

# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

---

FACULTAD DE AGRONOMIA



DETERMINACION DE LA RELACION ENTRE LA EVAPORACION Y  
OTRAS VARIABLES DEL CLIMA EN AUTLAN JALISCO.

---

## TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO AGRONOMO  
P R E S E N T A N:

MARGARITO CASILLAS MADERA  
GUILLERMO GONZALEZ DELGADILLO.

Las Agujas Mpio. de Zapopan, Jal. Junio 1993.

---



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
FACULTAD DE AGRONOMIA

SECCION ESCOLARIDAD

EXPEDIENTE

NUMERO 0507/93

29 de abril de 1993

C. PROFESORES:

ING. EDUARDO RODRIGUEZ DIAZ, DIRECTOR  
ING. ADRIAN GOMEZ MEDRANO, ASESOR  
ING. JOSE MA. AYALA RAMIREZ, ASESOR

Con toda atención me permito hacer de su conocimiento, que habiendo sido aprobado el Tema de Tesis:

DETERMINACION DE LA RELACION ENTRE LA EVAPORACION Y OTRAS VARIABLES DEL CLIMA, EN AUTLAN, JALISCO

presentado por el (los) PASANTE (ES) GUILLERMO GONZALEZ DELGADILLO Y MARGARITO CASILLAS MADERA

han sido ustedes designados Director y Asesores, respectivamente, para el desarrollo de la misma.

Ruego a ustedes se sirvan hacer del conocimiento de esta Dirección su --- Dictamen en la revisión de la mencionada Tesis. Entre tanto, me es grato reiterarles las seguridades de mi atenta y distinguida consideración.

A T E N T A M E N T E  
" PIENSA Y TRABAJA "  
EL SECRETARIO

H.C. SALVADOR MENA MONGUIA.

ryr\*

mam



**UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA

Sección ESCOLARIDAD  
Expediente .....  
Número 0507/93.....

29 de abril de 1993

ING. JOSE ANTONIO SANDOVAL MADRIGAL  
DIRECTOR DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA  
DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
PRESENTE

Habiendo sido revisada la Tesis del (los) Pasante (es)  
GUILLERMO GONZALEZ DELGADILLO Y MARGARITO CASILLAS MADERA

titulada:

DETERMINACION DE LA RELACION ENTRE LA EVAPORACION Y OTRAS  
VARIABLES DEL CLIMA, EN AUTLAN, JALISCO

Damos nuestra Aprobación para la Impresión de la misma.

DIRECTOR

ING. EDUARDO RODRIGUEZ DIAZ

ASESOR

ASESOR

ING. ADRIAN GOMEZ MEDRANO

ING. JOSÉ MA. AYALA RAMIREZ

srd'

mam

Al contestar este oficio citese fecha y número

## A G R A D E C I M I E N T O S

A la universidad de Guadalajara, nuestro reconocimiento por habernos brindado la oportunidad de formarnos profesionalmente

A la facultad de Agronomía por haber sido la fuente principal de nuestros conocimientos y experiencias.

Al Ing. EDUARDO RODRIGUEZ DIAZ por su apoyo como Director de la presente tesis.

A nuestros Asesores Ing. JOSE MA. AYALA RAMIREZ e Ing. - - ADRIAN GOMEZ MEDRANO, por su incondicional colaboración.

Al M.C. JOSE LUIS SEPULVEDA TORRES, por su valiosa e incondicional colaboración para la realización de esta tesis.

A nuestros maestros con todos nuestros respetos por su esfuerzo para transmitirnos sus conocimientos.

A todas las personas, que de una u otra forma nos ayudaron para la realización de éste trabajo.

A todos nuestros compañeros y amigos.

G R A C I A S.

## DEDICATORIAS

A mis padres:

Sr. VICTOR CASILLAS GUZMAN y Sra. PAULA MADERA GARCIA, por el apoyo, esfuerzo y sacrificios para lograr mi formación profesional y humana.

A mis hermanos:

OBDULIA, HERMILA, ERNESTO, FLORENTINO, AURIA, GUADALUPE, - CATALINA, ROSARIO y FAUSTO. Que hicieron posible mi formación profesional al haberme dado todo su apoyo y confianza.

A mi esposa:

SILVIA VILLAFANA MERCADO, por su comprensión y apoyo para el logro de nuestros objetivos.

A mis hijos:

KARINA, VICTOR y FRANCISCO, con todo mi amor, por ser motivo de superación.

MARGARITO

## DEDICATORIAS

A mis padres:

Sr. PEDRO GONZALEZ PULIDO y Sra. MA. DE JESUS DELGADILLO -  
CARDENAS, con toda mi admiración por sus esfuerzos, estímulo  
y apoyos en todas las etapas de mi vida.

A mis hermanos:

GABRIEL, ESTELA, LEON LUIS, MANUEL, MA. GUADALUPE y OLIVIA,  
por todo su apoyo brindado para lograr mi formación profesio-  
nial.

A mi esposa:

ARCELIA EDITH SANCHEZ NATERAS, por su cariño comprensión y  
motivación en mi vida profesional.

A mis hijos:

RENATTO GUILLERMO, ARCELIA VALERIA y VICTOR ALBERTO, puesto  
que son la razón de mi existencia.

"GUILLERMO"

# I N D I C E

	PAGINAS
I. INTRODUCCION .....	2
1.1. Objetivos .....	4
1.2. Hipótesis .....	5
II. DESCRIPCION DE LA ZONA .....	6
2.1. Localización geográfica .....	6
2.2. Límites y colindantes .....	6
2.3. Orografía .....	6
2.4. Hidrología .....	7
2.5. Temperatura .....	7
2.6. Precipitación pluvial .....	7
2.7. Clima .....	7
2.8. Vientos dominantes .....	8
2.9. Suelos .....	8
2.10 Vegetación .....	8
III. REVISION DE LITERATURA .....	10
IV. METODOLOGIA .....	20
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	22
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	27
VII. BIBLIOGRAFIA .....	28
APENDICE .....	30

## I. INTRODUCCION

El estado del tiempo siempre ha sido objeto de nuestra atención e influencia en la vida cotidiana de una región determinada. No obstante, que diariamente se realizan en el mundo -- cientos de miles de observaciones meteorológicas, en la actualidad es difícil pronosticar que climatología reinará en una región - determinada en periodos a mediano y largo plazo. Hecho, que influye directamente en el ánimo del agricultor que queda indefenso ante fenómenos que no puede controlar.

Por otro lado, llama la atención la escasez de datos de confianza que se dispone en escala global; y además la falta de - algunos aparatos meteorológicos en las diferentes localidades, lo que hace difícil estudiar los fenómenos climatológicos sobre una base común. Pero también es justo señalar que se están dando -- pasos agigantados en la observación de dichos fenómenos, gracias al progreso de la aeronáutica y la utilización de radiosondas y satélites meteorológicos.

La relación entre los elementos del clima son de - gran importancia para poder comprender los cambios meteorológicos en el estado del tiempo. Si las relaciones son multivariadas en algún sitio, es difícil pronosticar que cambios se darán en el - clima en un corto plazo.

Los datos que se registran en una estación meteorológica sabemos que se relacionan de una manera directa cuando se toman de una a una, por ejemplo: La radiación - evaporación, el viento - presión atmosférica, la visibilidad - humedad relativa, etc. Un modelo sencillo como los anteriores no nos es de gran ayuda en la meteorología, ya que el clima es el resultado de la interacción de la intensidad y la dirección del viento, la temperatura, precipitación y humedad atmosférica, presión atmosférica, nubosidad, radiación solar y visibilidad.

En la presente investigación se estudiará la relación que tiene una de las importantes determinaciones en la agricultura como es la evaporación con otras variables del clima en la región de Autlán, Jalisco.

Al revisar la literatura existente sobre evaporación, se observa que por un lado se estudia en relación con la evapotranspiración, y por otro lado el estudio de la evaporación en correlación con los elementos del clima que influye en ella, principalmente: La temperatura, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento.

Así pues en este estudio se investigará que variables están en estrecha relación con la evaporación, para posteriormente emplear el modelo matemático como un auxiliar que nos ayude a comprender de una manera general, cual es el comportamiento del clima, respecto a la evaporación y que este modelo resultante sirva de auxiliar con fines en la agricultura.

i.1. Para cumplir con este estudio se plantean los siguientes objetivos:

- 1). Determinar la relación entre la evaporación y otras variables del clima, en el Area de influencia de la estación meteorológica de la Facultad de Agronomía de Atlán.
- 2). Los resultados que se obtengan de este estudio serán posteriormente utilizados con fines prácticos, principalmente en riego para el uso consuntivo en los -- cultivos que se practican en esta región.

1.2 Las hipótesis que se plantean en el presente trabajo son:

- 1). No existe influencia de una tercer variable entre evaporación-temperatura.
- 2). La temperatura promedio es la que ejerce una mayor influencia en la evaporación.

## II.- DESCRIPCION DE LA ZONA

### 2.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA.

La región de Autlán se encuentra localizada en la parte suroeste del estado de Jalisco a los 19 grados 46 minutos de latitud norte y 104 grados 22 minutos de longitud oeste. ( ver mapa No. 1 ) se estima que se encuentra a 900 metros sobre el nivel del mar.

### 2.2. LIMITES Y COLINDANTES.

Limita al norte con el municipio de Unión de Tula, al sur con los municipios de Casimiro Castillo y Cuautitlán y al oriente con los municipios de Tuxcacuesco y el Grullo.

En su extensión territorial se le considera una superficie de 927.32 Kilómetros cuadrados.

### 2.3 OROGRAFIA.

El municipio de Autlán de Navarro posee dentro de su extensión territorial tres formas diferentes de relieves: zonas accidentadas, zonas semiplanas y zonas planas. Las zonas accidentadas representan el 74%, localizadas al norte y sureste de la cabecera municipal, existiendo de 900 a 1,300 metros sobre el nivel del mar. Las zonas semiplanas, solamente representan el 2%, y se localizan al norte y sureste de la cabecera municipal, existiendo elevaciones de 900 a 1,300 metros sobre el nivel del mar. Las zonas planas, representan el 24% del municipio, localizadas en la periferia de la cabecera municipal, principalmente al este y sureste, sus elevaciones llegan a los 900 metros sobre el nivel del mar.

#### 2.4 HIDROLOGIA.

El municipio de Autlán de Navarro, cuenta con una serie de ríos y arroyos que llenan sus mantos en tiempos de lluvias, y solo el que se encuentra permanentemente con agua durante todo el año, es el río Ayuquila, el cual nace en la sierra de Quila con el nombre de río de Atengo, el cual se une al río Ayutla y finalmente forman el río Ayuquila en el cual se encuentra localizada la presa Tacotán y proximamente la presa Trigomil que tiene una gran influencia en la agricultura del municipio de Autlán de Navarro.

#### 2.5 TEMPERATURA.

La temperatura media anual es de 23.5 grados centígrados, se considera que la temperatura máxima extrema se registró en el mes de mayo en el año de 1963 y fué de 38.5 grados centígrados; la mínima registrada extrema fué de 2.0 grados centígrados y se registró en enero de 1955.

#### 2.6 PRECIPITACION PLUVIAL.

El municipio de Autlán de Navarro, cuenta con un promedio de 720 mm. de precipitación anual; los meses más lluviosos se consideran junio y julio. La precipitación máxima promedio anual se presentó en el año de 1958 y fué de 1000 mm. y la mínima promedio anual se presentó en el año de 1964 y fué de 540 mm.

#### 2.7 CLIMA.

La clasificación del clima para este municipio según la escala de Koeppen es la cw, templado lluvioso, con lluvias en verano, los meses mas lluviosos se presentan en mayo y junio con temperaturas promedio de 24.0 y 25.0 grados centígrados.

## 2.8 VIENTOS DOMINANTES.

El hecho de que este municipio se encuentra enclavada en la sierra madre occidental tiene una gran influencia en la dirección del viento, siendo la dominante de poniente a oriente con promedio de 12 kilómetros por hora.

## 2.9 SUELOS.

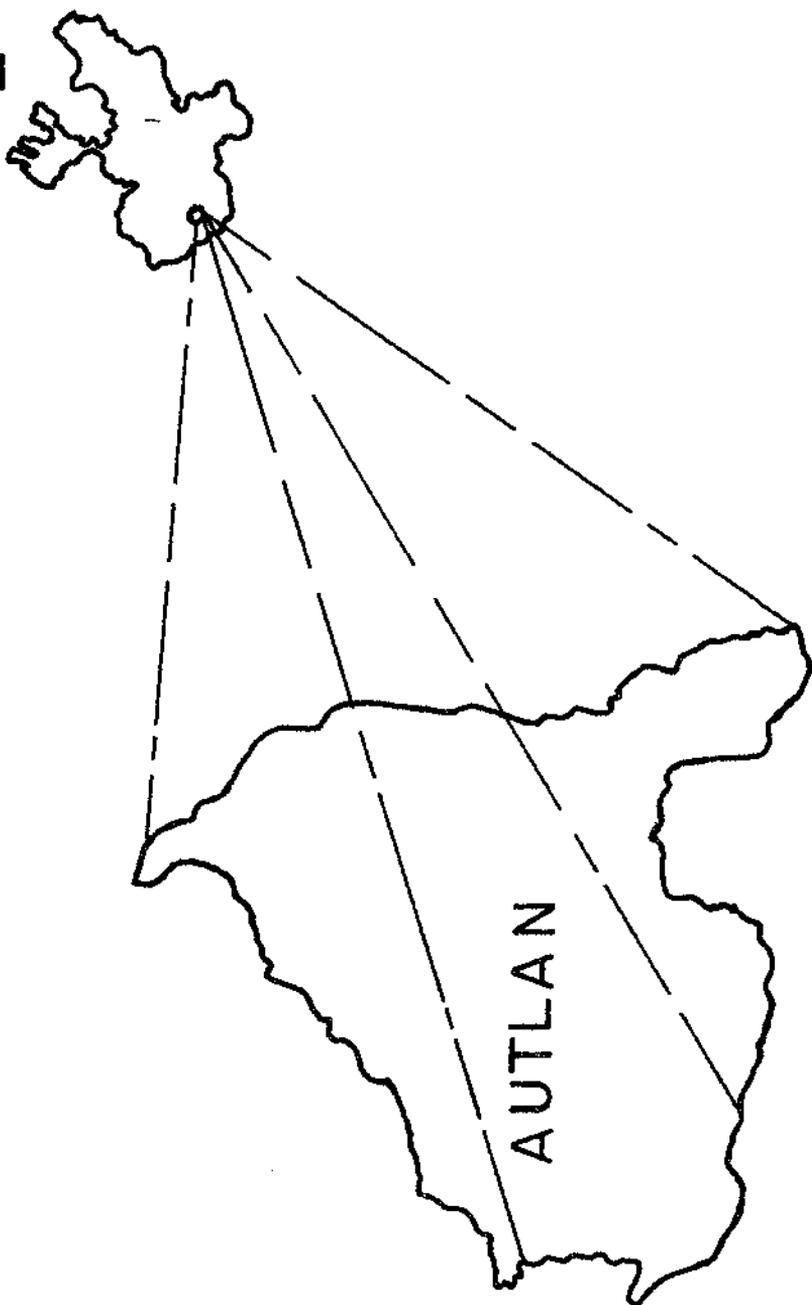
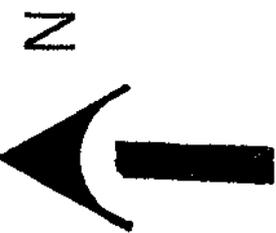
Los tipos de suelos que se presentan en este municipio son 6 en la siguiente orden de importancia:

a) francos, b) migajón limoso, c) migajón arenoso, d) migajón arcilloso, e) arcillosos y f) arenosos.

## 2.10 VEGETACION.

Este municipio presenta una vegetación muy variada; -- debido por un lado a las altitudes de la sierra madre occidental y por otro lado a la influencia de la cercanía del mar. La vegetación mas común son los encinos, y pinos y robles; y en las tierras planas, pastos, plantas herbáceas, cactus y espinos.

**MAPA N°1 AUTLAN**  
**LOCALIZACION**  
**GEOGRAFICA**



### III: REVISION DE LITERATURA

#### 2.1. Las variables del clima.

El servicio de conservación de suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América ( 1972 ) define a la evaporación de la siguiente manera: Es la dispersión del agua en forma de vapor de la superficie del suelo a la atmósfera. Los factores que afectan el grado de evaporación son la naturaleza de la superficie y la diferencia en la presión del vapor según la temperatura del viento y la presión atmosférica.

Withers y Vipond ( 1978 ) comentan que el índice de evaporación es una función de la resistencia a la transferencia del vapor a través del perfil de aire situado por encima de la superficie de evaporación y depende del gradiente de presión del vapor y la velocidad del viento local.

Linsley, Kohler y Paulhus ( 1975 ) comentan que la tasa de evaporación varía dependiendo de factores meteorológicos y de la naturaleza de la superficie evaporante.

Factores Meteorológicos. Es difícil evaluar el efecto relativo de los factores meteorológicos que controlan la evaporación, y cualquier conclusión debe estar restringida en términos del periodo de tiempo considerado; no obstante, se puede decir que la tasa de evaporación es efectuada por la radiación solar, la temperatura del aire, la presión del vapor, el viento y posiblemente la presión atmosférica. Debido a que la radiación solar es un factor importante, la evaporación varía en la latitud, época del año, hora del día y condiciones de nubosidad.

Evaporación en tanques y factores meteorológicos. Se han llevado a cabo muchos intentos para obtener relaciones confiables entre la evaporación de un tanque evaporímetro y factores meteorológicos. Los propósitos obvios que tales relaciones tendrían son:

- 1.- Aumentar nuestro conocimiento de la evaporación.
- 2.- Estimar registros perdidos de evaporímetro ( los -- tanques no se operan durante el invierno en áreas -- donde se forman una capa de hielo, y también los -- registros con fuertes tormentas pueden resultar he-- rrados.)
- 3.- Para ver la confiabilidad y representatividad de los datos observados.
- 4.- Para ayudar al estudio de relaciones entre evapora-- ción en tanques y lagos.

Los mismos autores afirman que la máxima cantidad de vapor de agua que puede existir en un espacio dado es una función de la temperatura y es independiente de la coexistencia de otros gases. La presión de vapor debe comúnmente ser expresada en milibares aunque en ocasiones se usa mm. de mercurio, es la presión ejercida por las moléculas de vapor. En meteorología se usa para denotar la presión del vapor de agua en la atmósfera. La presión de vapor de saturación es la presión de vapor en un espacio satu-- rado y es una función de la temperatura exclusivamente.

La humedad relativa  $f$  es el porcentaje de la presión - de vapor de saturación que representa la presión de vapor real; por lo tanto es la relación entre la cantidad de humedad contenida en un espacio dado y la que podría contener si estuviera saturado:

$$f = \frac{e}{e}$$

Calderón ( 1987 ) menciona que cuando la humedad relativa es muy baja y tiende a descender por la presencia de corriente de aire seco se puede realizar la significativa evaporación de ciertas cantidades de agua que se encuentran sobre las plantas - con la cual las mismas se enfriarán, este enfriamiento es ocasionado por la propia agua al evaporarse, ya que en ella, el cambio - del estado líquido al gaseoso exige el consumo de 600 calorías-gramo por centímetro cúbico.

Ayllon ( 1983 ) comenta que el peso de vapor de agua que puede estar contenido en un volumen dado de aire depende esencialmente de la temperatura: a cada temperatura corresponde una cantidad máxima de vapor con la cual el aire queda saturado.

La misma autora afirma que la evaporación es mayor cuando mas elevada es la temperatura de la capa de agua superficial y --- cuando mas veloz y seco es el viento que pasa encima de ella, menciona que en la practica el índice de temperatura humedad ó ( I ) se obtiene mediante la fórmula:

$$I = 0.72 ( t - t' ) + 40$$

Donde:

t = Temperatura leída en el termómetro seco.

t' = Temperatura leída en el termómetro húmedo.

I = Índice temperatura húmeda.

Luque ( 1981 ) también afirma que el contenido de vapor de agua en la atmósfera está en razón directa con la temperatura, actúan sobre ésta y los demás gases contenidos en la atmósfera y otros factores físicos.

La evaporación es fácilmente estimada con buenos resultados a partir de la radiación con un radiómetro o un medidor de integración de la radiación incidente, en lugar de estimar la radiación a partir de registros de las horas del sol.

La evaporación está correlacionada directamente con la transpiración, la radiación solar y la depresión en el bulbo húmedo húmedo comenta Olivier ( 1963 ), también menciona que Briggs y Shantz determinaron que puede verse que la depresión integrada del bulbo húmedo y la transpiración, son notablemente uniformes para las diferentes cosechas y periodos, y están correlacionados también con la radiación, variando de 0.75 a 0.88

Briggs y Shantz mencionados por el mismo autor encontraron un alto grado de correlación entre la depresión del bulbo y la transpiración, y que la evaporación en un tanque poco profundo, mostraba casi el mismo grado de correlación con la transpiración.

## 2.2 La metodología del análisis.

El método mas utilizado para estimar la evaporación con la temperatura es el de Thornthwaite, así como también el de Blaney y Criddle. Y se basa en observaciones de la temperatura media, que tiene una fuerte correlación incidente ---- ( Winter, 1977 ).

Cuando se relaciona la temperatura con el crecimiento de las plantas por medio de índice agroclimático ( unidades calor ), comenta Villalpando ( 1984 ) que el éxito de este -- concepto depende de la estrecha relación que existe entre temperatura y radiación solar, temperatura y fotoperiodo.

Sverre ( 1976 ) dice que la velocidad de evaporación en la superficie de la tierra y del agua depende de muchos factores, los mas importantes de los cuales son:

- a) La temperatura del agua líquida, en comparación con la temperatura del aire.
- b) La humedad relativa o el déficit de saturación del aire y
- c) La velocidad del viento.

Linsley y Franzini ( 1987 ) mencionan que la evapotranspiración, que algunas veces se llama uso consuntivo o -- evaporación total describe la cantidad total de agua extraída - de una determinada área o zona por los procesos de transpiración y evaporación desde el suelo de la nieve y de las superficies del agua.

Estos mismos autores también mencionan que en muchas partes del país, el potencial de evaporación excede sustancialmente a la precipitación anual. En algunas áreas o regiones la construcción de un vaso de almacenamiento significa una pérdida neta de agua por medio de la evaporación.

El servicio de conservación de suelos Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos ( 1972 ) dice que la cantidad total de agua consumida por evaporación y transpiración en un cultivo durante su periodo de desarrollo, se conoce como uso consuntivo del agua por temporada. Este tipo de consumo sirve para valorizar y determinar el suministro de agua que se requiere durante la temporada.

También menciona que en algunas investigaciones llevadas a cabo en diversas regiones de Estados Unidos indican que hay una estrecha relación entre el grado de uso consuntivo del agua en los cultivos (evapotranspiración) y el ritmo de evaporación observado en tanques bien localizados. Esta correlación señala que las mediciones de la evaporación en tanques son lo suficientemente precisas para planear el riego.

Chang ( 1968 ) comenta que Blaney y Morin derivaron una fórmula empírica para relacionar evaporación con la temperatura, humedad relativa y longitud de las horas del día y fue:

$U = K T_p ( 114 - h )$ ; esta evaluación mas tarde fue simplificada por Blaney y Criddle quitando el término de la humedad relativa:

$$U = k T_p$$

Donde:

U = Uso consuntivo del mes en pulgadas.

k = es un coeficiente del cultivo.

T = Promedio mensual de la temperatura del aire en °F.

p = es el % mensual de las horas del día en el año.

Withers y Vipond ( 1978 ) mencionan una ecuación general de evaporación, la de Dalton, que se puede expresar como:

$$E = f ( u ) ( e's - e )$$

Donde:

E = Índice de evaporación ( mm/día )

f ( u ) = Función de la velocidad del viento (metros/seg.)

e's = Presión del vapor a la saturación, en la superficie de evaporación ( milibares )

e = Presión de vapor en la atmósfera superior ( milibares )

En su revisión de literatura Olivier ( 1963 ) menciona la manera como proponen diferentes investigadores de diferentes latitudes del mundo fórmulas para el cálculo de la evaporación:

Leather basado sobre datos de evaporación recogidos en pusa India determinó la ecuación:

$$E = 2.0 ( \log t - 1.74 ) + 0.33 ( \log D - 100 ) + 0.36 ( \log W - 0.125 ) ( 2 )$$

donde:

E = Evaporación en unidades métricas.

t = Temperatura en ° F.

D = 100 - Humedad a las 8:00 Hrs.

W = Velocidad media del viento en millas/hoora

Rohwe basado en experimentos hechos en Fortcollis, Colorado, Estados Unidos determinó la fórmula :

$$E = ( 1.465 - 0.0186 B ) ( 0.44 + 0.118 w ) ( es-ed )$$

Donde :

E = Evaporación en pulgadas/24 horas.

B = Lectura media del barómetro en pulgadas de mercurio a 32° F.

W = Velocidad media del viento en millas/hora.

es = Tensión media del vapor del aire saturado a la temperatura de la superficie del agua en pulgadas de mercurio.

ed = Tensión media del vapor del aire saturado a la temperatura de punto de rocío en pulgadas de mercurio.

Stelling basado en experimentos en tanques en Rusia - determinó la fórmula:

$$E = ( 0.8424 + 0.01056 W ) ( es - ed )$$

Donde :

E = Evaporación en milímetros.

W = Velocidad media del viento en metros/seg.

es = Tensión media del vapor del aire saturado a la temperatura de la superficie del agua en milímetros.

ed = Tensión media del vapor del aire saturado a la temperatura de punto de rocío en milímetros.

Folse basado en un estudio estadístico de las lecturas de escala del lago superior, Michigan y Huron ( U.S.A. ), con - correlación por lluvia determinó la fórmula:

$$E = ( es - ed ) \left[ 0.319 + 0.358 ( w - 10.80 ) \right]$$

Donde :

E = Evaporación es milímetros.

es = Tensión media del vapor del aire saturado a la temperatura de la superficie del agua en pulgadas de mercurio.

ed = Tensión media del vapor del aire saturado a la temperatura del punto de rocío en puigadas de mercurio.

W = velocidad media del viento en millas/hora.

Bigelow basado en una extensa serie de experimentos sobre evaporación, llevado a cabo en Reno, Nevada y el Mar - Salton, California; por la oficina meteorológica de Los Estados Unidos determinó la fórmula:

$$E = 0.138 \frac{e_s}{e_d} \cdot \frac{d_e}{d_s} ( 1 + 0.07 w )$$

Donde:

E = Evaporación en milímetros.

$e_s$  = Tensión media del vapor saturado a la temperatura de la superficie del agua en pulgadas de mercurio.

$e_d$  = Tensión del vapor del aire saturado a la temperatura del punto de rocío, en pulgadas de mercurio.

$e_d/d_s$  = Velocidad de variación de la presión máxima del vapor con la temperatura.

w = Velocidad media del viento en millas/hora.

El mismo autor Olivier, menciona una nueva fórmula - para obtener la evaporación, siendo la siguiente:

$$MP = c / L \varnothing N$$

Donde :

MP = Evaporación requerida en la superficie del agua en mm/día en un tanque normal a la misma latitud.

C = Depresión media del bulbo en °C para un mes en particular - obtenida por lecturas directas o de datos medios de humedad de una estación situada en la latitud  $\varnothing$

$L \varnothing N$  = La relación L /  $L_0$  para la latitud  $\varnothing N$  tomada de tablas.

A manera de conclusión este mismo autor hace mención - sobre la aplicación de estas fórmulas que llama la atención la - escasez de datos de confianza de que se dispone en escala global, y además la variedad de aparatos usados en las diferentes localidades lo que hace difícil estudiar los datos de evaporación sobre una base común.

Aguirre y Elizondo ( 1973 ) en un estudio de correlación y regresión de los eventos meteorológicos de precipitación, temperatura y evaporación, encontraron que la correlación entre evaporación y temperatura fue de  $r = 0.82$  para el mes de julio, por lo - que tomando como criterio que arriba de una regresión mayor de 0.80, procedieron a hacer el modelo de regresión que resultó ser el -- siguiente:

$$Y = 528.12 + 25.76 X$$

donde:

Y = Evaporación total en mm.

X = Temperatura media en ° C.

No teniendo una diferencia significativa con un modelo cuadrático, cúbico o cuártico, finalmente ellos concluyeron que los eventos meteorológicos estudiados son independientes.

#### IV. METODOLOGIA

La información que se analizará va a ser de cuatro años ( 87-90 ) y son: temperatura máxima promedio mensual, temperatura mínima promedio mensual, temperatura media promedio mensual, humedad relativa promedio mensual, la evaporación, y se verá la factibilidad de utilizar también la velocidad del viento y la presión atmosférica. Para saber si existe o no relación entre la evaporación y alguna o varias de las demás variables se utilizará el coeficiente de correlación, una vez sabiendo cuales son las variables que tienen influencia en la evaporación se procederá a buscar el mejor modelo probabilístico ( regresión ) que ayude a comprender mejor el fenómeno ambiental.

En caso de que una sola variable meteorológica fuera la que influyera en la evaporación, se utilizará, el modelo de regresión lineal propuesto por Steel y Torrie que nos describe este modelo:

$$Y_i = B_0 + B_1 X_i + E_i$$

DONDE:

$B_1$  = Es la variable de pendiente (en nuestro caso será la evaporación ).

$B_0$  = Valor donde la recta corta al eje de las Y

$B_1$  = La pendiente de la recta.

$X_i$  = Es la variable independiente. ( cualquier otra variable meteorológica de las que estudiamos )

$E_i$  = Al error en la estimación de la recta.

En caso de que no fuera regresión lineal, es decir, que las variables meteorológicas fueran dos o más las que influyeran en la evaporación se utilizará la regresión múltiple, y en tal caso se aplicará el método propuesto por Draper y Smith -- ( 1966 ) el cual es el siguiente:  $Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 \dots + B_L X_L + E$

Ellos mismos comentan que para seleccionar el mejor modelo de regresión existen varios procedimientos pero nosotros -- solamente utilizaremos el procedimiento Stepwise donde el procedimiento inicia con:

- PASO 1 : Hace una matriz de correlación simple y mete dentro de la regresión la variable " X " mas altamente correlacionada -- con la respuesta.
- PASO 2 : Hace uso de los coeficientes de correlación parcial y los selecciona.
- PASO 3 : Dada la ecuación de regresión el método examina la contribución de cada una de las variables.
- PASO 4 : La ecuación así formada es determinada por mínimos cuadrados.
- PASO 5 : La última variable en entrar tal vez es rechazada, el -- procedimiento terminó seleccionando la mejor ecuación de regresión.

## V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Al analizar los datos de velocidad del viento se optó por no incluirlos en el estudio ya que estos datos son aproximados y también se observó que son muy similares en toda la época del año, a la hora de la toma de datos de la estación meteorológica ( 8:00 A. M.). Así mismo los valores observados para presión atmosférica casi no varían, por lo cual tampoco se incluyeron en el estudio.

Para seleccionar el mejor modelo de regresión se utilizó el método Stepwise; donde este método de regresión es aquel que tiene una mayor  $R^2$  ( DRAPER Y SMITH 1966 ). Así --- pues al meter las variables meteorológicas, el mejor modelo que nos explica el fenómeno de la evaporación es aquel que contiene la humedad relativa y la temperatura mínima, como se puede ver en el siguiente cuadro:

CUADRO 1.- Modelos de regresión para estimar Evaporación con las variables Humedad Relativa ( H.R. ) Temperatura Mínima ( T. Min. ), Temperatura Máxima ( T. Max. ) y Temperatura Promedio ( T. Prom. )

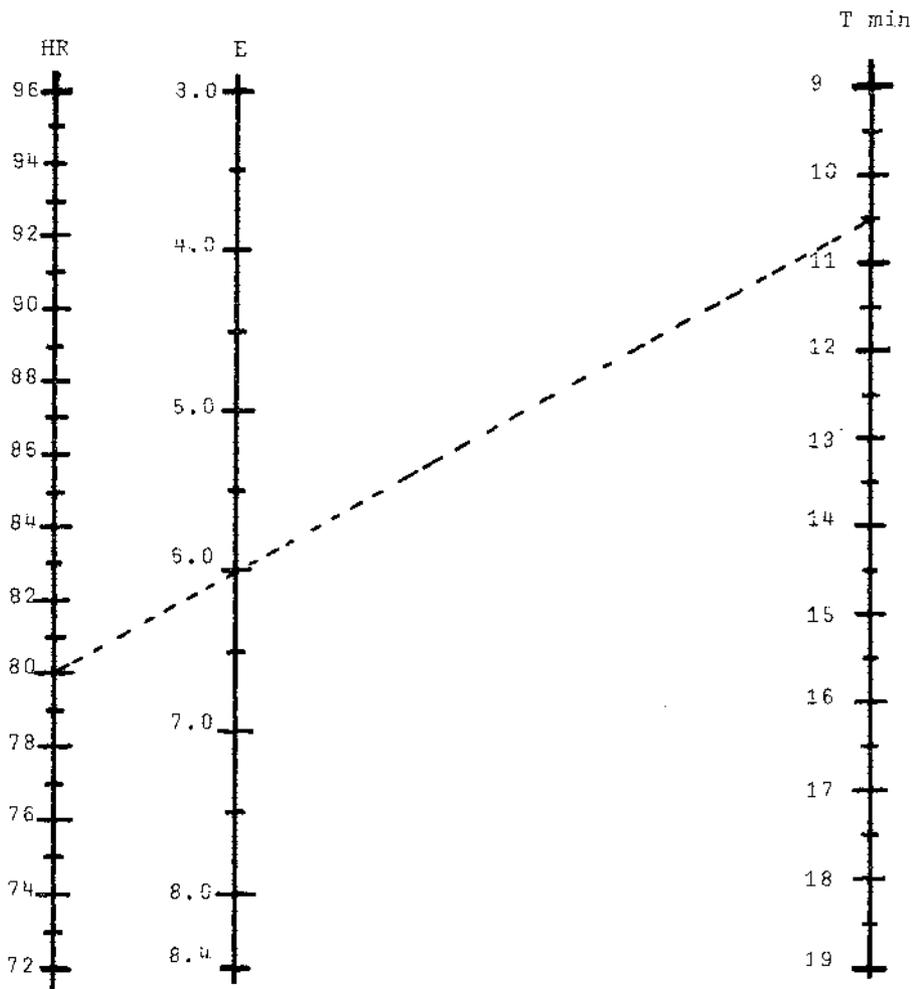
VARIABLE CONSIDERADA	M O D E L O	F	C.M.	R <sup>2</sup>
HUMEDAD RELATIVA	$Y=19.0252+(-0.1585)H.R.$	73.05	0.24	0.879
T. MIN., H.R.	$Y=18.6298+0.1069 T. Min.+(-0.1720)H.R.$	93.28	0.10	0.953
T. MAX. H.R.	$Y=4.7097+0.2975 T. Max.+(-0.0980)H.R.$	68.24	0.46	0.768
T. PROM., H.R.	$Y=15.3543+0.1647 T. Prom.+(-0.1591)H.R.$	83.29	0.11	0.948

Por otro lado es importante señalar que la variable que tiene una mayor influencia en la evaporación es la humedad relativa. El mejor modelo nos señala que cuando la evaporación es alta debe existir una humedad relativa baja ( menor presión de vapor ) y una temperatura alta, que esté claro, dentro de los límites estudiados en la región.

A pesar de que el estudio se hizo en intervalos mensuales el modelo puede ser usado para estimar la evaporación diaria, (dentro de los límites estudiados, ver cuadro 1 Apéndice) ya que los valores de estas variables ( H.R. y T. Min.) se dan en estos rangos en cualquier estación del año.

Cabe aclarar que existen meses en los que la humedad diaria es arriba de 95.7 ( mayor valor promedio mensual observado) y temperaturas mínimas diarias por abajo de 9.8 (menor valor promedio mensual observado), por lo que en estos casos no será posible utilizar el modelo.

Para facilitar el cálculo de la evaporación se procedió a hacer un nomograma de acuerdo al tratado de LIPKA ( 1970 ). Tal nomograma es el que se presenta a continuación.



GRAFICA 1.- Nomograma para estimar evaporación con humedad relativa (HR) y temperatura mínima (T min) para Autlán, Jal..

EJEMPLO : Si queremos saber que evaporación se tiene cuando existe una Humedad Relativa de 80% y una Temperatura Mínima de 10.5 °C, el nomograma nos señala que la evaporación es de 6 mm. si quisieramos - estimar este dato por medio del modelo sería el siguiente:

$$E = 18.6298 + 0.1069 ( 10.5 ) + ( -0.1720 ) 80$$

$$E = 18.6298 + 1.1224 - 13.7600$$

$$E = 19.7522 - 13.7600$$

$$\underline{E = 5.9922 \text{ mm.}}$$

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se rechaza nuestra hipótesis que dice que la evaporación está en relación directa con la Temperatura, ya que la evaporación está influenciada por una tercera variable - que es la Humedad Relativa.
- También se rechaza la hipótesis donde dice que la temperatura Promedio es la que ejerce una mayor influencia -- que la Temperatura Mínima, pues esta última es más significativa.
- Dado que en una estación metereológica los datos que se pueden no tener (por no tomarse o por accidente de uno - de los aparatos) son las lecturas diarias; es necesario hacer los modelos de regresión con datos diarios, para - estimar la evaporación en cualquier día del año.
- Se recomienda que en futuras investigaciones relaciona-- das con éste trabajo, se consideren un mínimo de 10 años de datos metereológicos, con la finalidad de adquirir -- resultados más confiables.
- Para éste trabajo se tomaron solo 4 años, debido a que - ese es el tiempo de existencia de la estación Metereoló-- gica de la Facultad de Agronomía de Autlán.

## VII. BIBLIOGRAFIA

- AGUIRRE, L. O. y ELIZONDO, S. A. 1973. Estudio de correlación, regresión y análisis de frecuencias para los datos meteorológicos de Montemorelos, N. L. Memorias del VI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. México.
- AYLLON T. T. 1983. Introducción a la observación meteorológica. Ed. Limusa. México.
- CALDERON A. E. 1987. Manual del Fruticultor Moderno. Ed. Limusa. México.
- CHANG H. J. 1968. Climate and agriculture and ecological Survey. Aldine Publishing Company. Chicago. E.U.A.
- DRAPER, RN. N. SMITH. H. 1966. Applied Regression Analysis. Ed. John Wiley and Sons, Inc. U.S.A.
- levens, A. S. 1968. Graphics Analysis and Conceptual desingn. Ed. John Wiley and Sons. Inc. New York London Sydney.
- LINSLEY K. R. KOHLER A. M., PAULHUS L. H. J. 1975. Hidrología - para Ingenieros Ed. Mc. Graw - Hill. México.
- LIPKA, J. 1970. Computaciones Gráficas y Mecánicas. Ed. CECSA. México.
- LUQUE J. A. 1981. Hidrología Agrícola Aplicada. Ed. Hemisferio Sur. Buenos aires, Argentina.
- OLIVIER H. 1963. Riego y Clima. Ed. CECSA. México.

SERVICIO DE CONSERVACION DE SUELOS DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA  
DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. 1979. Relación entre --  
suelo-planta-agua. Ed. Diana. España.

STEEL, G. D. R. Y TORRIE, H. J. 1985. Bioestadística, principios  
y procedimientos. Ed. Mc. Graw - Hill, Bogotá, Buenos Aires, Gua-  
temala, Lisboa, Madrid, México, New York, Panamá, San Juan, Santia-  
go, Sao Paulo.

SVERRE P. 1976. Introducción a la Meteorología. Ed. Espasa Calpe,  
S. A. Madrid, España.

VILLALPANDO I. J. F. 1991. Métodos de análisis de datos climatoló-  
gicos para uso en la agricultura. Curso-taller, impartido en ---  
Guadalajara, Jalisco, México.

WINTER E. J. 1977. El agua el Suelo y la Planta. Ed. Diana. -  
México.

WITHERS B., VIPOND S. 1978. el Riego Diseño y Práctica. Ed. Diana,  
México.

A P E N D I C E

Promedios mensuales de cuatro años de las variables:

CUADRO 1. Evaporación ( Y ), Temperatura Max. ( X<sub>1</sub> ) Temperatura Min. ( X<sub>2</sub> ), Temperatura Promedio ( X<sub>3</sub> ), Humedad Relativa ( X<sub>4</sub> ).

M E S	V A R I A B L E S				
	Y	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
ENERO	3.9	28.8	9.8	19.3	89.7
FEBRERO	4.9	28.8	10.9	19.9	87.7
MARZO	6.3	30.0	13.4	20.9	81.0
ABRIL	7.3	32.4	13.6	23.0	75.6
MAYO	7.1	33.0	14.5	23.8	72.8
JUNIO	6.2	31.5	18.9	25.3	86.1
JULIO	4.6	29.6	19.3	24.5	94.0
AGOSTO	4.3	30.0	19.2	24.6	94.9
SEPTIEMBRE	4.3	30.5	18.9	24.7	93.1
OCTUBRE	4.0	31.0	17.0	24.1	95.6
NOVIEMBRE	3.9	30.4	13.7	21.9	94.7
DICIEMBRE	3.3	28.3	11.5	19.9	95.7