

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
SECCION DE FISICA



TRABAJO DE GRADUACIÓN
“DISEÑO, CONSTRUCCION Y CARACTERIZACION DE UN
TANQUE DE EVAPORACIÓN CLASE A”

PRESENTADO POR:
OSCAR REYNALDO HERNANDEZ

PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIADO EN FÍSICA

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, SEPTIEMBRE DE 2002

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
SECCION DE FÍSICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**“DISEÑO, CONSTRUCCION Y CARACTERIZACION DE UN
TANQUE DE EVAPORACION CLASE A”**

PRESENTADO POR

OSCAR REYNALDO HERNANDEZ

**PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIADO EN FISICA**

LICDA. THELMA ELIZABETH JIMENEZ MURILLO
DIRECTORA DE LA INVESTIGACION

SAN SALVADOR, EL SALVADOR, SEPTIEMBRE DE 2002

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

RECTORA

DRA. MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ

SECRETARIA GENERAL

LICDA. LIDIA MARGARITA MUÑOZ VELA

FISCAL GENERAL

LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANO

ING. JOAQUIN ORLANDO MACHUCA GOMEZ

JEFA DE DEPARTAMENTO

LICDA. GLORIA ELIZABETH LARIOS DE NAVARRO

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2002

AGRADECIMIENTOS

A mi directora de la investigación, **Licenciada Thelma Elizabeth Jiménez Murillo**, le agradezco de manera especial por su sincera, valiosa y esmerada colaboración que me brindó en todo momento para la elaboración de este trabajo.

A la Unidad de Meteorología e Hidrología del SNET, por su valiosa colaboración al facilitarme equipo, que hizo posible el desarrollo de esta investigación.

A mi amigo **Ingeniero y Licenciado Raúl Edgardo Carranza Chaves Sra. e hijos** por su desinteresada colaboración que me brindaron en todo momento.

A mi amigo y compañero de trabajo **Licenciado Raúl Antonio Alfaro Hernández** por ayudarme en todo momento y especialmente en la digitada del presente documento.

A mis amigos y compañeros de trabajo que me apoyaron moralmente y me impulsaron para seguir adelante.

Y agradezco de la manera más humilde y sincera a todas las personas que de alguna manera me brindaron su colaboración para que lograra culminar mi meta.

DEDICATORIA

DEDICO ESTE TRABAJO:

A DIOS, LA VIRGEN MARIA Y SU HIJO JESUS:

En los que encontré fortaleza, para superar dificultades y darme energía para alcanzar una meta más en la vida.

A MI MADRE:

Isabel Hernández, por el amor que me brinda, por encomendarme a Dios en todo momento, por su ejemplo y tenacidad para enfrentar la vida, que me inspiraron para seguir adelante.

A MI ESPOSA:

Dinora Antonia Romero, por su apoyo y comprensión para superar las dificultades que se nos presentaron; que me permitió alcanzar esta meta, que constituye un triunfo de los dos.

A MIS AMADOS HIJOS:

Oscar Iván, Karen Vanessa, José Iván, Edgar Reynaldo, Loren Patricia y Vianey Alicia; por el amor y comprensión que me brindan, constituyéndose en los pilares que sustentan mi vida, lo que me impulsa a seguir adelante.

A MIS HERMANOS

José Alejandro (Q.E.P.D.), Emilio Arnoldo, Fidel Antonio y especialmente a Berta Alicia; por contar con su apoyo en todo momento.

A MIS COMPAÑERAS Y COMPAÑEROS DE TRABAJO:

Docentes y Personal Administrativo de la Facultad Multidisciplinaria Oriental; por su colaboración, amistad y comprensión que me brindan, lo que me hizo posible alcanzar esta meta.

ÍNDICE

CONTENIDO	PAG
1.0 Resumen.....	1
2.0 Introducción.....	2
3.0 Marco teórico.....	5
3.1 La evaporación.....	5
3.1.1 Proceso físico de evaporación.....	5
3.1.2 Proceso termodinámico de evaporación.....	6
3.1.3 Proceso climatológico y factores que afectan la evaporación..	7
3.2 Transpiración	8
3.3 Evapotranspiración	10
3.3.1 Evapotranspiración potencial (ETP)	10
3.3.2 Evapotranspiración real (ETR)	10
3.4 Ciclo hidrológico	16
3.4.1 El Calor	16
3.4.2 El Cambio de líquido a vapor.....	17
3.4.3 El vapor.....	17
3.4.4 Las nubes.....	18
3.4.5 Lluvia, nieve y granizo.....	19
3.4.6 Reaprovechamiento y ciclo hidrológico.....	20
3.5 Medida y cálculo de la evaporación.....	23
3.5.1 Evaporación potencial.....	23

4.0	PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTAL	
4.1	Diseño experimental.....	26
4.2	Toma de datos.....	27
4.3	Tabulación de datos.....	28
4.3.1	Fase: determinación de la evaporación	28
4.3.2	Fase: determinación de la evapotranspiración.....	29
4.3.3	Fase: determinación de la evaporación y evapotranspiración horaria.....	30
4.3.4	Análisis de datos.....	30
4.4	Resumen de resultados.....	31
5.0	Análisis de resultados.....	60
6.0	Conclusiones.....	63
7.0	Recomendaciones.....	64
8.0	Bibliografía.....	65

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura. 3.1	Relación de número de moléculas con la velocidad para dos temperaturas.....	6
Figura. 3.2	Diagrama de fase del agua.....	7
Figura. 3.3.a.	Evapotranspiración y rendimiento en el trigo.....	15
Figura. 3.3.b.	Evapotranspiración y rendimiento en avena.....	15
Figura. 3.4	Ciclo hidrológico del agua.....	22
Figura. 3.5	Tanque de evaporación clase "A".....	25
Figura. 4.1	Estación Meteorológica Automática en la Facultad Multidisciplinaria Oriental tanque de evaporación clase "A".....	26
Figura. 4.1.1	Gráfico de dispersión evaporación - temperatura.....	36
Figura. 4.1.2	Gráfico evaporación - tiempo.....	37
Figura. 1.1	Gráfico de dispersión evaporación - temperatura.....	38
Figura. 4.2.1	Gráfico de dispersión evapotranspiración - temperatura.....	44
Figura. 4.2.2	Gráfico de ETP - tiempo.....	45
Figura. 4.3.1	Relación temperatura, evaporación y humedad relativa-tiempo....	50
Figura. 4.3.2	Relación temperatura, ETPy humedad relativa - tiempo ...	52
Figura. 4.3.3	Relación evaporación y ETP - tiempo (10 horas).....	53
Figura. 4.3.4	Relación evaporación y ETP - tiempo (1 Hora).....	54
Figura. 4.3.5	Gráfica de dispersión evaporación-temperatura hora promedio....	56
Figura. 4.3.6	Gráfica relación evaporación - tiempo	57
Figura. 4.3.7	Gráfica de dispersión ETP - temperatura.....	58
Figura. 4.3.8	Gráfica de dispersión ETP - tiempo.....	59

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Resumen general de los datos obtenidos para la evaporación	32
Tabla N° 2. Datos de temperatura y evaporación a las horas observadas	33
Tabla N° 3. Datos de evaporación y temperatura diaria tomando como referencia las 16 horas	34
Tabla N° 4.1 Evaporación promedio por 72 horas	35
Tabla N° 4.1.1 Relación temperatura - evaporación	36
Tabla N° 4.1.2 Relación tiempo - evaporación	37
Tabla N° 1.1 Relación temperatura - evaporación diaria	38
Tabla N° 4. Resumen general de datos obtenidos para la evapotranspiración	40
Tabla N° 5. Datos de temperatura y evapotranspiración a las horas observadas..	41
Tabla N° 6. Datos de evapotranspiración y temperaturas diaria tomando como referencia las 14 y las 16 horas	42
Tabla N° 4.2 Resultados promedios para un período de 48 horas evapotranspiración (ETP)	43
Tabla N° 4.2.1 Relación temperatura - evapotranspiración	44
Tabla N° 4.2.2 Relación tiempo - evapotranspiración	55
Tabla N° 7. Registro de evapotranspiración por hora (3 días).....	46
Tabla N° 8. Registro de evaporación por hora (3 días)	47
Tabla N° 9. Promedio de datos de temperatura y datos de Evaporación y evapotranspiración para tres días.....	48

Tabla N° 4.3 Datos de evaporación y ETP promedio de los tres días provenientes de la Tabla N° 9	49
Tabla N° 4.3.1 Relación tiempo - temperatura, evaporación y humedad relativa (promedio registrado por hora durante tres días)	50
Tabla N° 4.3.2 Relación tiempo - temperatura, ETP y humedad relativa (promedio registrado por hora durante tres días)	52
Tabla N° 4.3.3 Tiempo - evaporación y ETP	53
Tabla N° 4.3.4 Relación evaporación, ETP - tiempo (horas).....	54
Tabla N° 4.3.5 Relación temperatura - evaporación por hora promedio.....	56
Tabla N° 4.3.6 Relación tiempo - evaporación	57
Tabla N° 4.3.7 Relación temperatura - ETP por hora promedio.....	58
Tabla N° 4.3.8 Relación tiempo - ETP	59

1.0 RESUMEN.

Los objetivos de esta investigación tienen la finalidad de determinar, características cuantitativas y cualitativas, de la relación que guardan algunos parámetros meteorológicos que influyen en el fenómeno de la evaporación natural, principalmente: la temperatura, el tiempo y la humedad relativa.

Se introducen los términos de evaporación potencial y evapotranspiración, como una diversificación de la evaporación natural, con el objeto de diferenciar cualidades y características de cada uno de ellos, que permite mayor comprensión en este estudio.

Esta investigación se desarrollo experimentalmente, utilizando el tanque de evaporación clase "A"; que es un instrumento universalmente aceptado para evaluaciones de este tipo de fenómenos meteorológicos.

Para llevar a cabo esta investigación, se plantearon dos fases; en la primera se determinó la evaporación potencial, en la segunda la evapotranspiración y posteriormente se determinó, una tercera fase con la finalidad de obtener más precisión en el registro de datos, de los parámetros involucrados mencionados anteriormente.

Los resultados obtenidos demostraron, que la temperatura es de los parámetros que más influyen en este tipo de fenómenos meteorológicos, obteniéndose correlaciones hasta de 0.8679 entre la evaporación y la temperatura máxima registrada por día.

Se encontró que el agua que se pierde por evapotranspiración, es 1.63 ± 0.07 veces mayor que la que se pierde por evaporación. Esta relación también crece con la temperatura a lo largo del día. La relación evaporación-tiempo y evapotranspiración-tiempo, mostraron correlaciones de 0.9905 y de 0.9967 respectivamente.

2.0 INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación cuyos resultados se exponen en el presente documento tuvo por finalidad la de establecer un registro actualizado sobre la evaporación para la localidad de San Miguel, el cual servirá de base para dar seguimiento a posteriores estudios referente al ciclo hidrológico, y a la evaluación del cambio climático local y global.

Su importancia estriba en que permite conocer y evaluar un proceso importante que incide directamente en el ciclo hidrológico asociado a la problemática referente a los embalses hidroeléctricos, la aceleración de la muerte de los ríos y lagos, y la pérdida de las cosechas en El Salvador; y a la vez, es un indicador ante la expectativa de un cambio climático global y local. También, como parte del estudio, debido a su relevancia para el país y a la factibilidad de investigarlo con el mismo equipo, se consideró la evapotranspiración del jacinto acuático (*Eichornia Crassipes*), debido a su papel en agravar el problema de los ríos, lagos y lagunas, como acelerador de la muerte de estos cuerpos de agua. Tal es el caso de las lagunas de Olomega y de El Jocotal, en la zona oriental de país, así como la disminución de la capacidad productiva de los embalses hidroeléctricos.

La medida de la evaporación puede llevarse a cabo por métodos teóricos ó analíticos, es decir, por medio de fórmulas; y experimentalmente, a través mediciones directas, utilizando instrumentos como: evaporímetros o evaporómetros con características propias, de acuerdo al objeto para el cual han sido diseñados. Este último fue el caso de la investigación acá expuesta.

En nuestro país las primeras medidas de evaporación se realizaron en el año 1959, en la Chorrera del Guayabo, con el propósito de conocer el balance de agua asociado a la presa Hidroeléctrica. Estas evaluaciones continuaron en diversos lugares del país hasta

1986. A partir de entonces no se hacen mediciones regulares de evaporación en El Salvador.

Entre estos lugares en los cuales se registró evaporación está la estación de San Miguel, ubicada en el Papalón, en donde las mediciones se iniciaron en 1966, siendo interrumpidas en 1981, según información proporcionada por el Servicio Nacional de Estudios Territoriales (S.N.E.T).

Esta investigación tiene la relevancia de ser la primera en la Ciudad de San Miguel en más de 20 años, y el primer estudio sistemático sobre la evaporación y evapotranspiración en la zona. Además, la ubicación geográfica del lugar de estudio es similar a gran parte de la Zona Oriental, condición que permite decir que los resultados obtenidos tendrán una cobertura mayor y pueden ser utilizados en trabajos relacionados con el medio ambiente, la agricultura y almacenamiento hidrológico. A la vez con esto se proporciona a los usuarios de la información meteorológica datos actualizados de la Evaporación en San Miguel, y se propone un instrumento para evaluar la aceleración de la muerte de los ríos, lagos, que puede ser utilizado para estimar, en un futuro, posibles daños a las cosechas.

Como se señaló al principio, la evaporación es un fenómeno complejo, para cuyo estudio deben tomarse en cuenta varios parámetros, entre los que puede mencionarse está la temperatura, la cual, siendo considerada por el investigador la principal variable que afecta la evaporación, se seleccionó como eje alrededor del cual gira dicha investigación, esto como un primer paso en el estudio de la evaporación en el nivel local; sin dejar de lado los otros parámetros que intervienen como: *características geográficas*: latitud, altura, longitud etc.; *meteorológicas*: presión, humedad relativa, recorrido del viento etc.; *metodológicas*: instrumentación, método

de efectuar las mediciones etc.; *personales*: disponibilidad del investigador, entre otros.

A continuación se presentan los fundamentos teóricos de la investigación; luego, en un siguiente capítulo, se describe el procedimiento experimental seguido para realizar el estudio, presentando acá mismo los resultados, sistematizados en tablas y gráficas, junto a un análisis preliminar; para después presentar el análisis conjunto de dichos resultados en un capítulo aparte. Las conclusiones se detallan en el capítulo posterior, seguido de las recomendaciones. Al final se ofrecen las referencias bibliográficas utilizadas a lo largo del desarrollo de la investigación.

3.0 MARCO TEORICO

3.1 La Evaporación.

El proceso de transferir agua, que en forma líquida (o sólida) que se encuentra en la superficie terrestre que escapa hacia la atmósfera y transformándola a la vez al estado gaseoso se llama “Evaporación” o “Evapotranspiración”, si se incluye también la

vaporización de agua a través de la transpiración de las plantas. La evaporación se puede analizar desde un punto de vista físico, termodinámico y climatológico.

3.1.1 Proceso Físico de Evaporación

De acuerdo a la teoría cinética de Maxwell, las moléculas en un líquido se mueven a diferentes velocidades; según esta teoría, dichas moléculas se mantienen unidas debido a las intensas fuerzas internas entre ellas. Pero suministrando calor, algunas moléculas incrementan su velocidad, escapando de la superficie. Si el número de moléculas que escapan es mayor que las que regresan al agua hablamos de “evaporación de agua”. Para que continúe la evaporación se necesita la existencia de dos mecanismos:

- a) Un mecanismo “aerodinámico” que remueva el vapor de agua directamente desde la superficie del agua. El movimiento del aire remueve estas moléculas permitiendo que la evaporación continúe, de lo contrario la evaporación terminaría pronto si el aire cercano a la superficie de evaporación permaneciera estático.
- b) Una fuente de calor para el agua en la superficie, porque la evaporación quita calor al agua, entre 540 y 600 calorías por cada gramo de agua evaporada, lo que permite que el agua se enfríe. Para el caso la fuente de calor es la radiación solar, la cual incide en que la tensión de vapor saturado se reduzca, provocando que la evaporación

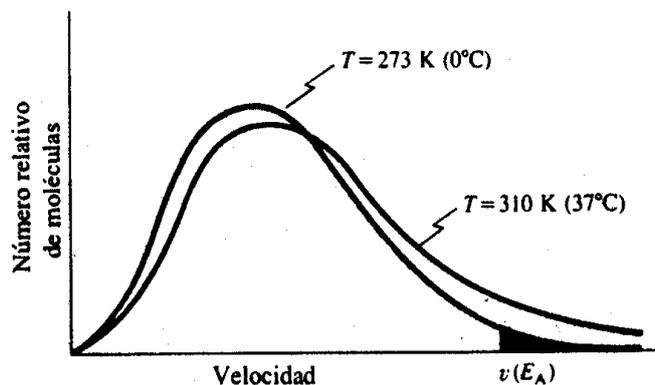


Figura 3.1. Relación número de moléculas con la velocidad para dos temperaturas

Fuente: Giancoli DC. Física General Vol. I. 1984

3.1.2 Proceso Termodinámico de la Evaporación

El paso del agua de la fase líquida a la fase vapor se da de dos maneras: ebullición y evaporación.

a) La *ebullición* sucede a determinada presión y temperatura y es característica de cada sustancia. Por ejemplo, el agua a una presión atmosférica de 760 mm Hg (una atmósfera = 1.013×10^5 Pa) hierve a 100°C , proceso que se da en forma turbulenta.

b) *La evaporación, se da a cualquier temperatura y en la superficie del líquido en forma pasiva. A este calor necesario con el cual sucede se le llama calor latente de vaporización y durante está sucediendo este proceso la temperatura permanece constante. Una característica singular del agua es que puede, bajo condiciones específicas, coexistir en las tres*

fases, líquido, sólido y vapor, en el así llamado “punto triple” del agua.

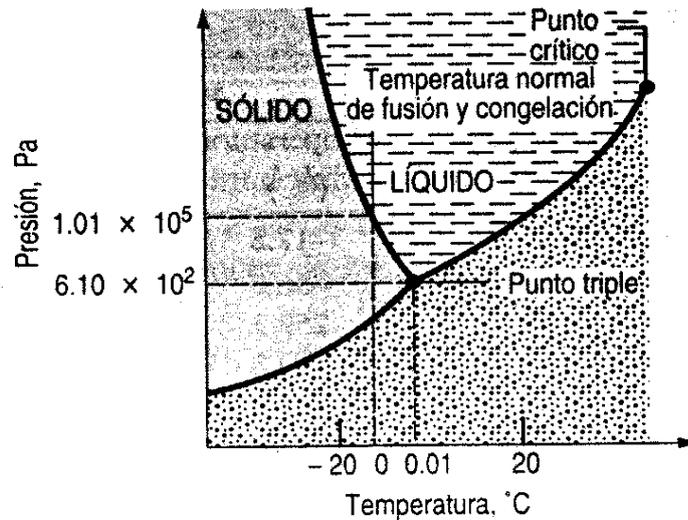


Figura 3.2 Diagrama de fase del agua

Fuente: Giancoli DC. Física General Vol. I. 1984

3.1.3 Proceso Climatológico y factores que afectan la evaporación.

Desde el punto de vista climatológico, la evaporación se relaciona con la radiación solar, la presión de vapor, temperatura del aire y del agua, humedad relativa, velocidad del viento, altitud etc. Cada uno de estos factores tiene su efecto en la velocidad de evaporación. En meteorología, la vaporización se define como el proceso por medio del cual las moléculas de agua en la superficie del agua o en el suelo

húmedo adquieren suficiente energía , a través de la radiación solar, para escapar del líquido y pasar a la fase vapor. Operacionalmente se define como el volumen de agua evaporada por unidad de área. Las unidades en que se mide son, por tanto, unidades de longitud: milímetros , pulgadas.

La cantidad de agua evaporada depende de la relativa facilidad con la cual las moléculas de

agua dejan el líquido. A su vez, esto depende de muchos factores como: temperatura, humedad relativa de la atmósfera, velocidad del viento, presión atmosférica y contaminación del agua.

Dado que sucede en el medio natural, intervienen factores como: la vegetación, la humedad de la tierra y la superficie líquida. Dependiendo de cómo se efectuó la evaporación y por razones de estudio, se denomina: evaporación potencial, transpiración y evapotranspiración (ETP).

3.2 Transpiración

La transpiración es el proceso mediante el cual las plantas pierden agua en estado de vapor. La mayor parte del agua absorbida por las plantas pasa a la atmósfera, y algunas plantaciones por tanto liberan casi tanta agua en el aire como lo haría un área comparable de superficie de agua. El movimiento del aire sobre la superficie de una hoja tiende a eliminar el vapor de agua y a aumentar la tendencia a la evaporación del agua contenida en los vegetales, lo que favorece la transpiración. Sin embargo, el viento a alta velocidad provoca una disminución de la intensidad de transpiración, debido a que ocasiona un cierre de células por las cuales sale el vapor de agua, llamado cierre automático por perturbación mecánica o por desecación incipiente de la

hoja. Los vientos cálidos pueden determinar el marchitamiento por un exceso de transpiración. Experimentalmente se ha comprobado que la transpiración se incrementa con la velocidad del viento hasta cierto límite, mas allá del cual no existe aumento, sino que decrece ligeramente cuando aumenta la velocidad del viento.

La relación exacta entre viento y transpiración, varía grandemente entre las distintas especies de plantas. El viento ejerce una mayor influencia sobre la transpiración cuticular que sobre la transpiración estomatal. Por consiguiente, solo las plantas con alta transpiración cuticular, (hidrofítas), muestran un apreciable incremento en la transpiración resultante de la acción del viento. Bajo condiciones naturales, el efecto del viento sobre la transpiración variará de acuerdo con la escabrosidad o aspereza de la superficie del terreno.

Se ha reportado, por ejemplo, un incremento en la tasa de transpiración del coco a plena luz del sol de cerca de 100% con una velocidad del viento estimada en 8 km/h; en cambio, con la cobertura completa y la superficie de la cápsula mas o menos uniforme y lisa, el efecto del viento sobre la transpiración es usualmente pequeño, siendo más importante la radiación solar en la transpiración. De estos estudios de la correlación entre factores del medio y la tasa de transpiración para el período de crecimiento, se concluye que solo el 2% a 6% de la pérdida de agua puede ser atribuida al viento.

3.3 Evapotranspiración

La evapotranspiración (ETP), se define como el proceso combinado de la evaporación del suelo – agua y la transpiración de las plantas. Generalmente es lo que se toma en cuenta en la mayoría de los estudios realizados.

Para THORNTHWAITE hay que distinguir entre la evapotranspiración potencial (ETP) y la evapotranspiración real (ETR).

3.3.1 Evapotranspiración Potencial (ETP)

La evapotranspiración potencial (ETP), es el monto de evaporación y transpiración que resultaría si hubiere siempre suficiente agua disponible en la superficie y dentro del suelo para las raíces de las plantas. En estas condiciones, la evapotranspiración está definida solamente por el potencial energético disponible para evaporar el agua del suelo y de las hojas de las plantas. Este potencial está compuesto por la radiación solar, el calor del suelo y de las plantas y la energía cinética en forma de viento, turbulencia y convección, para el transporte continuo del vapor de agua producido en las superficies evaporantes, a fin de evitar la saturación en su vecindad inmediata, con lo cual terminaría de inmediato el proceso de transformación del agua a la fase vapor.

3.3.2 Evapotranspiración Real (ETR)

La evapotranspiración real es el agua que realmente evapora y transpira en la tierra, cuya magnitud depende de la disponibilidad. En un desierto la $ETR = 0$, puesto que no hay agua en el suelo. En cambio en zonas tropicales siempre húmedas, la $ETR = ETP$, es decir, que existen condiciones hídricas óptimas.

En general la evapotranspiración esta determinada por el conjunto de factores que regulan la evaporación y transpiración. Entre estos, se pueden distinguir factores físicos y factores fisiológicos. Los factores físicos se separan en dos grupos: atmosféricos e hidrológicos. Los primeros determinan el poder evaporante en la atmósfera, que condiciona casi por sí solo la evapotranspiración. En este grupo se

encuentran el déficit higrométrico, la temperatura, la velocidad del viento, la presión barométrica y la influencia indirecta de las variaciones de la luz.

Los factores hidrogeológicos condicionan el estado de la superficie evaporante del suelo y depende de sus características físicas tales como la granulometría la porosidad, la naturaleza litológica, el manto vegetal y la riqueza en agua. Esta última está determinada por la cantidad de humedad en la superficie, proveniente de la alimentación a través de lluvia a mantos subterráneos.

Debe mencionarse además, la influencia de los factores geográficos, en particular, la altitud y las zonas climáticas, que actúan sobre todo por intermedio de los factores meteorológicos: temperatura y presión barométrica, etc.

Los factores fisiológicos que condicionan la evapotranspiración, son precisamente los que determinan la transpiración: especie vegetal, edad y desarrollo de follaje, profundidad de las raíces, etc. En general, la intensidad de la evapotranspiración depende de los siguientes factores:

- a) Los elementos meteorológicos: radiación solar, viento, temperatura y humedad del aire. Al pasar el agua de la fase líquida a la fase vapor, se le debe suministrar una cantidad de energía térmica, la cual es proveída, fundamentalmente, por la radiación solar y la temperatura del aire. Esta transferencia del vapor de agua a la atmósfera desde el suelo y la planta es favorecida por el viento y el menor contenido de humedad en el aire.
- b) Las características físico-químicas del suelo que influyen de forma pronunciada en la disponibilidad de agua para la evapotranspiración son: el contenido de humedad del suelo, la cual varía desde un valor óptimo, pocas horas después de una lluvia prolongada, hasta valores críticos para la planta, en

épocas de intensa sequía, condicionando las pérdidas de agua por evapotranspiración. A medida que la humedad del suelo disminuye, la evapotranspiración se restringe.

- c) El tipo de cobertura vegetal. La transpiración de las plantas es distinta según la especie de que se trate y está relacionada con el número y tamaño de las estomas que posean, a la profundidad de su sistema radicular, etc.

A estas condiciones es que se refiere el climatólogo C.W. Thornthwaite para designar la evapotranspiración potencial (ETP), es decir, si el suelo tiene un contenido óptimo de humedad y la cobertura vegetal fuera completa.

Según un ensayo realizado por Thornthwaite (1948), la ETP es directamente proporcional a la temperatura del aire para un mes de 30 días y 12 horas de luz por día, e inversamente proporcional a un índice de calor que depende de la latitud geográfica, y a la continentalidad.

En realidad, lo que se mide es la evapotranspiración real (ETR) que es la cantidad de agua que realmente evapora el suelo y transpiran las plantas de acuerdo al contenido de humedad del suelo y cobertura vegetal circunstanciales. Como se mencionó anteriormente, la ETR puede ser igual a la ETP pero no superior.

La evapotranspiración potencial puede ser determinada en forma satisfactoria mediante el evaporímetro de Thornthwaite, y consiste de un tanque cilíndrico de 4 metros de sección y 70 cm de profundidad, conteniendo suelo no disturbado y una vegetación herbácea que lo cubre totalmente; la humedad del suelo se mantiene en nivel óptimo por medio de una irrigación superficial controlada.

Debido a que los evapotraspirómetros son relativamente complejo y costosos, su difusión es escasa y solo algunos países, entre ellos Francia, Estados Unidos y Canadá, poseen dichos aparatos y realizan mediciones regulares de este fenómeno.

Esto indujo a muchos investigadores a estimar los valores de evapotranspiración diaria y mensual mediante fórmulas que utilizan uno o más elementos meteorológicos.

Entre las más conocidas se encuentra la fórmula de Penman, que requiere para su aplicación datos de radiación neta, viento, y humedad del aire, los que en conjunto, son difíciles de tener para la mayoría de las localidades.

La fórmula propuesta por Thornthwaite, basada en sus experiencias con el evapotraspirómetro, para ser aplicada, únicamente requiere de observaciones de temperatura del aire, lo que la vuelve muy aplicable en numerosas localidades.

En 1961, Papadaskis publica un conjunto de tablas climáticas en las cuales incluye los valores estimados de evapotranspiración mensual y anual para 2400 localidades de todo el mundo. La formula que aplica es la siguiente:

$$EP(\text{cm/mes}) = 0.5625 (E_{ma} - E_d)$$

Donde:

EP: Evapotranspiración potencial en centímetros por mes

E_{ma}: Tensión de vapor de saturación correspondiente a la temperatura máxima media mensual

E_d: Tensión de vapor media mensual.

La medición de evapotranspiración real, en cambio, es difícil de realizar a través de instrumentos, pero puede calcularse indirectamente por el balance hídrico. Menos del 1% del agua que pasa por la planta es utilizada en la fotosíntesis, sin embargo, se ha

encontrado experimentalmente una relación directa entre el agua evapotranspirada y producción, es decir, a mayor cantidad de agua evapotranspirada, la producción es mayor. Esta relación se muestra en las Figuras 3.3.a y 3.3.b correspondientes a la producción de trigo y avena, respectivamente.

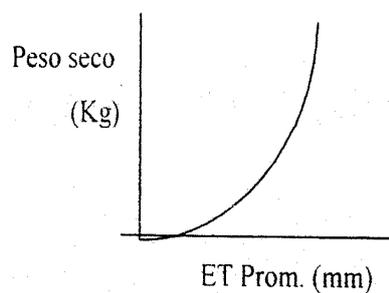


Fig. 3.3.a. Evapotranspiración y rendimiento en el trigo

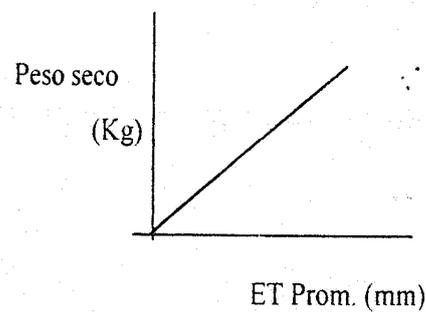


Fig. 3.3.b. Evapotranspiración y rendimiento en avena

Fig 3.3. Relación Producción - ETP

Fuente: Chacón 1964

En el caso de los bosques, estos evaporan gran cantidad de agua con lo que enriquecen de este vapor el aire que se encuentra sobre ellos. El vapor de agua transportada por las corrientes de aire hacia otros lugares se condensa y cae en forma de precipitación.

3.4 Ciclo Hidrológico

El estado de transformación constante del agua entre la tierra y la atmósfera da lugar a lo que se conoce como ciclo hidrológico, cuyas fases principales son: la evaporación, condensación y precipitación y escorrentía.

El agua es un compuesto que está formado por moléculas con tres átomos: dos de hidrógeno y uno de oxígeno. En estado líquido estas moléculas están agrupadas en forma desordenada. Se pueden mover libremente pero se mantienen unidas unas a otras por fuerzas atómicas.

El grado de agitación de las moléculas está relacionado con la velocidad con que se desplazan, (vibración propia), y tiene estricta relación con la temperatura. El tamaño de una molécula de H₂O es aproximadamente de $1 \text{ \AA} = 0.00000001 \text{ cm}$.

3.4.1 El Calor.

La energía proporcionada por el sol aumenta la velocidad promedio de las moléculas. Decimos entonces que subió la temperatura en el líquido. A temperatura ambiente (20°C) un átomo de oxígeno viaja por el espacio vacío que le rodea a 1440 km/h y uno de hidrógeno a 5760 km/h en promedio.

Esta diferencia se debe a que el peso atómico del hidrógeno es 1 u.m.a y el del oxígeno 16 u.m.a.. A mayor temperatura, mayor velocidad en promedio, los átomos chocan entre ellos transmitiéndose energía, debilitando la fuerza de atracción entre ellas.

3.4.2 El Cambio de líquido a vapor.

El sol calienta la superficie del líquido, una molécula de nitrógeno que es abundante en el aire, choca con la superficie del agua, a esas enormes velocidades. Las moléculas del agua son arrancadas del seno del líquido y quedan libre de la atracción de otras moléculas. A esta molécula libre la llamamos vapor de agua.

Lo anterior sucede a temperatura ambiente, lo que implica que el fenómeno de la evaporación sucede en cualquier momento y a cualquier temperatura en un recipiente abierto en donde el Sol y el viento contribuyen a la evaporación.

3.4.3 El Vapor.

Es un nuevo estado de libertad de las moléculas de característica diferente de cuando estaban conformando un líquido. Las moléculas adquieren grandes velocidades chocando entre ellas muchísimas veces por centímetro de recorrido.

La particularidad del vapor de agua es que es invisible y hay muy pocas moléculas por metro cúbico. Si lo vemos, entonces no es vapor de agua, sino una pequeña nube de gotitas. Esto quiere decir que las nubes no están conformadas por vapor de agua sino por pequeñas gotas de agua, de esto surge una pregunta: ¿En qué momento el vapor de agua deja de ser invisible? ¿Qué tamaño hace que una gota se vea?.

3.4.4 Las Nubes

Las respuestas anteriores se pueden analizar tomando en cuenta el hecho de que las nubes dispersan la luz blanca en todas direcciones y es por eso que se hacen visibles aunque estén formadas por gotas transparentes.

El fenómeno de dispersión es bastante complejo, pero basta con decir que la dispersión aumenta en relación directa con la cantidad de átomos que conforman la gota. Recordando que una molécula de agua tiene un diámetro aproximado entre 1 Å y 2 Å. A medida que la gota crece, comienza a dispersar más luz hasta que la nube se vuelve visible.

Este proceso no sigue un aumento constante. Si la gota crece por sobre la medida de la longitud de onda de la luz, la dispersión no aumenta prácticamente nada en adelante manteniendo el vapor casi constante.

Las longitudes de onda de los colores de la luz son aproximadamente:

Color	Longitud de Onda
Roja	6.500 Å
Naranja	6.000 Å
Amarilla	5.800 Å
Verde	5.200 Å
Azul	4.700 Å
Violeta	4.000 Å

Se debe observar que el primer color que llega al máximo de dispersión es aquel de longitud de onda menor: violeta, azul. Una gota de agua de nube mide aproximadamente entre 100,000 Å y 200,000 Å de radio. En general las gotas de dispersarán todos los colores de igual manera. Pero las moléculas de agua, así como otros componentes de la atmósfera, independientemente del tamaño de la gota, tienden a dispersar los tonos de azul, y debido a que la atmósfera contiene mucho vapor de agua igual que otras moléculas componentes del aire con esta propiedad dispersiva de la luz vemos el cielo diurno con tonalidad *celeste*.

La luz que queda sin dispersar y que llega a la tierra (a nuestros ojos) tendrá una marcada componente en los colores del resto del espectro: *amarillo, naranja y rojo*. Cuando el rayo de luz tiene que atravesar mucha atmósfera cargada de vapor, y esto sucede cuando la luz viene rasante desde el horizonte, el efecto de dispersión del color azul permite un marcado resto de colores complementarios y más el color rojo fuego del atardecer.

3.4.5 Lluvia, Nieve y Granizo.

Si la condensación continúa y las gotas crecen, comenzarán a caer por su propio peso. Es lo que llamamos lluvia. Una gota de lluvia promedio mide aproximadamente 10,000,000 Å. (si agrandamos una molécula de agua el tamaño de 8mm de diámetro, la gota mediría unos 40 kilómetros de diámetro).

Los mecanismos por los que el agua se condensa no son del todo conocidos. Algunas de las variables que más se involucran en el proceso son:

- El choque de masas de aire a distintas temperaturas.
- La aglutinación alrededor de partículas.
- La formación de cristales a baja temperatura y su posterior derretimiento.
- La acción de los vientos en las nubes que produce el choque entre las gotitas.

Si la gota es arrastrada hacia las alturas con bajas temperaturas, se forma hielo. Las corrientes ascendentes pueden hacer circular el hielo por dentro de la nube una y otra vez, formando el granizo, capa por capa.

En cambio si el cristal no derretido es el que se aglutina, caerá a tierra en forma de nieve. (teoría de Bergeron – Findeisen).

3.4.6 Reaprovechamiento y Ciclo Hidrológico

La energía solar y la atracción de la gravedad permiten que el ciclo del agua se repita, alimentando ríos, lagos, lagunas, océanos o cubriendo de nieve las cumbres y valles; así como también en ríos que es el medio que el agua utiliza para regresar al mar. A veces la lluvia queda subterránea, lo que favorece la fotosíntesis permitiendo la vida.

Todos los ríos van al mar, permitiendo que se repita el ciclo, evaporándose en el mar, se condensa en nubes arrastradas por los vientos y desciende en forma de lluvia, llegando a ríos. A veces la lluvia se evapora antes de tocar la tierra; este fenómeno recibe el nombre de virgas.

También el agua se evapora mientras corre el río, o se condensa en cavernas y formando el rocío, también parte de esta masa de agua queda estancada millones de años en hielos polares, nieves eternas y glaciares.

Existen mares cuya evaporación supera el aporte del líquido de afluentes y lluvias, secándose lentamente como el caso del Mar Muerto, que a pesar de no tener salida de

agua visible por ningún lado, aun así su nivel no sube, por el contrario, baja. Los que constituye una evaporación paulatina. Esta constituye una excepción para señalar que el ciclo del agua no es un ciclo tan prolijo (extenso).

Este conjunto de procesos se repite constantemente. Las estimaciones de evaporación de cada región son los siguientes:

- Océanos 97 % de toda el agua.
- Del restante 3 % se distribuye de la siguiente manera:
 - Capas de Hielo y Glaciares 75 %.
 - Aguas Superficiales < 750mt; 11 %.
 - Aguas superficiales (750 – 3570mt) 14 %.
 - Del 25% de las aguas superficiales.
 - De los ríos; 0.3 %.
 - Humedad del suelo 0.06 %.
 - La atmósfera contiene el 0.035 % de toda el agua dulce.
 - El promedio anual de las precipitaciones se estima en 85.7cm.

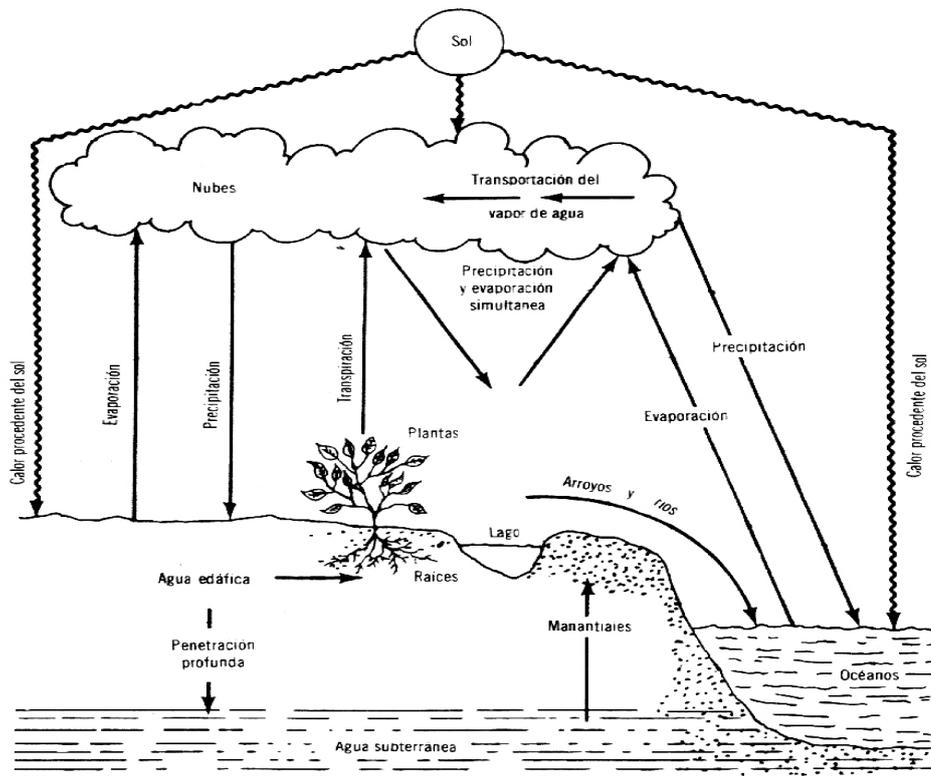


Figura 3.4. Ciclo Hidrológico del agua

Fuente: Sutton DB. & Harmon NP. Fundamentos de Ecología. 1997

De la precipitación total recibida, una parte regresa a la atmósfera por medio de los distintos procesos de evaporación, quedando el resto para el desagüe o escurrimiento en forma superficial después de la infiltración en la tierra en forma subterránea a través de vetas y bóvedas y almacenaje agua. Considerando toda la tierra, durante el curso de todos los años, esta relación está cumplida. Es decir, por ejemplo, las regiones que sufren de sequías extraordinarias uno o varios años seguidos son equilibradas, puede decirse siempre por otras regiones donde el superávit excepcional de agua lluvia causa severas inundaciones con todas sus consecuencias. Ejemplo: El Niño lleva déficit de lluvia en algunos lugares como en El Salvador, y superávit en otros (USA).

La razón es que durante el curso del tiempo siempre es la misma cantidad de agua que mantiene la circulación hídrica de la tierra.

3.5 Medida y cálculo de la evaporación

El término “evaporación” tal como se menciona anteriormente se refiere a un todo, es decir, a toda el agua evaporada por los distintos procesos; pero por razones de investigación, análisis y características asociadas, se hace la clasificación siguiente: evaporación potencial, transpiración y evapotranspiración, teniendo cada una su propia naturaleza.

3.5.1 Evaporación potencial.

La evaporación potencial se refiere a la evaporación que sucede en una superficie líquida, y/o suelos con condiciones óptimas de humedad, es decir, cuando siempre hay agua que evaporar.

En zonas áridas y semiáridas, la medición y control de la evaporación asume un papel importante en la economía del agua y particularmente imprescindible en el planteamiento de riegos, diques etc.

En los diferentes trabajos de investigación realizados sobre el proceso de evaporación se ha demostrado que los principales elementos meteorológicos que influyen son: la radiación solar, temperatura del aire, la tensión de vapor del agua, y el recorrido de viento, la humedad relativa.

También es de mencionar que el déficit de humedad en el aire influye sobre la tasa de evaporación, o sea que mientras más seco permanece el aire, más intensa es la evaporación.

En los observatorios meteorológicos, se han hechos evaluaciones de evaporación durante mucho tiempo utilizando evaporímetros o evaporómetros, basándose en la teoría de que la relación de evaporación de una superficie pequeña de agua es proporcional a la que se pierde en una gran extensión de agua. Sin embargo, debido a que en diámetros muy grandes, por ejemplo 20 km, el viento que llega a los puntos más protegidos, recorre una buena distancia sobre la superficie líquida, por lo cual el aire es húmedo y provoca una evaporación lenta. Por lo que se puede decir que los valores de evaporación con el tanque clase "A" son elevados en comparación con grandes superficies como lagos, mares y las épocas del año.

También se encuentra que la evaporación es máxima en los meses de la época seca y mínima en la época lluviosa. También, por lo general es más intensa en las horas de mayor intensidad de radiación y mínima en horas nocturnas.

Sin embargo, el cálculo de la evaporación se facilita utilizando dispositivos como el tanque de evaporación, por medio del cual se puede estimar con razonable exactitud, mientras la evaporación desde la superficie del suelo desnudo o con vegetación,

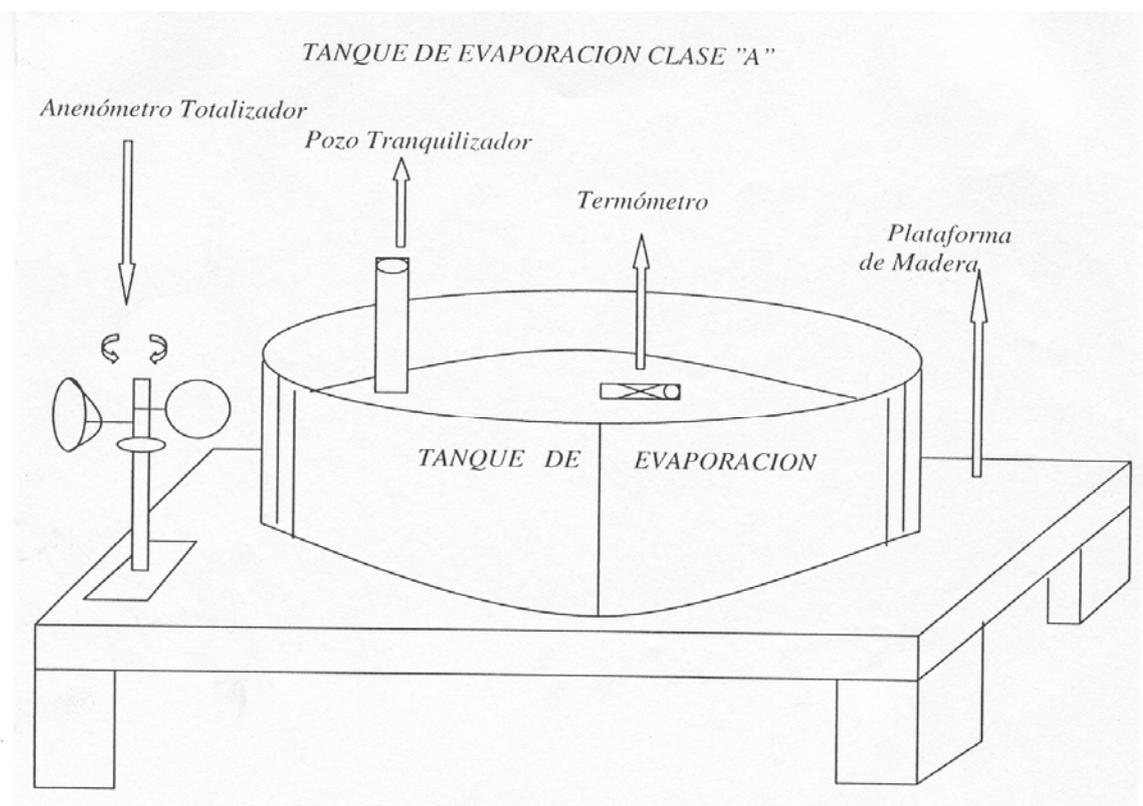


Fig. 3.5. Tanque de evaporación clase “A”

4.0 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

4.1. Diseño Experimental

Esta investigación comienza con la construcción del tanque de evaporación clase "A", circular, con un diámetro de 121 cm (d) y una profundidad de 25.5 cm (h). Es de hierro galvanizado y también se construyó una tarima de madera donde se colocó, siguiendo las recomendaciones que sugiere la Organización Meteorológica Mundial (O. M. M.).

Contando además con el predio donde está instalada la estación meteorológica automática ubicada dentro de la Facultad Multidisciplinaria Oriental, la cual reúne las condiciones necesarias que se necesitan para este tipo de investigación, entre las cuales están; accesibilidad, seguridad para el equipo, aislamiento de la vegetación, etc.



Figura 4.1 Estación meteorológica automática

La Figura 4.1 muestra la ubicación del tanque de evaporación clase "A", dentro de la estación automática de la Facultad Multidisciplinaria Oriental.

Se colocó el tanque de evaporación adentro de las instalaciones antes mencionadas, así como el equipo siguiente: equipo de medición: el pozo estabilizador, para tener una porción de agua tranquila dentro del tanque para poder realizar las mediciones; el micrómetro de gancho, para registrar las pérdidas de agua; termómetro, para medir la temperatura del agua como la ambiente; el anemómetro, para medir el recorrido del viento; el pluviómetro, para medir la precipitación de agua lluvia y un cicrómetro, para medir las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo para y así determinar la humedad relativa del aire.

Luego se procedió a llenar el tanque con agua, hasta una altura de 5 cm por debajo de la orilla superior; con la finalidad de dar espacio a las ondas del movimiento del agua, que se pudieran generar por el movimiento del viento, por el movimiento de la tierra y para efecto de captación de agua lluvia también.

Es de mencionar que el equipo de medición al que se ha hecho referencia, fue proporcionado por la Unidad de Meteorología e Hidrología del S.N.E.T., (el micrómetro de gancho, el anemómetro el pozo estabilizador), lo que facilitó que esta investigación se llevara a cabo.

4.2 Toma de datos.

Para cumplir la finalidad de este estudio, lo esencial es registrar datos de evaporación y de evapotranspiración y determinar su relación con la temperatura, así como la relación entre estos dos fenómenos.

Para tal fin se planteó un tiempo de registro de datos de 4 semanas para cada fase propuesta, desarrollando una experiencia a continuación de otra.

Para desarrollar la segunda parte se colocaron plantas acuáticas (Jacinto acuático; eichornia crassipes) dentro del tanque, con lo que se pretendió registrar datos de la evapotranspiración, con la finalidad antes mencionada. Se comenzó en condiciones relativamente similares, pero en el transcurso de la experiencia se presentó lluvia durante varios días. Este hecho produjo un cambio en la temperatura ambiente, siendo además imposible tomar datos durante algunos días, lo que afectó de alguna manera la finalidad propuesta al inicio de este estudio.

Pretendiendo obtener resultados óptimos, se planteó una tercera fase de toma de datos.

4.3 Tabulación de datos

Esta se llevó a cabo en tres fases, tal como se detalla a continuación.

4.3.1 Fase: Determinación de la Evaporación

Se registraron lecturas de pérdida de agua, la temperatura del aire, la temperatura del agua en el tanque, recorrido del viento, y precipitaciones de agua lluvia cuando las hubo.

Es de mencionar que para fines climatológicos, las horas indicadas para la toma de datos son: 7, 14 y 21 horas, sin embargo para esta experiencia las medidas se realizaron a las 7, 10, 14, 16, 18, horas, durante 28 días, para efecto de obtener una mayor comprensión del fenómeno.

Los datos registrados se agruparon: por día (Tabla N° 1), por horas de registro (Tabla N°2) y tomando tres días como unidad de medida (Tabla N° 3).

La Tabla N° 1 presenta el resumen de los registros efectuados por día, así como las correcciones efectuadas cuando se presentó lluvia. La Tabla N° 2 se elaboró en base a la Tabla N°1 y tiene la finalidad de visualizar a cual hora de las seleccionadas se da la mayor temperatura y la mayor evaporación, y al mismo tiempo permite elaborar la Tabla N° 3, en la cual se plantean los promedios de estos valores máximos observados. Es en base a esta tabla que se desarrolla la fase de análisis, agrupando los datos en períodos de 3 días, el cual se toma como unidad de medida.

Las correcciones debido a la presencia de lluvia se realizaron de la manera siguiente: la precipitación recogida en el pluviómetro fueron medidas; esta cantidad se le restó a la medida registrada en el micrómetro, el cual mide la pérdida de agua en el tanque. Estos datos se presentan en la Tabla N° 1.

4.3.2 Fase: Determinación de la Evapotranspiración.

Se colocaron dentro del tanque de evaporación clase "A", 16 plantas acuáticas (Jacinto), con un peso de 13.87 libras (0.87 l b c/u) en promedio, los datos generales

registrados se presentan en la Tabla N° 4 de la cual se deducen las Tablas 5 y 6, procediendo de igual forma como se hizo en la primera fase, con la diferencia que éstos se agrupan en periodos de 2 días, debido a la menor cantidad de datos registrados debido a que durante el período de registro en esta fase hubo precipitaciones frecuentes.

4.3.3 Fase: Determinación de la Evaporación y Evapotranspiración horarias.

En esta fase se registraron datos cada hora, desde las 7 hasta las 18 horas durante 3 días consecutivos para la evapotranspiración y tres días consecutivos para la evaporación

El objeto de esta fase es observar el comportamiento de estos fenómenos en relación al tiempo de registro, y dada la proximidad de estos datos entre la evaporación y la evapotranspiración, establecer la relación entre ellos. También se registraron datos de la humedad relativa con la finalidad de observar su influencia sobre estos fenómenos.

Los datos registrados se presentan en las Tablas N° 7 y N° 8 respectivamente, de las cuales se calculó el promedio de los 3 días para cada fenómeno agrupando estos datos en la Tabla N° 9.

4.3.4 Análisis de Datos.

Los resultados de evaporación y temperatura se muestran en la Tabla N° 3. Acá se observa que la temperatura a la cual se observa la evaporación máxima, sucede a las 16 horas. Después de hacer algunas operaciones intermedias, los datos se agruparon en periodos de 72 horas, la cual representa para el caso la unidad de medición escogida, determinando la temperatura y evaporación promedio para este período.

Después de hacer los cálculos necesarios se obtienen, los resultados mostrados en la Tabla N° 4.1, a los cuales se les aplicó regresión lineal para determinar la correlación de la evaporación con tres de las variables que intervienen en el proceso, las cuales son: tiempo, temperatura, humedad relativa.

El análisis de regresión se realizó con apoyo del programa de computación EXCEL.

Con los datos de las mediciones experimentales, se efectuaron los cálculos de las medias aritméticas, desviación estándar, así como los resultados promedios de evaporación y temperaturas referentes a 24 horas, para luego agruparlos en períodos de 72 horas (3 días).

Es de mencionar que a las distintas gráficas se les aplica regresión únicamente como herramienta diagnóstica, con el objeto de tener una primera aproximación de su relación y visualizar la tendencia.

4.4 Resumen de Resultados.

Los resultados de las mediciones experimentales, cálculos e interpretaciones se agrupan presentan en tablas que contienen los datos concentrados en unidades de medición convenientes; los estadísticos (medias y desviaciones estándar), de las variables consideradas también se calcularon. De éstas se han elaborado los gráficos correspondientes.

Con las consideraciones anteriores, los resultados totales de los intervalos de medición se agrupan en la Tabla N° 4.1, que se muestran a continuación.

TABLA Nº 1. RESUMEN GENERAL DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA LA EVAPORACIÓN

DÍA	LECTURA DEL MICRO (mm)	PRECIPITA- CIÓN (mm)	EVAPORA- CIÓN EN EL TANQUE (mm)	EVAPORA- CIÓN REAL (mm)	EVAPORA- CIÓN ACU- MULADA/ día (mm)	RECORRIDO DEL VIENTO Km/ día	TEMPERATURA (°C)				
							HORA	7	10	14	16	18
03-05-02	94.52	.	-	-			25.0	34.0	39.5	38.5	32.0
04-05-02	86.44/ 95.60	.	8.08	8.08	8.08	8.08	27.0	34.0	39	38.0	31.0
05-05-02	86.68/ 93.51	.	8.8	8.8	16.78	17.10	28.0	34.0	39.5	38.0	32.0
06-05-02	85.3	.	8.21	8.21	25.09	11.00	28.0	34.0	39.5	37.5	32.0
07-05-02	77.42/ 103.27	.	7.88	7.88	32.97	12.40	27.0	34.0	39.5	37.0	32.0
08-05-02	93.52	.	9.75	9.75	42.72	11.70	26.0	33.0	38.5	36.0	31.0
09-05-02	86.12/ 107.90	.	7.40	7.40	50.12	10.60	27.0	33.0	37.0	33.0	31.0
10-05-02	99.38	.	8.52	8.52	58.64	15.70	27.0	33.5	38.0	33.5	31.0
11-05-02	91.06	.	8.32	8.32	66.96	-	27.0	32.5	37.0	33.0	31.0
12-05-02	83.94	.	7.12	7.12	74.08	-	26.0	33.0	38.0	34.0	31.0
13-05-02	76.16	.	7.78	7.78	81.36	-	26.0	33.0	39.0	37.0	30.0
14-05-02	88.80	22.10	-12.64	9.46	91.32	13.50	26.0	33.0	37.0	35.5	30.0
15-05-02	80.78	.	8.08	8.02	99.34	11.70	27.0	34.0	39.5	36.5	31.0
16-05-02	70.39/ 107.15	.	10.40	10.40	109.74	12.70	26.0	34.5	35.0	34.0	31.0
17-05-02	99.24	.	7.91	7.91	117.65	12.10	26.5	34.0	37.0	35.0	30.0
18-05-02	97.14	3.29	2.10	5.39	123.04	11.80	26.5	31.5	32.0	31.0	30.0
19-05-02	90.03	2.12	7.91	9.23	132.27	17.10	26.0	34.0	36.0	33.0	31.0
20-05-02	92.96/ 105.57	10.62	2.10	7.69	139.96	-	24.0	27.0	32.0	30.0	32.0
21-05-02	102.90/ 90.0	29.75	1.98	2.67	142.63	-	24.0	27.0	31.0	31.0	29.0
22-05-02	93.27	7.61	1.49	4.34	146.97	11.80	24.0	27.0	34.5	32.0	31.0
23-05-02	87.76	.	5.51	5.51	152.48	5.80	26.0	30.5	33.0	32.0	27.5
24-05-02	79.02	.	8.74	8.74	161.22	15.40	23.0	28.0	30.5	27.0	26.0
25-05-02	74.41	.	4.11	4.11	165.33	10.60	25.0	28.5	30.0	27.0	25.5
26-05-02	106.18	38.21	-31.77	6.44	171.77	18.20	24.0	29.0	28.5	25.0	24.5
27-05-02	104.20	2.26	1.98	4.24	176.01	9.3	23.5	27.0	29.0	23.0	24.5
28-05-02	102.71/ 90.0	14.52	1.49	1.49	177.50	7.80	24.5	26.5	30.5	26.5	26.0
29-05-02	97.26	10.87	-7.26	3.61	181.11	11.00	-	-	-	-	-
29-05-02	-	6.18									
30-05-02		60.72									
31-05-02		14.43									
TOTALES		222.68			181.11						

TABLA Nº 3. DATOS DE EVAPORACIÓN Y TEMPERATURA DIARIA TOMANDO COMO REFERENCIA LAS 14 Y 16 HORAS.

DÍA	HORA	TIEMPO POR DÍA	T (°C)	EVAPORACIÓN POR DÍA (mm)	DÍA	HORA	TIEMPO POR DÍA Nº horas	T (°C)	EVAPOR. POR DÍA (mm)
03-05-02	7	0	25.0		03-05-02	7	-	25.0	-
03-05-02	14	7	39.5	2.45	03-05-02	16	9	38.5	4.56
04-05-02	14	31	39.0	7.85	04-05-02	16	33*	38.0	7.90
05-05-02	14	24	39.5	9.04	05-05-02	16	24	38.0	9.25
06-05-02	14	24	39.5	7.70	06-05-02	16	24	37.5	7.88
Promedio								35.4	29.59
07-05-02	14	24	39.5	7.29	07-05-02	16	24	37.0	8.42
08-05-02	14	24	38.5	8.18	08-05-02	16	24	36.0	8.61
09-05-02	14	24	37.0	7.57	09-05-02	16	24	33.0	7.65
Promedio								35.33	24.68
10-05-02	14	24	38.0	8.83	10-05-02	16	24	33.5	8.58
11-05-02	14	24	37.0	8.50	11-05-02	16	24	33.0	8.21
12-05-02	14	24	38.0	7.01	12-05-02	16	24	34.0	7.10
Promedio								35.50	23.89
13-05-02	14	24	39.0	9.86	13-05-02	16	24	37.0	9.43
14-05-02	14	24	37.0	7.46	14-05-02	16	24	35.5	6.70
15-05-02	14	24	39.5	10.47	15-05-02	16	24	36.5	10.15
Promedio								36.33	26.28
16-05-02	14	24	35.0	8.81	16-05-02	16	24	34.0	9.32
17-05-02	14	24	37.0	7.0	17-05-02	16	24	35.0	6.83
18-05-02	14	24	32.0	6.27	18-05-02	16	24	31.0	7.18
Promedio								33.33	23.33
19-05-02	14	24	36.0	9.87	19-05-02	16	24	33.0	9.76
20-05-02	14	24	32.0	5.31	20-05-02	16	24	30.0	4.54
21-05-02	14	24	31.5	2.49	21-05-02	16	24	31.0	2.36
Promedio								31.33	16.16
22-05-02	14	24	34.5	4.77	22-05-02	16	24	32.0	4.16
23-05-02	14	24	33.0	7.5	23-05-02	16	24	32.0	8.73
24-05-02	14	24	30.5	7.07	24-05-02	16	24	27.0	6.61
Promedio								31.50	19.50
25-05-02	14	24	30.0	4.95	25-05-02	16	24	27.0	5.36
26-05-02	14	24	28.5	5.49	26-05-02	16	24	25.0	5.07
27-05-02	14	24	29.0	2.61	27-05-02	16	24	23.0	3.14
Promedio								25.00	13.57
28-05-02	14	24	30.5	1.7	28-05-02	16	24	26.5	1.48
29-05-02	-	-	-						
30-05-02	-	-	-						
31-05-02	-	-	-						
Promedio			35.35	6.77				32.98	7.15

* 33 Horas Acumuladas (24 h + 9 h.)

Tabla N°. 4.1 Evaporación Promedio por 72 Horas

TIEMPO		TIEMPO ACUMULADO	TEMPERATURA (°C)	EVAPORACIÓN (mm)/3días	EVAPORACIÓN ACUMULADA (mm)	EVAPORACIÓN POR DÍA (mm)/d
HORAS	DÍAS	(DÍAS)				
81	3.375	3.375	35.4	29.59	29.59	8.77
72	3.000	6.375	35.33	24.68	54.27	8.23
72	3.000	9.375	35.50	23.89	78.16	7.96
72	3.000	12.375	36.33	26.28	104.44	8.76
72	3.000	15.375	33.33	23.33	127.77	7.78
72	3.000	18.375	31.33	16.16	143.93	5.38
72	3.000	21.375	31.50	19.50	163.43	6.50
72	3.000	24.375	25.00	13.57	177.00	4.52
Suma		24.375	363.72	177.00		57.9
MEDIA			32.965	22.125		7.24
Desviación Stándar			3.49			1.49

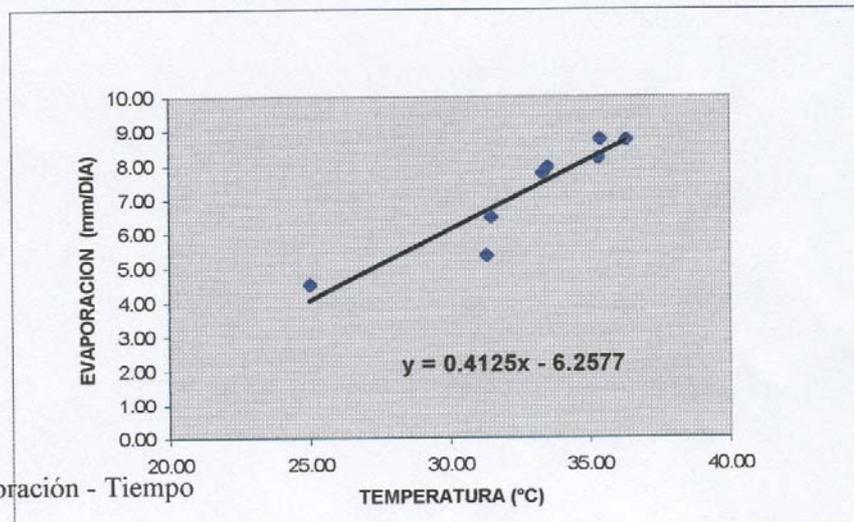
Valores promedios para 3 días tomando como referencia las 16 horas por cada día. Se ha elaborado a partir de la tabla N°. 3. Se tomó 3 días como unidad de medición debido a lo corto del período de estudio

De la tabla N°. 4.1.1 se deducen los datos que se presentan a continuación a los cuales se les aplica el método de regresión lineal para determinar su correlación

TABLA N°. 4.1.1 RELACIÓN TEMPERATURA - EVAPORACIÓN

TEMPERATURA (°C)	EVAPORACION (mm)/día
35.40	8.77
35.33	8.23
33.50	7.96
36.33	8.76
33.33	7.78
31.33	5.38
31.50	6.50
25.00	4.52

FIGURA 4.1.1 GRÁFICO DE DISPERSIÓN EVAPORACIÓN - TEMPERATURA



Correlación Evaporación - Tiempo

$$a = 0.4125$$

$$b = -6.2577$$

$$R^2 = 0.8679$$

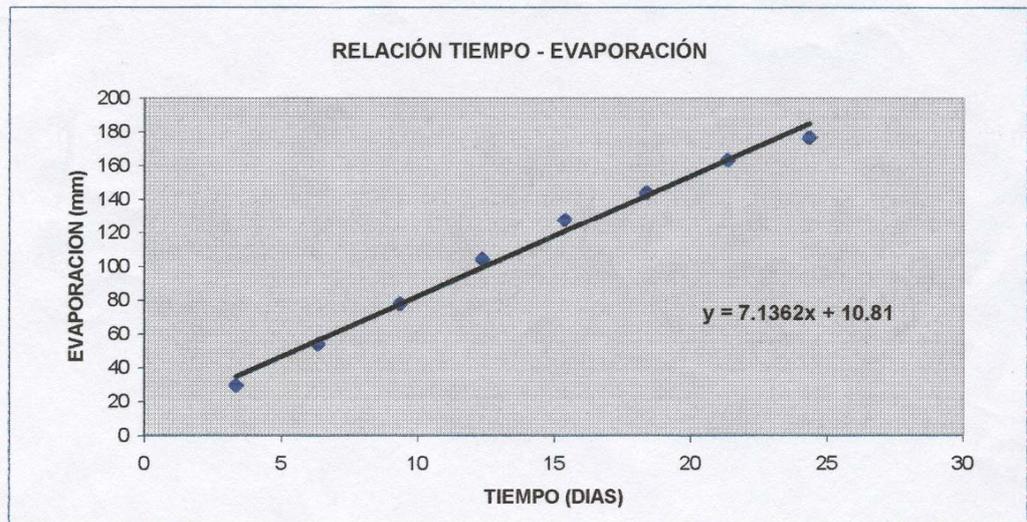
$$R = 0.9316$$

En la gráfica se observa que la correlación es mayor que 0.8 lo que implica que la evaporación por día aumenta con la temperatura en un porcentaje significativo manifestándose que en el fenómeno de la evaporación, que es bien complejo por la variedad de parámetros que intervienen, la temperatura es de las más importantes.

TABLA N°. 4.1.2 RELACIÓN TIEMPO - EVAPORACIÓN

TIEMPO/ DÍAS	EVAPORACIÓN ACUMULADA (mm)
3.375	29.590
6.375	54.270
9.375	78.160
12.375	104.440
15.375	127.770
18.375	143.930
21.375	163.430
24.375	177.000

FIGURA N°. 4.1.2 GRÁFICA EVAPORACIÓN - TIEMPO



Correlación Evaporación - Tiempo

$$a = 7.1362$$

$$b = 10.81$$

$$R^2 = 0.9909$$

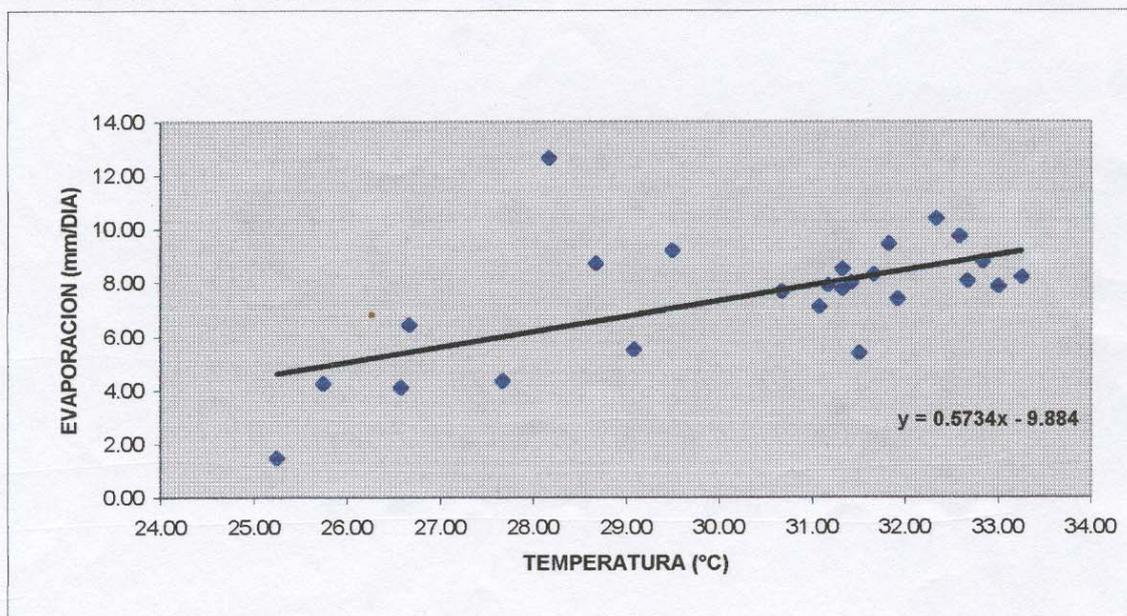
$$R = 0.96$$

El resultado es el esperado.

TABLA N° 1.1. RELACION TEMPERATURA - EVAPORACION DIARIA

TEMPERATURA PROMEDIO/DIA (°C)	EVAPORACION (mm/d)
32.67	8.08
32.83	8.80
33.25	8.21
33.00	7.88
32.58	9.75
31.92	7.40
31.33	8.52
31.67	8.32
31.08	7.12
31.33	7.78
31.83	9.46
31.42	8.02
32.33	10.40
31.17	7.91
31.50	5.39
29.50	9.23
30.67	7.69
28.17	12.67
27.67	4.34
29.08	5.51
28.67	8.74
26.58	4.11
26.67	6.44
25.75	4.24
25.25	1.49

FIGURA : N° 1.1. GRAFICO DE DISPERSION EVAPORACION - TEMPERATURA



Correlación Evaporación -Temperatura

$$a = 0.5734$$

$$b = -9.884$$

$$R^2 = 0.3501$$

$$R = 0.59$$

El resultado de esta relación se analiza en primer lugar, observando la tabla de datos, los cuales son el promedio del día tomando como base las horas en las cuales hubo registro de temperatura; y también control de evaporación no así en el lapso de las 18 a las 7 horas, donde no se efectuó registro horario.

En segundo lugar, observando los puntos de dispersión en la gráfica se ve que existe una concentración de puntos alrededor de los 32 °C que refleja que es el sector que determina la tendencia de la relación temperatura - evaporación.

TABLA N° 4. RESUMEN GENERAL DE DATOS OBTENIDOS PARA LA EVAPOTRANSPIRACIÓN

DÍA	LECTURA DEL MICRO (mm)	PRECIPITA- CIÓN (mm)	ETP EN EL TANQUE (mm)	ETP REAL	ETP ACUMULA- DA (mm)	RECORRIDO DEL VIENTO Km/ día	TEMPERATURA (°C)				
							HORA 7	10	14	18	18
03-06-02	94.15	.	.	.	.		26.5	29.5	33.0	32.0	29.0
04-06-02	87.50	1.26	6.65	7.91	7.91	15.64	27.0	31.0	32.5	31.0	29.0
05-06-02	81.00	.	6.50	6.50	14.41	13.29	26.0	27.0	28.0	27.5	27.0
06-06-02	88.03	8.44	7.03	1.41	15.82	6.12	25.0	27.5	29.0	28.0	27.5
07-06-02	81.52	.	6.51	6.51	22.33	7.18	26.0	28.0	29.25	29.0	28
08-06-02	83.49	7.57	-1.97	5.60	27.93	11.36	26.25	30.25	32.25	30.0	-
09-06-02	86.56	8.8	-3.09	5.71	33.64	3.77	-	-	-	-	-
10-06-02	0.0/ 94.15	9.11	3.26	3.26	36.90	4.97	26.0	29.0	32.0	30.0	28.0
11-06-02	- / 80	21.1	3.49	3.49	40.39	2.16	26.0	29.0	30.25	29.0	28.0
12-06-02	-	6.37	-	-			-	-	-	-	-
13-06-02	104.94	.			48.88	-	26.0	31.0	32.0	29.0	29.0
14-06-02	96.45	.	8.49		55.17	2.94	27.5	30.25	33.0	29.0	-
15-06-02	90.16	.	6.29	6.29	63.49	4.05	27.0	32.0	33.5	32.0	30.10
16-06-02	87.34	1.5	6.82	8.32	71.88	0.32	26.0	31.25	36.0	32.0	30.0
17-06-02	78.95	.	8.39	8.39	76.58	0.97	28.0	32.0	34.0	32.0	30.5
18-06-02	-	52.0	4.70	4.70	80.29	7.41	27.0	32.0	33.0	30.0	29.0
19-06-02	75	0.5	3.71	4.71	85.17	1.56	27.0	29.5	32.0	28.5	30.0
20-06-02	84.59	16.76	4.48	4.48	90.96	5.43	27.25	31.10	33.0	29.0	30.0
TOTALES		133.41			90.96						

TABLA N° 6. DATOS DE EVAPOTRANSPIRACIÓN Y TEMPERATURAS DIARIA TOMANDO COMO REFERENCIA LAS 14 Y 16 HORAS.

DÍA	HORA	TIEMPO	T(° C)	ETP (mm)/d	DÍA	HORA	TIEMPO/día N° horas	T° C	ETP/día
03-06-02	7	0	26.5	0	03-06-02	7	-	26.5	-
03-06-02	14	7	33.0	2.55	03-06-02	16	9	32.0	4.19
04-06-02	14	31	32.5	8.55	04-06-02	16	33	31.0	8.10
05-06-02	14	24	28.0	3.31	05-06-02	16	24	27.5	2.12
06-06-02	14	24	29.0	3.14	06-06-02	16	24	28.0	4.01
Promedio								29.38	16.30,
07-06-02	14	24	29.25	6.92	07-06-02	16	24	29.0	7.26
08-06-02	14	24	32.25	6.70	08-06-02	16	24	30.0	6.49
Promedio								29.50	13.75
09-06-02	14	24	-	2.47	09-06-02	16	24	-	1.47
10-06-02	14	24	32.0	1.77	10-06-02	16	24	30.0	2.50
11-06-02	14	24	30.25	3.87	11-06-02	16	24		4.25
12-06-02	14	24	-	1.11	12-06-02	16	24	-	-
13-06-02	14	24	32.0	3.18	13-06-02	16	48	29.0	3.65
14-06-02	14	24	33.0	8.38	14-06-02	16	24	29.0	9.67
Promedio								29.00	13.32
15-06-02	14	24	33.5	7.14	15-06-02	16	24	32.0	6.78
16-05-02	14	24	36.0	7.74	16-05-02	16	24	32.0	7.96
Promedio								32.00	14.75
17-06-02	14	24	34.0	7.34	17-06-02	16	24	32.0	7.32
18-06-02	14	24	33.0	6.12	18-06-02	16	24	30.0	4.52
Promedio								31.00	11.84
19-06-02	14	24	32.0	2.89	19-06-02	16	24	28.5	4.07
20-06-02	14	24	33.0	5.84	20-06-02	16	24	29.0	6.03
Promedio								28.75	10.10,
Promedio			31.72	4.94				29.64	5.32

* 33 Horas Acumuladas (24 h + 9 h.)

ETP Promedio por 48 Horas

Se introdujeron 16 plantas acuáticas (Jacinto), dentro del tanque con un peso total de 13.87 Lb (0.87 Lb c/u) procediendo posteriormente a tomar las lecturas correspondientes, de igual manera que se procedió en el caso de la evaporación. Es de manifestar que en esta etapa hubo bastante precipitación, lo que generó algunas dificultades para la toma de datos, esto incidió en el resultado de las mediciones, las cuales se presentan en la tabla N°. 4

Los datos registrados se agruparon en periodos de 48 horas (unidad de medición), debido a los pocos datos registrados haciendo los cálculos intermedios resultaron los datos que se presentan en la tabla 4.2 a continuación.

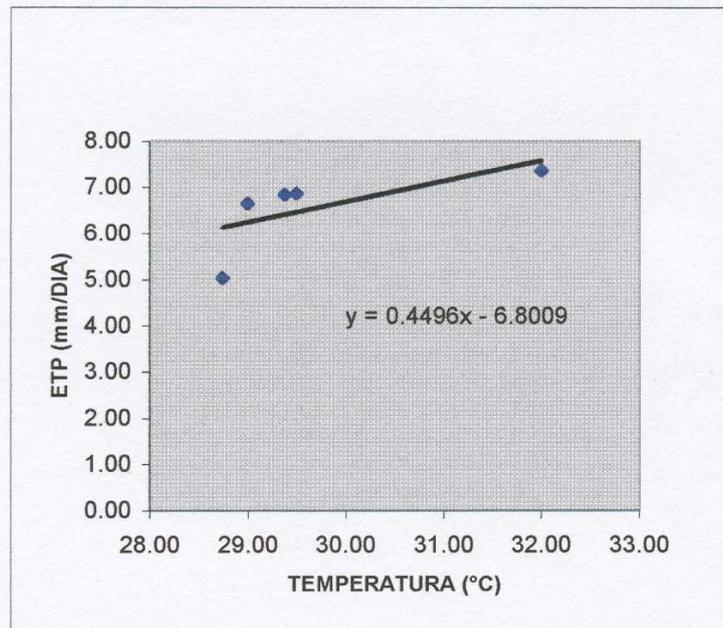
TABLA 4.2 RESULTADOS PROMEDIOS PARA UN PERÍODO DE 48 HORAS EVAPOTRANSPIRACIÓN (ETP)

TIEMPO		TIEMPO ACUMULADO (días)	TEMPERATURA (°C)	EVAPORACIÓN (mm)	EVAPORACIÓN ACUMULADA (mm)	EVAPORACIÓN POR DÍA (mm/d)
HORAS	DÍAS					
57	2.375	2.375	29.36	16.30	16.30	6.86
48	2.000	4.375	29.50	13.75	30.05	6.88
48	2.000	6.375	29.00	13.32	43.37	6.66
48	2.000	8.375	32.00	12.74	58.11	7.37
48	2.000	10.375	31.00	11.84	69.95	5.92
48	2.000	12.375	28.75	10.10	80.05	5.05
SUMA		12.375	179.63	80.05		38.75
MEDIA			29.94	13.34		6.46
Desviación Stand			1.17	0.21		0.76

TABLA N°. 4.2.1 RELACIÓN TEMPERATURA - EVAPOTRANSPIRACIÓN

TEMPERATURA (°C)	EVAPOTRANSPIRACIÓN (ETP)
29.38	6.86
29.50	6.88
29.00	6.66
32.00	7.37
28.75	5.05

FIGURA N°. 4.2.1 GRÁFICA DE DISPERSIÓN EVAPOTRANSPIRACIÓN - TEMPERATURA



Correlación ETP - Temperatura

$$a = 0.4496$$

$$b = -6.8009$$

$$R^2 = 0.4394$$

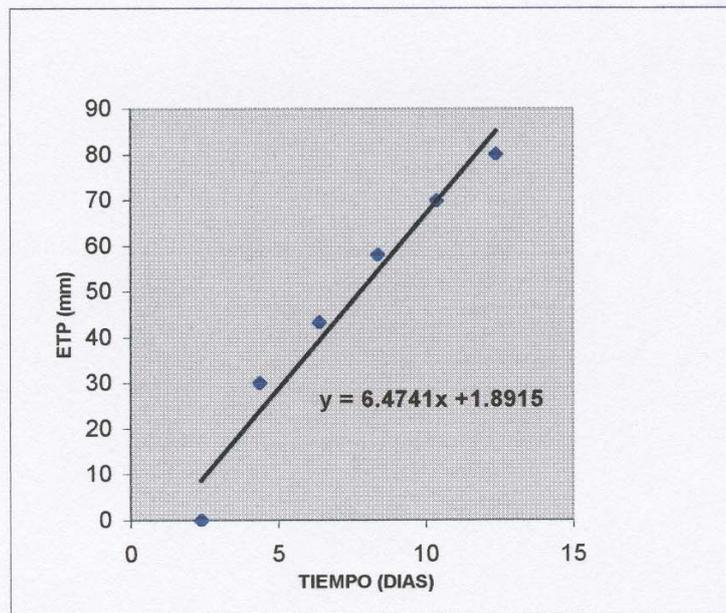
$$R = 0.66$$

La correlación abajo de cinco de la presente gráfica obedece no a una baja relación entre los datos, sino a que la linealidad de la relación no es fuerte.

TABLA N°. 4.2.2 RELACIÓN TIEMPO - EVAPOTRANSPIRACIÓN

HORAS (ACU)	EVAPOTRANSPIRACIÓN ACUMULADA (mm)
2.375	16.30
4.375	30.05
6.375	43.37
8.375	58.11
10.375	69.95
12.375	80.05

FIGURA N°. 4.2.2 GRÁFICO DE ETP - TIEMPO



Correlación Evapotranspiración - Tiempo

$$a = 6.4741$$

$$b = 1.8915$$

$$R^2 = 0.9967$$

$$R = 0.9983$$

Para el gráfico se observa una correlación casi perfecta; lo cual demuestra que a medida transcurre el tiempo la evaporación aumenta linealmente,

TABLA Nº 7. REGISTRO DE EVAPOTRANSPIRACIÓN POR HORA (3 días)

FECHA	LECTURA DEL MICRO (mm)	ETP (mm)	EVAPORAC. EN EL TAM. (mm)/ h	ETP (mm)/ h	ETP (mm)	Lectura del Anemómetro x 100 mts.	Recorrido del viento 11 horas	TEMPERATURA. (°C)	TEMPERATURA DEL H2O (°C)	TIEMPO		HR		%	
										T(h)	VT(h)	BS	BH		
24/06/02	103.5	*	-	-	-	14034		27.0	26.0	7	0	27.0	25.0	85%	
	103.21	*	0.29	0.29	0.29	14037		30.0	29.0	8	1	30.0	27.0	80%	
	103.08	*	0.13	0.13	0.42	14040		31.5	30.0	9	2	31.5	27.0	70%	
	102.67	*	0.41	0.41	0.83	14041		32.25	33.0	10	3	32.25	28.5	70%	
	202.41	*	0.26	0.26	1.09	14041		33.0	34.2	11	4	33.0	27.0	63%	
	101.44	*	0.97	0.97	2.06	14041		34.0	36.0	12	5	34.0	29.5	74%	
	100.46	*	0.98	0.98	3.04	14042		34.25	37.0	13	6	34.25	29.5	75%	
	99.68	*	0.78	0.78	4.82	14042		35.0	38.0	14	7	35.0	28.0	59%	
	98.50	*	1.18	1.18	5.0	14042		34.0	38.0	15	8	34.0	28.0	63%	
	98.15	*	0.35	0.35	5.35	14042		32.75	37.0	16	9	32.75	27.5	67%	
	97.75	*	0.40	0.40	5.75	14042		31.5	36.0	17	10	31.5	27.5	74%	
	97.68	*	0.07	0.07	5.82	14042		31.0	35.0	18	11	31.0	27.5	78%	
	25/06/02	96.20		1.48	1.48	7.3		1.74	26.0	25.0	7	24	26.0	25.0	95%
	25/06/02	96.20	*	-	-	-	-		26.0	25.0	7	0	26.0	25.0	95%
96.17		*	0.03	0.03	0.03	14042		28.5	28.0	8	1	28.5	26.0	85%	
96.09		*	0.08	0.08	0.11	14047		31.5	30.0	9	2	31.5	27.0	74%	
95.49		*	0.6	0.6	0.71	14050		32.0	32.0	10	3	32.0	28.0	74%	
95.02		*	0.47	0.47	1.18	14052		33.0	34.0	11	4	33.0	28	74%	
94.17		*	0.85	0.85	2.03	14056		35.0	34.0	12	5	35.0	29	64%	
93.06		*	1.11	1.11	3.14	14063		35.5	37.0	13	6	35.5	30	66%	
92.49		*	0.57	0.57	3.71	14066		36.5	37.0	14	7	36.5	30	66%	
91.4		*	1.09	1.09	4.80	14069		34.0	37.0	15	8	34.0	30	75%	
91.1		*	0.3	0.3	5.10	14070		33.25	36.0	16	9	33.25	29	73%	
90.78		*	0.32	0.32	5.42	14070		33.0	36.0	17	10	33.0	29	73%	
90.67		*	0.11	0.11	5.53	14070		32.0	35.0	18	11	32.0	29	80%	
26/06/02		87.88		2.79	2.79	8.32		6.10	26.0	25.5	7	24	26.0	25	95%
26/06/02		87.88	*	-	-	-	-		26.0	25.5	7	0	26.0	15	95%
	87.63	*	0.25	0.25	0.25	14070		30.0	29.0	8	1	30.0	28	87%	
	87.11	*	0.52	0.52	0.77	14072		31.0	31.5	9	2	31.0	29	87%	
	86.72	*	0.39	0.39	1.16	14072		32.0	33.0	10	3	32.0	29	80%	
	86.28	*	0.44	0.44	1.60	14072		33.5	34.0	11	4	33.5	30	78%	
	85.51	*	0.77	0.77	2.37	14073		33.5	35.0	12	5	33.5	30	78%	
	84.64	*	0.87	0.87	3.24	14073		34.5	37.0	13	6	34.5	31	78%	
	83.83	*	0.81	0.81	4.05	14073		34.0	37.5	14	7	34.0	30	75%	
	83.46	*	0.37	0.37	4.42	14073		33.5	37.0	15	8	33.5	30	77%	
	82.5	*	0.97	0.97	5.38	14074		33.0	37.0	16	9	33.0	30	81%	
	82.29	*	0.21	0.21	5.59	14074		31.5	36.0	17	10	31.5	29	83%	
	82.12	*	0.17	0.17	5.76	14074		30.25	35.0	18	11	30.25	29	83%	
	27/06/02	82.66	0.65	0.54	0.11	5.87		6.87	26.0	25.0	7	24	26.0	25	95%

TABLA N° 8. REGISTRO DE EVAPORACIÓN POR HORA (3 días)

FECHA	Lectura del Micro (mm)	Precipitación (mm)	Evaporación en el tanque (mm)/h	EVA REAL (mm)	EVA ACU, (mm)	Lectura del Anemómetro x 100 mfs.	Recorrido del viento 11 horas	TEMPERATURA. (°C)	Temperatura del H2O (°C)	TIEMPO		HR		%
										T(h)	VT(h)	BS	BH	
01/07/02	95.81	*	-	-	-	14074		34.0	34.0	11	0	34.0	29.0	68%
	95.50	*	0.31	0.31	0.31	14080		35.0	35.0	12	1	35.0	28.5	62%
	95.12	*	0.38	0.38	0.69	14105		36.0	39.0	13	2	36.0	28.0	58%
	94.71	*	0.41	0.41	1.1	14108		36.0	39.0	14	3	36.0	28.0	58%
	94.42	*	0.29	0.29	1.39	14114		35.2	40.0	15	4	35.2	28.0	58%
	94.10	*	0.32	0.32	1.71	14117		35.2	40.0	16	5	35.0	28.0	58%
	93.89	*	0.21	0.21	1.92	14118		34.0	39.0	17	6	34.0	29.5	72%
02/07/02	93.74	*	0.15	0.15	2.07	14118	9.60	32.5	38.5	18	7	32.5	30	83%
	90.46	*	3.28	3.28	5.35			26.0	26.5	7	20			
02/07/02	90.46							26.0	26.5	7	-	26.0	25	92%
	90.23	*	0.23	0.23	0.23	14118		28.0	28	8	1	28.0	26.0	86%
	90.02	*	0.21	0.21	0.44	14119		30.0	31	9	2	30.0	27.0	80%
25/06/02	89.76	*	0.26	0.26	0.7	14122		31.0	31.5	10	3	31.0	27.0	60%
	89.24	*	0.52	0.52	1.22	14125		33.0	32.0	11	4	33.0	26.5	58%
	88.78	*	0.46	0.46	1.68	14127		35.5	37.0	12	5	35.5	28.0	58%
	88.02	*	0.76	0.76	2.44	14128		35.5	39.0	13	6	35.5	28.0	58%
	87.19	*	0.63	0.63	3.27	14130		35.0	39.0	14	7	35.0	28.0	64%
	86.81	*	0.38	0.38	3.65	14131		35.0	39.0	15	8	35.0	29.0	64%
	86.52	*	0.29	0.29	3.94	14133		34.0	39.0	16	9	34.0	29.5	83%
	86.38	*	0.14	0.14	4.08	14135		32.5	38.0	17	10	32.5	30.0	92%
03/07/02	86.27		0.11	0.11	4.19	14138	4.36	31.0	37.0	18	11	31.0	30.0	
	-	46.3	-	-				25.0	25.0	7	24			
03/07/02	91.50	*						25.0	25.0	7	-	25.0	24	93%
	91.29	*	0.21	0.21	0.21	14138		27.0	26.5	8	1	27.0	24.5	83%
	91.03	*	0.26	0.26	0.47	14142		29.25	28.0	9	2	29.25	27.5	86
26/06/02	90.82	*	0.21	0.21	0.68	14146		29.25	29.0	10	3	29.25	27.5	86%
	90.63	*	0.19	0.19	0.87	14149		31.0	31.0	11	4	31.0	27	73%
	90.29	*	0.34	0.34	1.21	14162		32.0	34.0	12	5	32.0	28	74%
	89.87	*	0.42	0.42	1.63	14175		33.5	39.0	13	6	33.5	29.5	74%
	89.50	*	0.37	0.37	2	14179		33.5	40.0	14	7	33.5	29.5	74%
	89.22	*	0.28	0.28	2.28	14184		33.0	41.0	15	8	33.0	29	70%
	89.09	*	0.13	0.13	2.41	14196		31.5	40.0	16	9	31.5	30	88%
	88.95	*	0.14	0.14	2.55	14198		30.0	38.0	17	10	30.0	28.5	90%
	88.87	*	0.08	0.08	2.63	14111	5.89	29.0	37.0	18	11	29.0	27.5	90%
	04/07/02	85.93	*	2.94	2.94	5.57			26.0	26.5	7			

TABLA N.º 9 PROMEDIO DE DATOS DE TEMPERATURA Y DATOS DE EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN PARA 3 DÍAS

EVAPORACIÓN

FECHA	Hora	7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18	
		T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.
		-	-	-	-	-	-	-	-	34.0	-	35.0	0.31	36.0	0.38	36.0	0.41	35.2	0.29	35.0	0.32	34.0	0.21	32.5	0.15
01/07/02																									
02/07/02		26.0	3.28	28.0	0.23	30.0	0.21	31.0	0.26	33.0	0.52	35.5	0.46	35.5	0.76	35.0	0.83	35.0	0.38	34.0	0.29	32.5	0.14	31.0	0.11
03/07/02		25.0	-	27.0	0.21	29.3	0.26	29.3	0.21	31.0	0.19	32.0	0.34	33.5	0.42	33.5	0.37	33.0	0.28	31.5	0.13	30.0	0.14	29.0	0.08
04/07/02		26.0	2.94																						
PROMEDIO		25.5	3.11	27.5	0.22	29.6	0.24	30.1	0.24	32.7	0.36	34.2	0.37	35.0	0.52	34.8	0.54	34.4	0.32	33.5	0.25	32.2	0.16	30.8	0.11

EVAPOTRANSPIRACIÓN

FECHA	Hora	7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18	
		T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.	T.(°C)	Ev.
			(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)
24/06/02		27.0	-	30.0	0.29	31.5	0.13	32.25	0.41	33.0	0.26	34.0	0.97	34.30	0.98	35.0	0.78	34.0	1.18	32.75	0.35	31.5	0.40	31.0	0.07
25/06/02		26.0	1.48	28.5	0.03	31.5	0.08	32.0	0.6	33.0	0.47	35.0	0.85	35.5	1.11	35.5	0.57	34.0	1.09	33.25	0.30	33.0	0.32	32.0	0.11
26/06/02		26.0	2.79	30.0	0.26	31.0	0.52	32.0	0.39	35.5	0.44	33.5	0.77	34.5	0.87	34.0	0.81	33.5	0.37	33.0	0.96	31.5	0.21	30.25	0.17
		26.0	0.11																						
Promedio		26.31	1.46	29.5	0.19	31.3	0.24	32.1	0.47	33.5	0.39	34.2	0.86	34.8	0.99	34.8	0.72	33.8	0.88	33.0	0.44	32.0	0.31	31.1	0.12

**RESUMEN DE LOS DATOS PARA LA EVAPORACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN
PARA UN PERIODO DE 11 HORAS**

Se tomaron lecturas desde las 7 horas hasta las 18 horas en intervalos de tiempo de 1 hora durante 3 días consecutivos, tanto para la evaporación como para la evapotranspiración en eventos separados, con la finalidad de poder relacionar ambos fenómenos, ya que por las condiciones antes mencionadas esta relación no presentó las condiciones para tal fin en los eventos anteriores.

Los datos registrados se presentan en las tablas N°. 7 y 8, de las cuales se elaboró la tabla N°. 9, en donde se determina el promedio de los datos registrados en los 3 días donde se extraen los valores para elaborar las tablas siguientes.

**TABLA N°. 4.3 DATOS DE EVAPORACIÓN Y ETP. PROMEDIO DE LOS 3 DÍAS PROVENIENTE
DE LA TABLA N°. 9**

TIEMPO	EVAPORACIÓN				EVAPOTRANSPIRACIÓN				
	TEMP.	EVAPORACIÓN	EVAPORACIÓN ACUMULADA	HUMEDAD RELATIVA	TEMPER.	ETP.	ETP ACUMULADA	HUMEDAD RELATIVA	TASA
HORAS	(°C)	(mm/h)	(mm)	%	(°C)	(mm/h)	(mm)	%	
8	27.5	0.22	0.22	84.5	29.5	0.19	0.19	91.7	0.86
9	29.6	0.24	0.46	83.0	31.3	0.24	0.43	84.0	1.00
10	30.1	0.24	0.70	79.5	32.1	0.47	0.90	77.0	1.96
11	32.7	0.36	1.06	67.0	33.5	0.39	1.29	74.7	1.08
12	34.2	0.37	1.43	64.7	34.2	0.86	2.15	71.7	2.32
13	35.0	0.52	1.95	63.3	34.8	0.99	3.14	72.33	1.90
14	34.8	0.54	2.49	63.3	34.8	0.72	3.86	73.0	1.33
15	34.4	0.32	2.81	64.0	33.8	0.88	4.74	66.7	2.75
16	33.5	0.25	3.06	70.0	33.0	0.44	5.18	71.7	1.76
17	32.2	0.16	3.22	81.7	32.0	0.31	5.49	73.7	1.94
18	30.8	0.11	3.33	88.3	31.1	0.12	5.61	76.7	1.09
Promedio									1.63

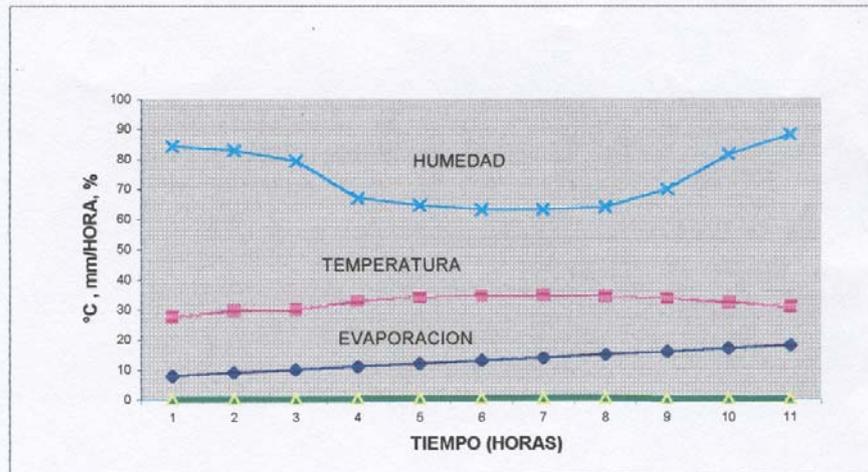
La tasa se determina por medio del cociente entre la ETP y la evaporación.

De la Tabla N°. 4.3, la cual presenta el promedio de los 3 días en cuanto a: evaporación temperatura y humedad relativa, resulta la tabla siguiente:

TABLA N° 4.3.1. RELACIÓN TIEMPO- TEMPERATURA, EVAPORACIÓN Y HUMEDAD RELATIVA (PROMEDIO REGISTRADO POR HORA DURANTE 3 DÍAS)

TIEMPO (HORAS)	TEMPERATURA (°C)	EVAPORACION (mm/HORA)	HR (%)
8	27.50	0.22	84.50
9	29.60	0.24	83.00
10	30.10	0.24	79.50
11	32.70	0.36	67.00
12	34.20	0.37	64.70
13	34.50	0.52	63.30
14	34.80	0.54	63.30
15	34.40	0.60	64.00
16	33.50	0.25	70.00
17	32.20	0.16	81.70
18	30.80	0.11	88.30

FIGURA: N° 4.3.1. RELACIÓN TEMPERATURA, EVAPORACIÓN Y HUMEDAD RELATIVA - TIEMPO



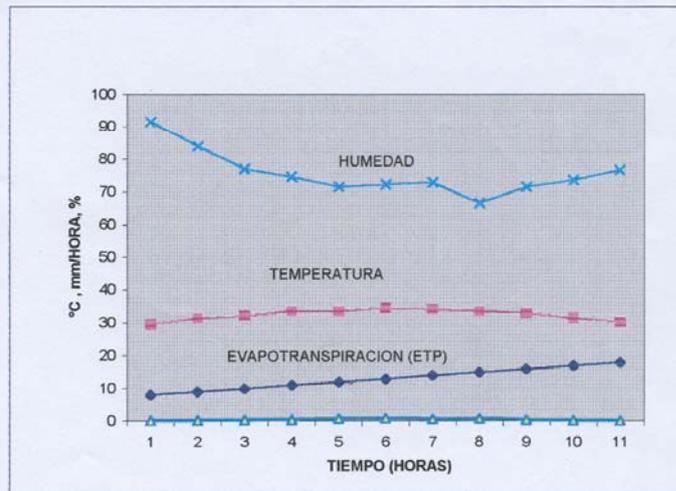
La situación que presenta el gráfico demuestra una relación bien determinada especialmente; la temperatura HR, las cuales manifiestan un comportamiento inverso, es decir, cuando el clima es seco o húmedo, se refiere al contenido de vapor de agua, en el aire alcanzando la saturación de humedad; es cuando la temperatura disminuye y consecuentemente la evaporación también disminuye. Al observar el gráfico se ve que en las horas tempranas la humedad relativa la humedad relativa presenta los mayores valores, disminuyendo en la medida que la temperatura va incrementando su valor.

Los datos que a continuación se presentan son extraídos de la tabla N°. 4.3

TABLA N°. 4.3.2 RELACIÓN TIEMPO - TEMPERATURA , ETP Y HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO REGISTRADO POR HORAS DURANTE 3 DÍAS

TIEMPO (HORAS)	TEMPERATURA (°C)	ETP (mm/HORA)	HR (%)
8	29.50	0.19	91.67
9	31.30	0.24	84.00
10	32.10	0.47	77.00
11	33.50	0.39	74.67
12	33.50	0.86	71.66
13	34.50	0.99	72.33
14	34.00	0.72	73.00
15	33.50	0.88	66.67
16	33.00	0.44	71.67
17	31.50	0.31	73.67
18	30.25	0.12	76.67

FIGURA N°. 4.3.2 RELACIÓN TEMPERATURA, ETP Y HUMEDAD RELATIVA - TIEMPO



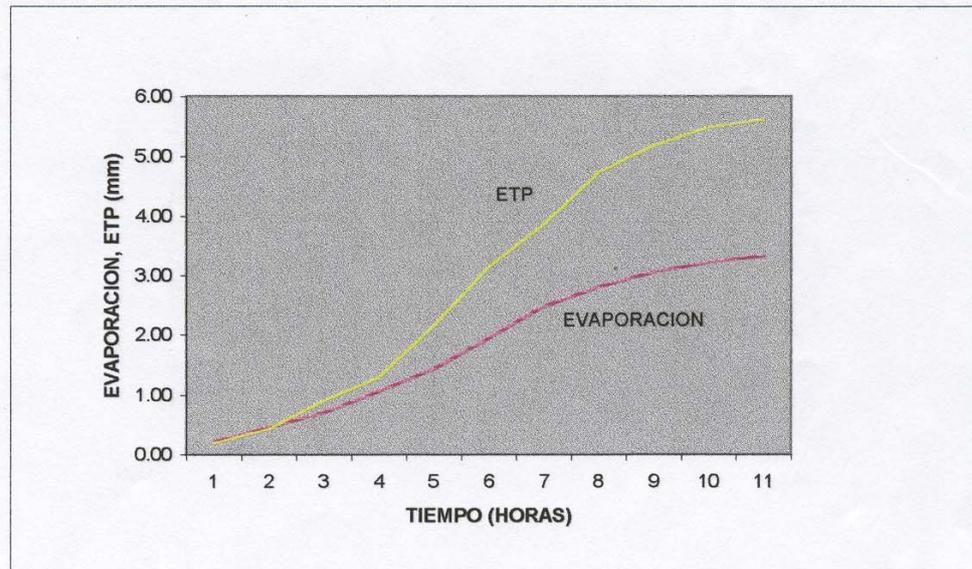
El comportamiento de esta relación es similar que en el caso de la evaporación solo se observa un cambio cuantitativo, pero en cuanto al análisis cualitativo no presenta mayor diferencia.

El cuadro siguiente se extrae de los promedios de los 3 días tanto para la evaporación como para la evapotranspiración, los cuales se extraen de la tabla N°. 4.3

TABLA N°. 4.3.3 TIEMPO - EVAPORACIÓN Y ETP

TIEMPO (HORAS)	EVAPORACION ACUMULADA (mm)	EVAPOTRANSPIRACION (ETP) ACUMULADA (mm)
8	0.22	0.19
9	0.46	0.43
10	0.70	0.90
11	1.06	1.29
12	1.43	2.15
13	1.95	3.14
14	2.49	3.86
15	2.81	4.74
16	3.06	5.18
17	3.22	5.49
18	3.33	5.61

FIGURA N°. 4.3 RELACIÓN EVAPORACIÓN Y ETP - TIEMPO (10 HORAS)

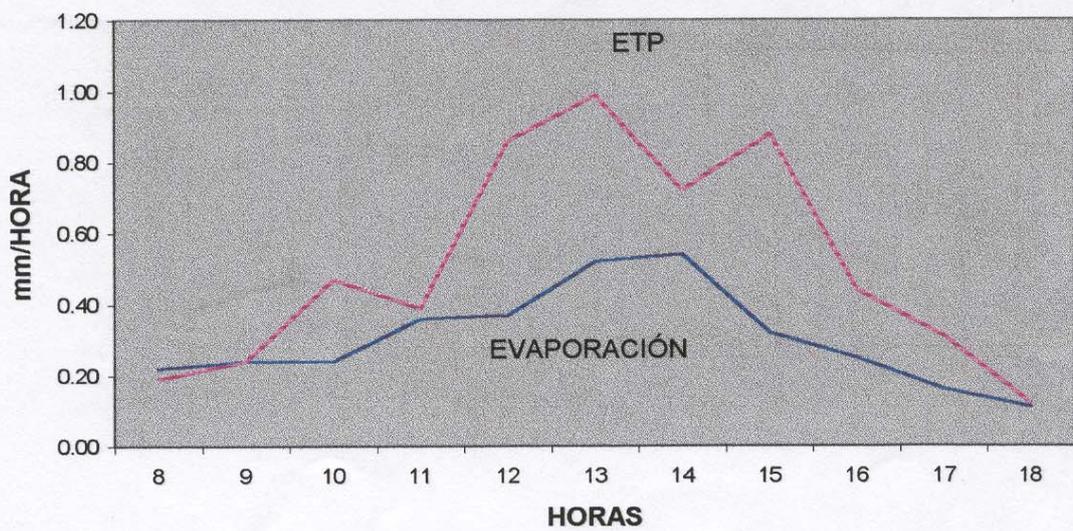


La relación que presenta el gráfico muestra que la pérdida de agua por evapotranspiración es mayor que la que se pierde por la evaporación, la diferencia puede variar dependiendo de las condiciones climáticas que se presentan cuando se desarrolla.

TABLA N° 4.3.4. RELACION EVAPORACION, ETP - TIEMPO (HORAS)

TIEMPO (HORAS)	EVAPORACION (mm/HORA)	ETP (mm/HORA)	TASA
8.00	0.22	0.19	0.86
9.00	0.24	0.24	1.00
10.00	0.24	0.47	1.96
11.00	0.36	0.39	1.08
12.00	0.37	0.86	2.32
13.00	0.52	0.99	1.90
14.00	0.54	0.72	1.33
15.00	0.32	0.88	2.75
16.00	0.25	0.44	1.76
17.00	0.16	0.31	1.94
18.00	0.11	0.12	1.09
PROMEDIO			1.63

FIGURA: N° 4.3.4. RELACIÓN EVAPORACIÓN Y ETP - TIEMPO (1HORA)



Con las cantidades que presenta la tabla N°. 4.3 en cuanto a la evaporación y evapotranspiración se determina la tasa entre ellos, que no es más que el cociente entre la evapotranspiración y la evaporación, determinándose posteriormente el promedio el cual resultó ser de 1.63 ± 0.07

La relación que se observa en el gráfico permite comprobar una de las finalidades de esta investigación respecto a valorizar las pérdidas de agua y establecer la diferencia cuantitativa entre un proceso y otro.

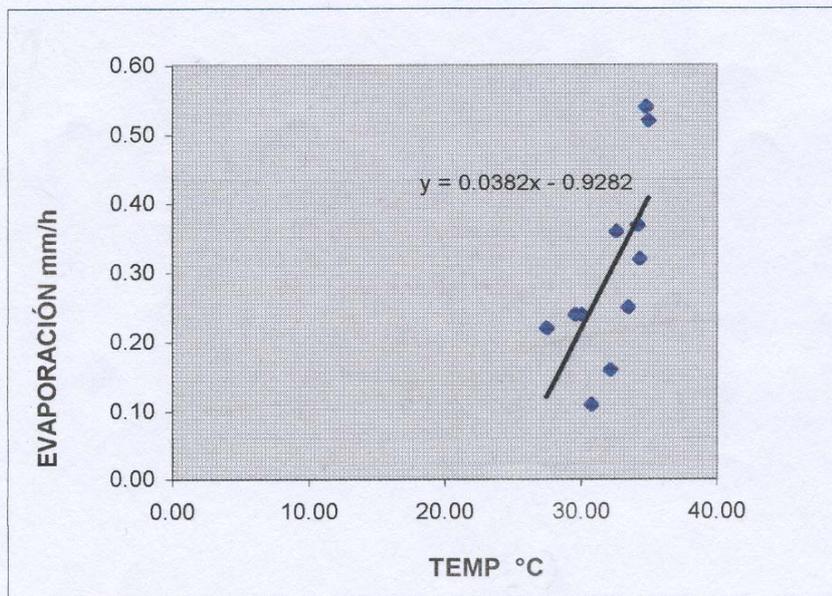
La tasa se determina por medio del cociente entre la ETP y la evaporación. Por ejemplo.

$$\text{Tasa} = \frac{\text{ETP}}{\text{EVAP}} = \frac{0.19\text{mm}}{0.22\text{mm}} = 0.86$$

TABLA N°. 4.3.5 RELACIÓN TEMPERATURA - EVAPORACIÓN POR HORA PROMEDIO

TEMPERATURA	EVAPORACION (mm/hora)
27.50	0.22
29.60	0.24
30.10	0.24
32.70	0.36
34.20	0.37
35.00	0.52
34.80	0.54
34.40	0.32
33.50	0.25
32.20	0.16
30.80	0.11

FIGURA N°. 4.3.5 GRÁFICO DE DISPERSIÓN EVAPORACIÓN TEMPERATURA - HORA PROMEDIO



$$a = 0.038$$

$$b = -0.928$$

$$R^2 = 0.47$$

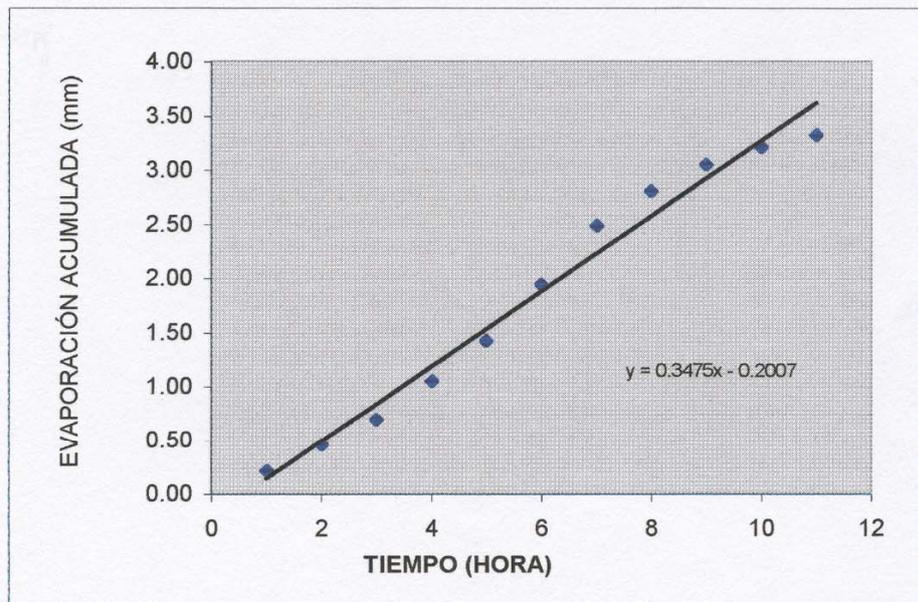
$$R = 0.68$$

El valor de la pendiente significa que para cambios pequeños de temperatura, la evaporación presenta valores significativos ver tabla N° 4.3.5.

TABLA N°. 4.3.6 RELACIÓN TIEMPO - EVAPORACIÓN

TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	EVAPORACION ACUMULADA (mm)
1	0.22
2	0.46
3	0.70
4	1.06
5	1.43
6	1.95
7	2.49
8	2.81
9	3.06
10	3.22
11	3.33

FIGURA N°. 4.3.6 RELACIÓN EVAPORACIÓN - TIEMPO



$a = 0.3475$

$b = -0.2$

$R^2 = 0.979$

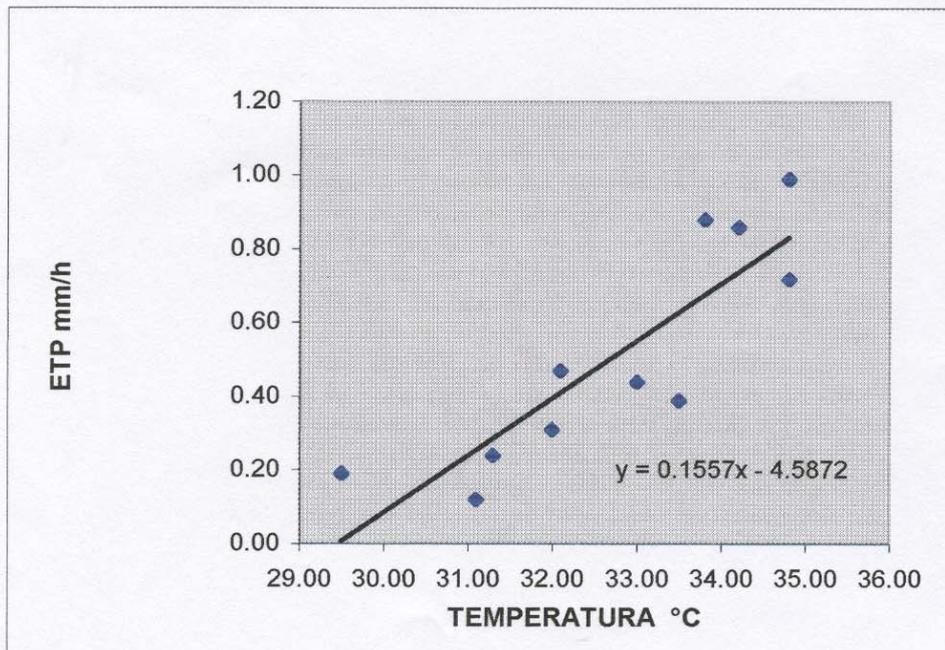
$R = 0.989$

Su tendencia no cambia en relación a las otras horas de registro en las cuales presenta la misma linealidad.

TABLA N°. 4.3.7 RELACIÓN TEMPERATURA - ETP POR HORA PROMEDIO

TEMPERATURA (°C)	ETP (mm)/h
29.50	0.19
31.30	0.24
32.10	0.47
33.50	0.39
34.20	0.86
34.80	0.99
34.80	0.72
33.80	0.88
33.00	0.44
32.00	0.31
31.10	0.12

FIGURA N°. 4.3.7 GRÁFICA DE DISPERSIÓN ETP - TEMPERATURA



$$a = 0.155$$

$$b = -4.587$$

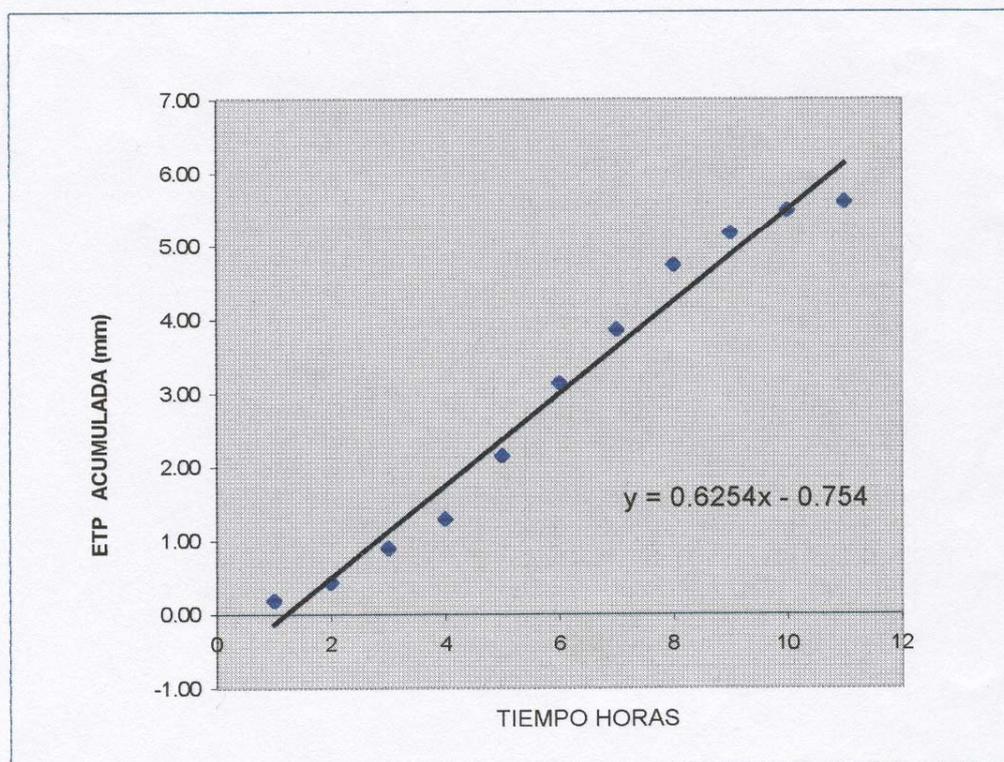
$$R^2 = 0.75$$

$$R = 0.867$$

TABLA N°. 4.3.8 RELACIÓN TIEMPO - ETP

TIEMPO ACUMULADO (HORAS)	ETP ACUMULADA (mm)
1	0.19
2	0.43
3	0.90
4	1.29
5	2.15
6	3.14
7	3.86
8	4.74
9	5.18
10	5.49
11	5.61

FIGURA N°. 4.3.8 GRÁFICA DE DISPERSIÓN ETP - TIEMPO



$a = 0.625$

$b = -0.754$

$R^2 = 0.975$

$R = 0.987$

5.0 ANALISIS DE RESULTADOS

- De los resultados que presenta esta investigación, se demuestra que el agua que se pierde por evapotranspiración, es 1.63 ± 0.07 veces mayor que la que se pierde por evaporación; tal afirmación, se desprende de la Tabla N° 4.3, en donde se calcula la tasa promedio entre estos dos fenómenos; también se observa de las gráficas 4.3.3, la cual presenta relación de la pérdida de agua por evaporación y ETP, para un periodo de 10 horas y en la gráfica N° 4.3.4, que presenta la relación de la pérdida de agua; entre estos dos fenómenos para un período de una hora.
- La correlación que presenta la evaporación y evapotranspiración en relación a las pérdidas de agua acumuladas con respecto al tiempo, en cualquiera de los procesos de esta investigación son: 0.9909, 0.9967, 0.9790 y 0.9353 para las 72, 48 y 10 horas respectivamente, y se debe a que los fenómenos de evaporación y evapotranspiración son procesos abiertos, en donde las moléculas de agua se liberan de la superficie, y por tanto, a mayor tiempo que está expuesto al aire, mayor es la pérdida de agua; de ahí, la similitud que presentan los gráficos: evaporación-tiempo, evapotranspiración-tiempo.
- De los diferentes parámetros meteorológicos considerados en el proceso de evaporación y evapotranspiración, la temperatura resultó ser la más determinante. Esta afirmación se desprende de las gráficas presentadas en este documento, y

sobre todo del análisis de regresión, presentando valores de correlación de 0.8679, 0.4394, para intervalos de tiempo de 72, 48 horas respectivamente.

- Cuando se registraron datos para períodos de 1 hora, se observó que las máximas temperaturas se manifiestan alrededor de las 14 horas y la máxima evaporación y ETP se observó un instante después, es decir, cuando la temperatura presentaba un leve descenso en su valor, lo que significa que estos fenómenos no son instantáneos, esta condición da la apariencia que los valores de la evaporación y ETP son mayores en rangos de temperatura menores, tal situación influye en la linealidad del gráfico, presentando valores de correlación moderados hasta de: $R^2 = 0.4294$ que se observan en la gráfica 4.2.1 (ETP- Temperatura) de este documento.
- La humedad relativa es otro parámetro importante que interviene en estos procesos de evaporación y ETP, la cual presenta una relación inversa a la temperatura. (Gráficos 4.3.1 y 4.3.2), influyendo negativamente en la evaporación y ETP. Esta situación se presenta cuando la Radiación Solar desaparece, en consecuencia la temperatura desciende, aumentando la humedad relativa; lo que genera una disminución en la evaporación y EPT, por lo tanto, se puede afirmar que los fenómenos están en función de la temperatura en gran medida.

- Los registros posteriores al valor máximo de temperatura (14 horas), presentan descensos leves de temperatura; cualidad que se observa cuando se hacen observaciones para periodos cortos (1 hora). Sin embargo, la evaporación y ETP presentan valores relativamente grandes, esta situación influye en el valor de la pendiente para la relación evaporación-temperatura y ETP- temperatura presentado valores de $m_e = 0.038$ y $m_{ETP} = 0.158$. (Gráficos 4.37 y 4.35) respectivamente; (m_e = pendiente de evaporación y m_{ETP} = pendiente de evapotranspiración), lo que demuestra una diferencia respecto a periodos de 78 y 48 horas cuyos valores son: $m_e = 0.4125$ y $m_{ETP} = 0.4496$ (gráficos 4.1.1 y 4.1.2) respectivamente; cualidad que debe tomarse en cuenta para estudios posteriores referente al tema.

6.0 CONCLUSIONES

- **Esta investigación demostró que la pérdida de agua promedio cuando se introdujo jacinto acuático en el**

tanque, resultó de aproximadamente 1.63 ± 0.07 veces mayor que la que se pierde en el proceso de evaporación en una superficie líquida. Debe acotarse que la investigación se llevó a cabo en época lluviosa bajo condiciones de humedad alta y temperatura moderada de acuerdo con la climatología local.

- Las horas de registro de datos experimentales seleccionadas para esta investigación, permitieron detectar cualidades y características que no hubieran sido posible visualizar en intervalos de tiempo mayores, ya que la proximidad en el tiempo de registro, permitió mayor comprensión del fenómeno estudiado y a la vez, hacer análisis de los**

distintos resultados obtenidos con mayor objetividad.

- **El periodo de tiempo utilizado como unidad para fines de estudio influencia los resultados. Las variaciones finas se desaparecen cuando se toman períodos largos de tiempo; esto debe considerarse al efectuar estudios relacionados al tema; es decir, que la selección de horas de registro debe de hacerse de acuerdo a los objetivos y finalidades que se persigan.**

7.0 RECOMENDACIONES

- 1) Se deben hacer valoraciones continuas y en diferentes épocas del año, con la finalidad de tener mayor comprensión de este fenómeno y dadas las

dificultades que se presentaron en este estudio; éste debe considerarse como un ensayo piloto y por lo tanto, no pueden establecerse proyecciones para la zona.

- 2) Dada la complejidad de factores que inciden en el resultado del estudio de este fenómeno, es recomendable para un futuro, establecer el menor intervalo de tiempo posible en el registro de datos; así, un mayor tiempo de observaciones permitirá obtener un mejor criterio para el análisis que es necesario realizar en este tipo de investigaciones; para fines climatológicos es necesario procesar estas observaciones en períodos de hasta un mes.
- 3) Efectuar el balance de agua para los cuerpos de agua amenazados por el jacinto en las proximidades de la región de estudio: la laguna El Jocotal y la laguna de Olomega, tomando en cuenta la ETP.

8.0 BIBLIOGRAFÍA

- *Chacón, A, 1976, Agro – Climatología Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura .*
- De Wiest, Roger J.M. 1967, *Geohydrology*, 2^a Impresión, John Wiley & Sons Inc., New York

- Fetter, C.W., 1994, *Applied Hydrogeology*, 3ª Ed., Prentice Hall, New Jersey.
- Fritschen, Leo J. Shaw, R. H., 1961, *Evapotranspiración for corn as related to pan evaporation*, *Agronomy Journal* 53: 149 – 150.
- Georger Viers, 1981, *Climatología*, Aikos Tau, S.A. Ediciones, Barcelona ,2ª Edic., Barcelona.
- Giancolí DC., 1984, *Física General*, 1ra Edición, Prentice – Hall Hispanoamericana, S.A México DF., Vol. 1:401.
- Gordon A. W. Grace P. Schowertfeger, R. Byron – Acott, 1988, *Dynamic Meteorology: A Basic Course*, Arnold Publishers, Londres.
- Hufty, André, 1984, *Introducción a la Climatología*, Editorial Ariel, S.A. Barcelona.
- Lowry W. P., 1973, *Compendio de apuntes de climatología para la formación de personal meteorológico de la clase IV.*, 167 pp., Organización Meteorológica Mundial, Ginebra.
- Paredes, Lucas Rosalía, 2001, *Determinación Experimental de Pérdida de Agua por la Presencia de Jacinto y Aporte de Sedimentos de esta Planta en el Embalse del Cerrón Grande*, Universidad de El Salvador, San Salvador.
- Roger, G. Barry – Richard G. Chorley, 1985, *Atmósfera, Tiempo y Clima*, 4ª Edición, Barcelona Ediciones Omega S.A., 500p ubicación 551.37, b 279ª.
- Shaw R. H., 1981, *Evaporation Climatology Of Iowa*, Agriculture And Home Economics Experiments Station, Special Report N° 88.

- Sellers W. D., 1972 *Physical, Climatology*, 272 pp, The University Of Chicago Press, Chicago.
- Santon, K. E. Jonson, H. P. ; Shaw, R. H., 1974, *Watershed Evapotranspiration Estimated by the combination method* American Society of Agricultural Engineers, vol. 17, No. 4, pp. 668 – 672.
- Sutton DB & Harmon NP, 1997, *Fundamentos de Ecología*, 1ra. Edición, Editorial Limusa S.A. de C.V, México D.F. 127
- Trewartha Glenn T., 1968, *An Introducción To Climate*, Editorial Mc Graw – Hill, New York.