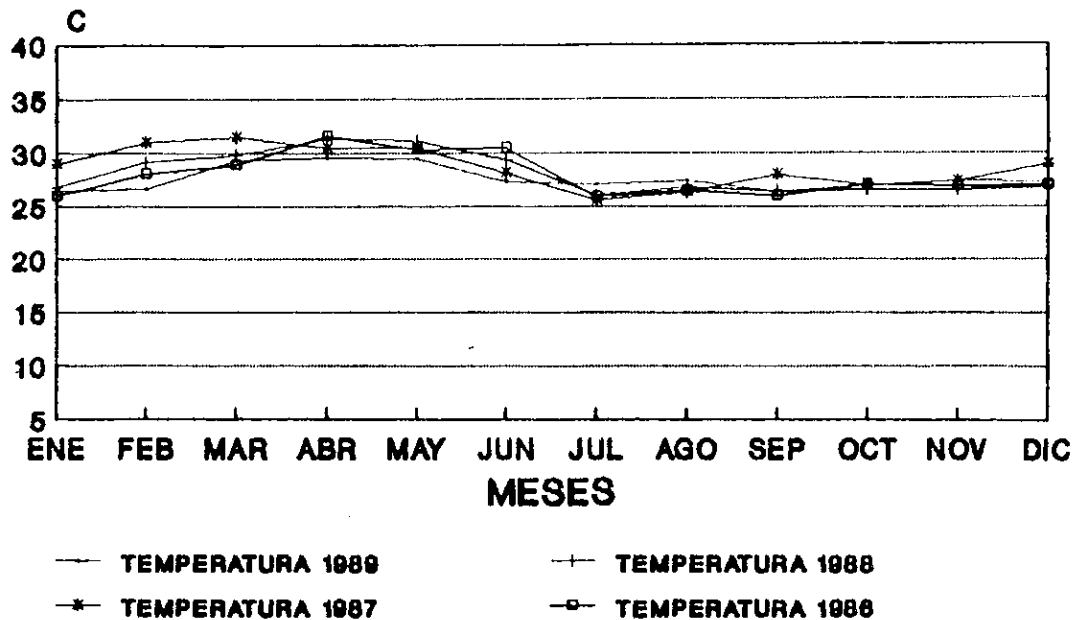
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm**



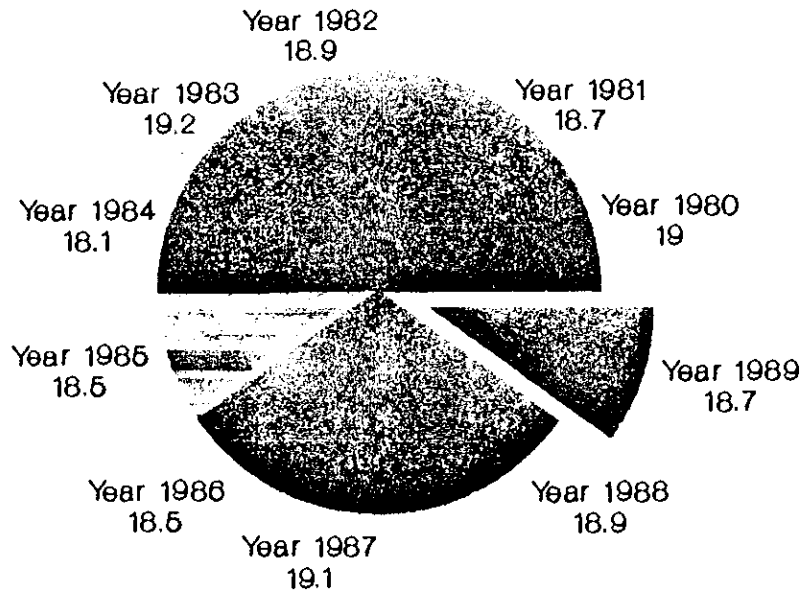
FUENTE: INSIVUMEH/1990

TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm



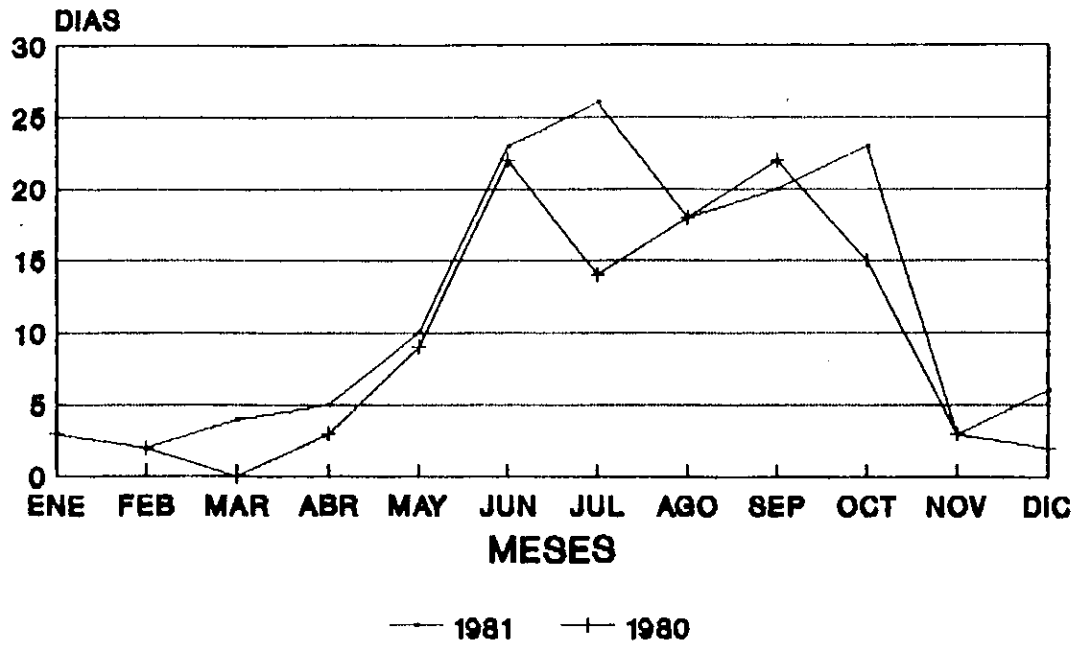
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**TEMPERATURA MEDIA EN GRADOS CENTIGRADOS  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 mmsm**



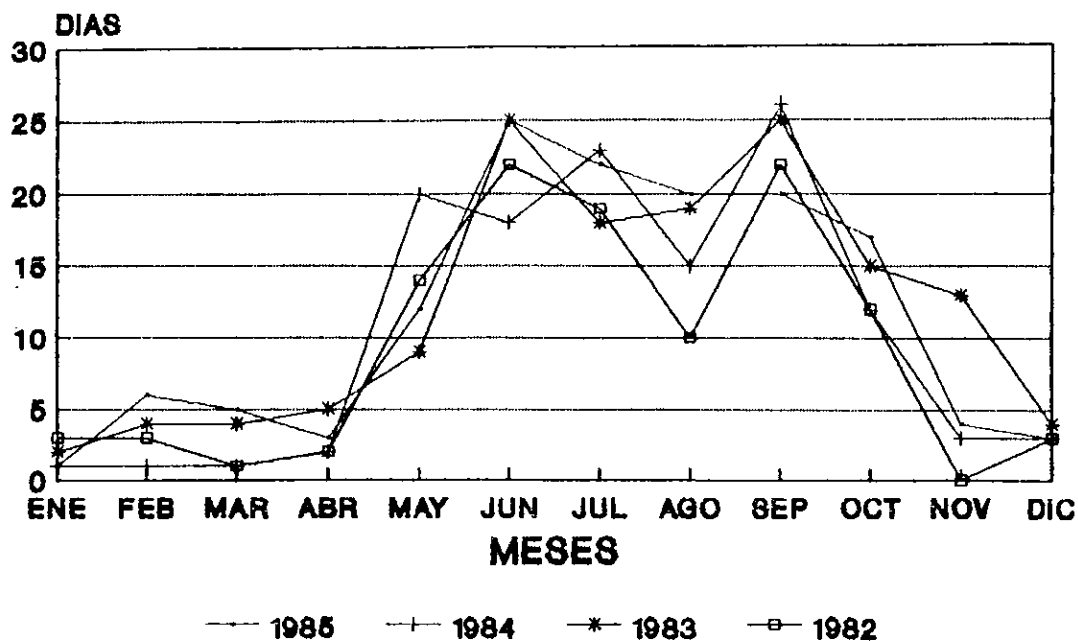
**FUENTE: INSIVUMEH/1990**

**DIAS DE PRECIPITACION**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



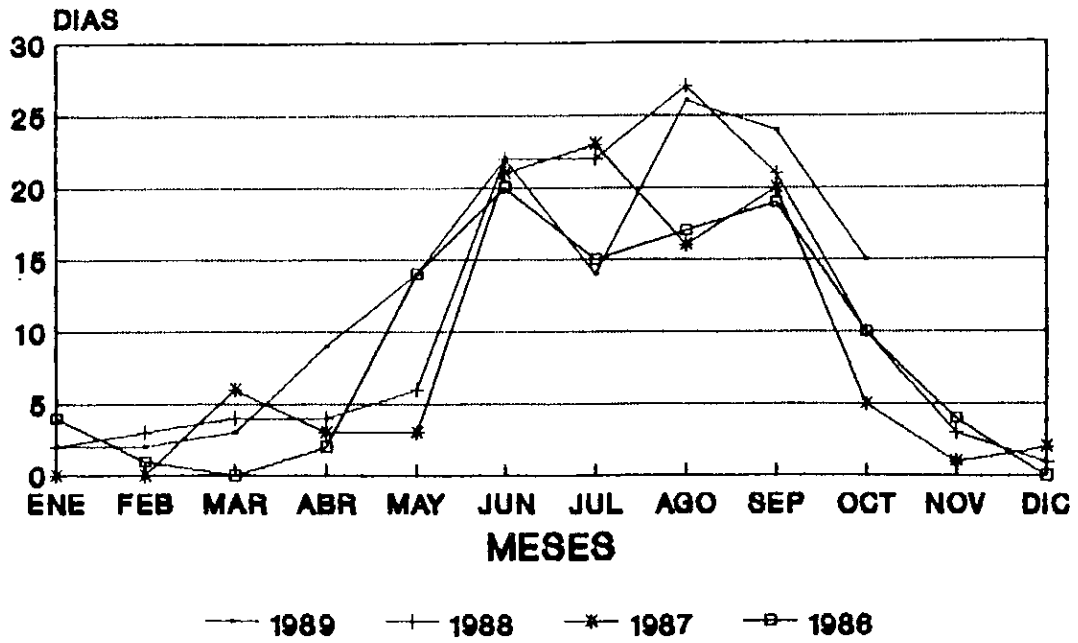
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**DIAS DE PRECIPITACION**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



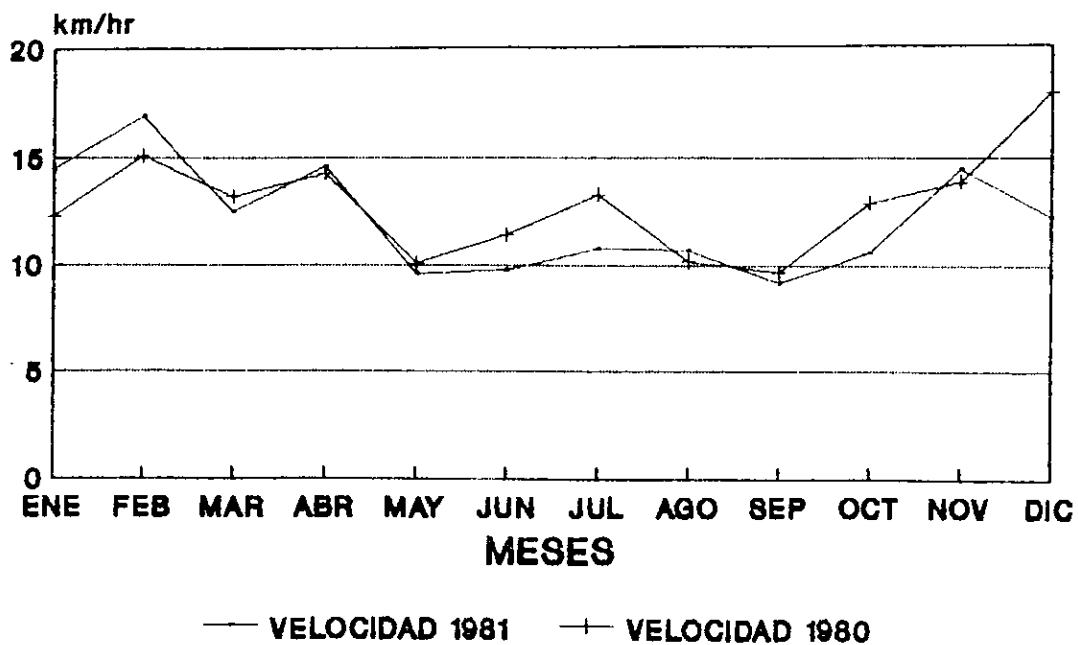
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**DIAS DE PRECIPITACION**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



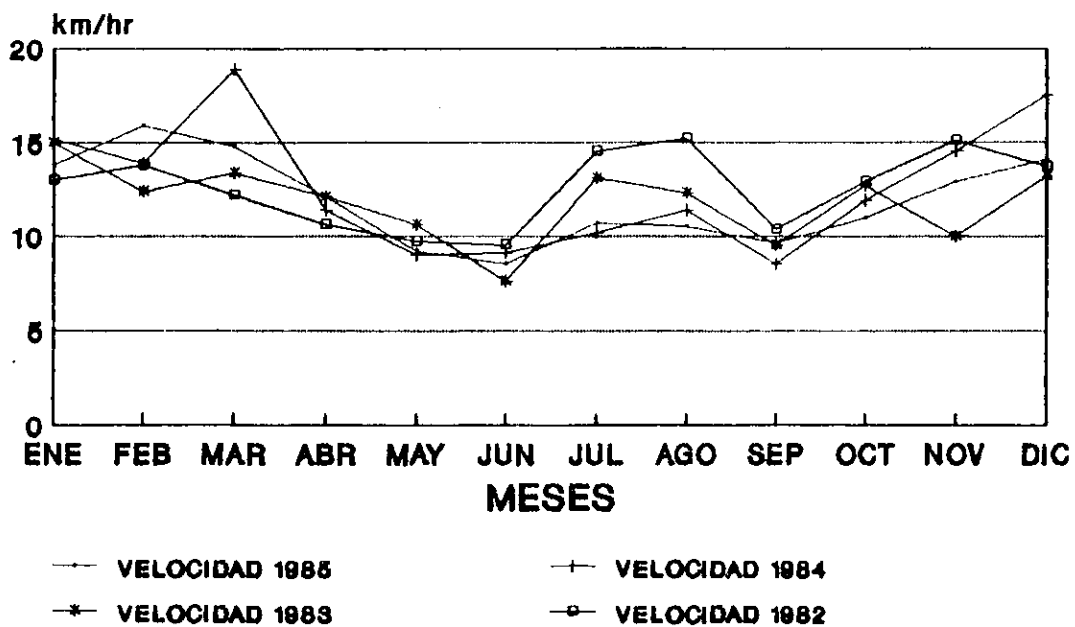
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm**



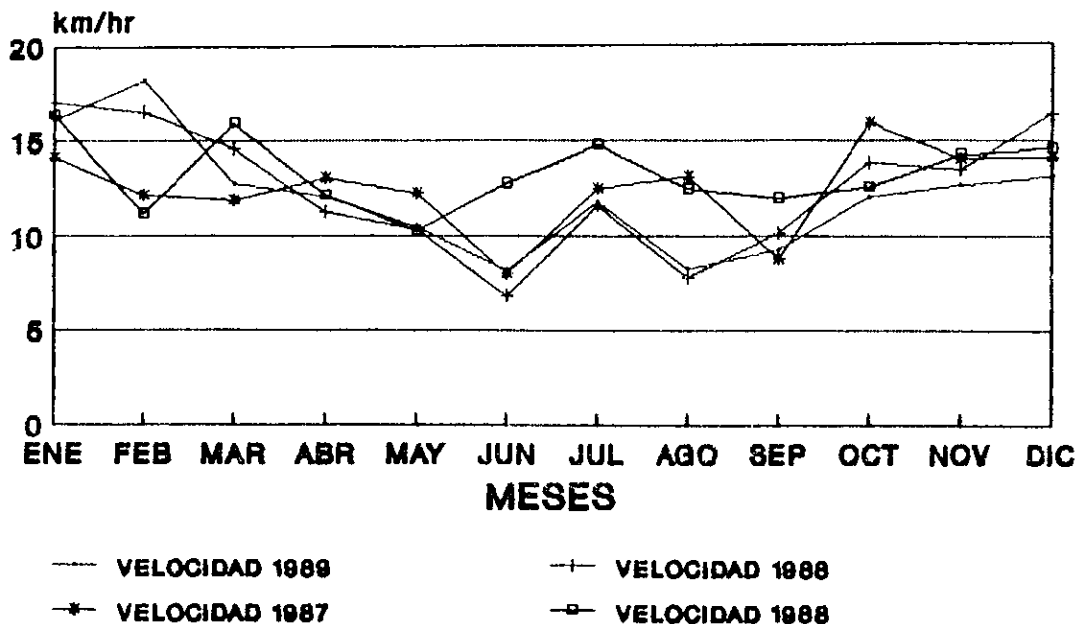
FUENTE: INSIVUMEH/1990

**VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm**



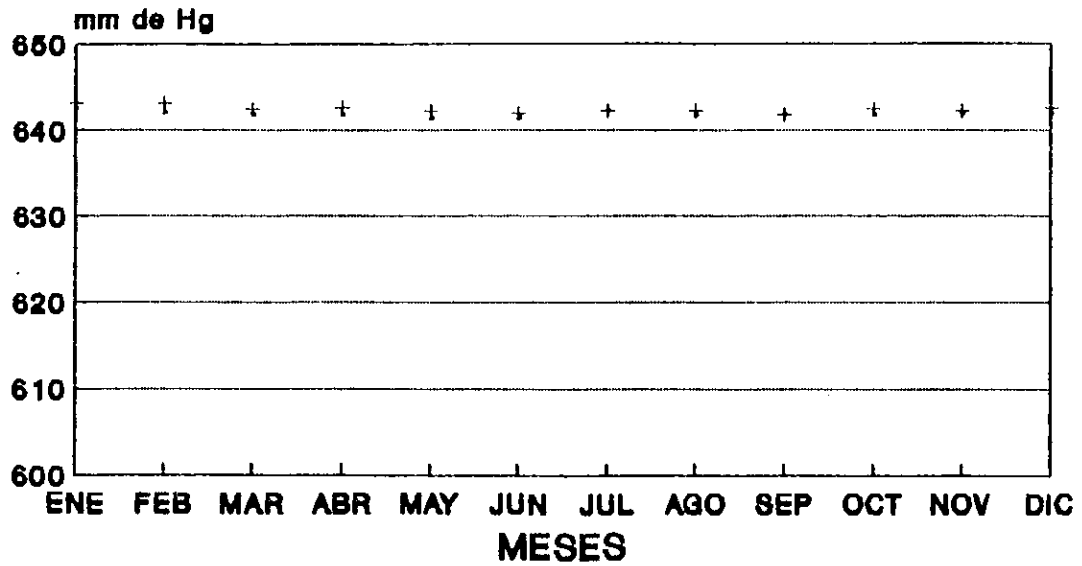
FUENTE: INBIVUMEH

**VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO  
 DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
 ELEVACION: 1502.00 msnm**



FUENTE: INSIVUMEH/1990

**PRESION ATMOSFERICA MEDIA  
DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA  
ELEVACION: 1502.00 msnm**

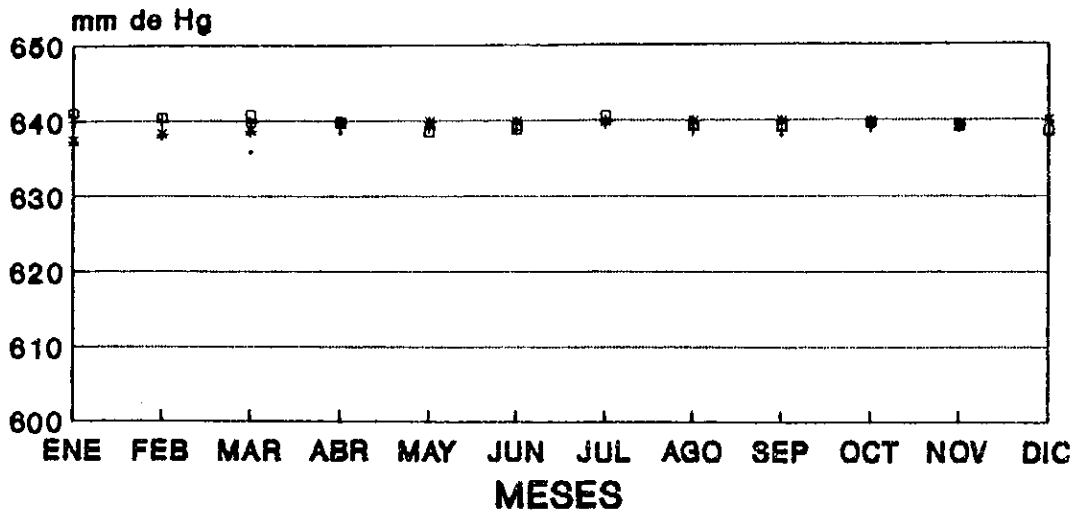


· PRESION 1981    + PRESION 1980

FUENTE: INSIVUMEH/1990



**PRESION ATMOSFERICA MEDIA**  
**DEP.:GUATEMALA MUN.:GUATEMALA**  
**ELEVACION: 1502.00 msnm**



· PRESION 1989  
\* PRESION 1987

+ PRESION 1988  
□ PRESION 1986

FUENTE: INSIVUMEH/1990