

EL CLIMA DEL VALLE DEL RIO COLORADO

Por : Ernesto Jáuregui O.

I.- INTRODUCCION.

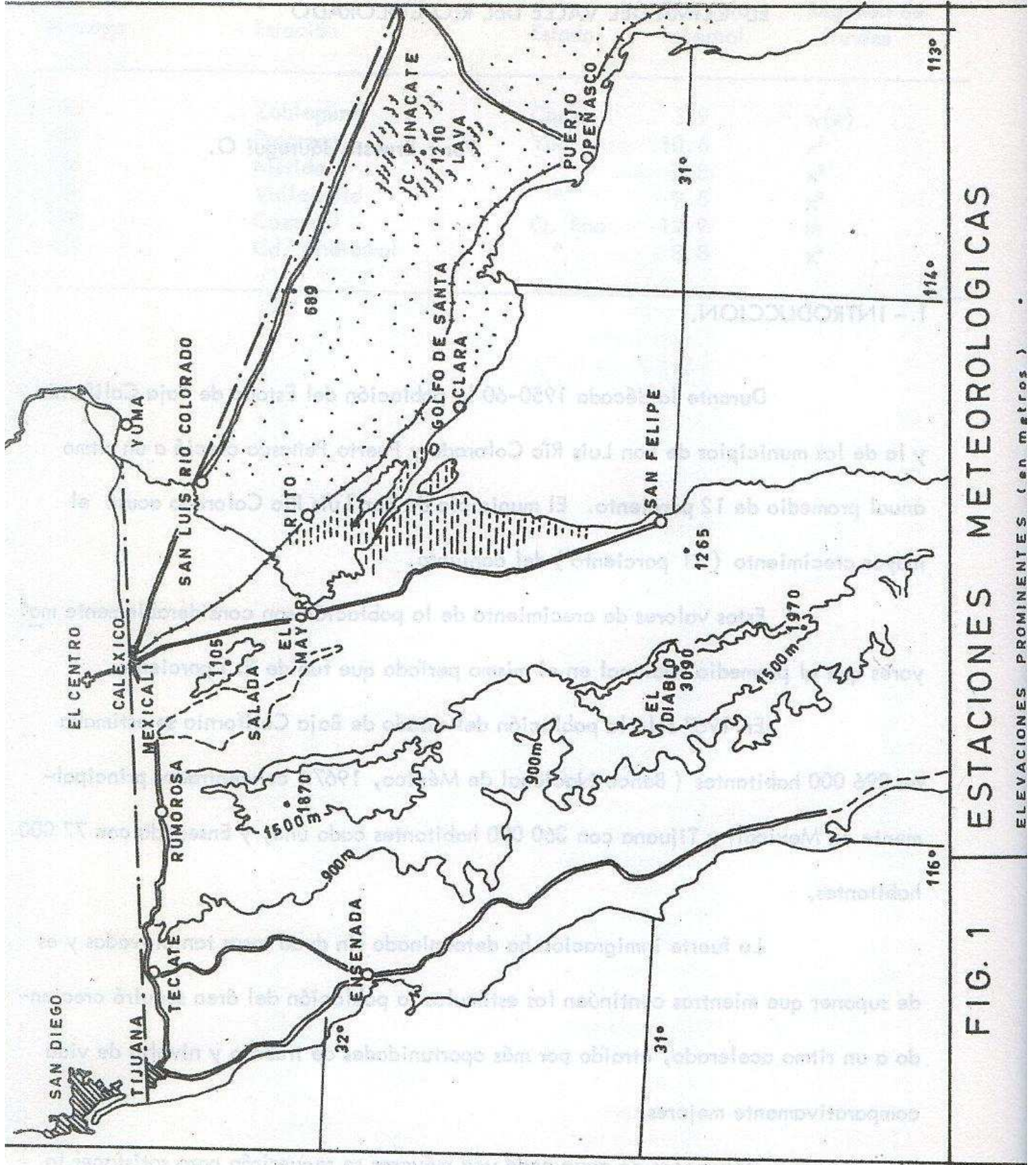
Durante la década 1950-60 la población del Estado de Baja California y la de los municipios de San Luis Río Colorado y Puerto Peñasco creció a un ritmo anual promedio de 12 por ciento. El municipio de San Luis Río Colorado acusó el mayor crecimiento (21 por ciento) del conjunto.

Estos valores de crecimiento de la población son considerablemente mayores que el promedio nacional en el mismo período que fué de 3.5 por ciento.

En 1967 solo la población del estado de Baja California se estimaba en 896 000 habitantes (Banco Nacional de México, 1967) concentrados principalmente en Mexicali y Tijuana con 360 000 habitantes cada una, y Ensenada con 77 000 habitantes.

La fuerte inmigración ha determinado sin duda tasas tan elevadas y es de suponer que mientras continúen los estímulos la población del área seguirá creciendo a un ritmo acelerado, atraída por más oportunidades de trabajo y niveles de vida comparativamente mejores.

Volúmenes de agua cada vez mayores se requerirán para satisfacer la demanda de la población creciente de esta región por lo que actualmente un grupo de técnicos mexicanos y norteamericanos estudia la posibilidad de instalar una planta nu-



clear desalinizadora de agua de mar que responda tanto a la demanda de agua como al creciente consumo de energía eléctrica de la región del bajo valle del Colorado en am los lados de la frontera.

En el presente trabajo que constituye el resumen de la parte meteorológica de los estudios previos relacionados con la instalación de la planta desalinizadora, se describen algunos de los factores climáticos del valle bajo del río Colorado desde la frontera hasta su desembocadura así como la región costera del extremo norte del Golfo de California comprendida entre San Felipe, Estado de Baja California y Puerto Peñasco, Son. (Fig. 1).

Hacia el oeste del delta se extiende el Desierto del Colorado y a unos 24 Km. del curso del río, se elevan las sierras de Cucapas y del Mayor, con alturas de unos 930 m. El desierto de Sonora, se extiende hacia el E y SE; las elevaciones principales son las montañas de Gila (con alturas de 840 m.) y más hacia el SE, la Sierra de Pinacate, de 1400 m. de altitud.

El terreno en la región déltica es relativamente plano con una ligera pendiente hacia el norte alcanzando unos 30 m. de altura, cerca de la frontera. En la cercanía de la desembocadura del río, la planicie costera es baja, con bancos de lodo de unos 7 Km. de ancho, del lado de la Baja California.

La zona al oriente del bajo río Colorado queda dentro del llamado Gran Desierto de Sonora, mientras que al poniente del río se extiende el desierto del Colorado (Jaeger, 1961).

Hacia el norte de la frontera y a ambos lados del río se encuentran los desiertos de Mohave en California y el de Yuma en el estado norteamericano de Arizona.

Las condiciones de aridez se prolongan por el sur tanto del lado de la península de Baja California como por la costa de Sonora. La región en estudio

es desde luego la más seca del país y una de las más áridas del mundo; recibe menos de 80 mm. de lluvia anual en la parte sur, (en Puerto Peñasco) disminuyendo hacia el norte a menos de 50 mm. anuales y, en algunas estaciones como Bataques cerca de la frontera, cae menos lluvia que en el Rancho Greenland que se encuentra en pleno Valle de la Muerte en California (Hastings, 1965).

2.- LOS DATOS

Los datos climatológicos se recabaron de 7 estaciones meteorológicas; cinco de ellas pertenecen al Servicio Meteorológico Nacional y a la Secretaría de Recursos Hidráulicos: San Felipe, El Mayor y Mexicali, en el estado de Baja California; Puerto Peñasco y San Luis Río Colorado en Sonora.

Los datos de rosas de viento superficial y temperaturas del bulbo húmedo, corresponden a la estación del aeropuerto en Puerto Peñasco, de la Compañía Mexicana de Aviación.

La estación de Yuma, está en el aeropuerto internacional y pertenece a la Oficina Meteorológica (Weather Bureau) de los Estados Unidos.

En la tabla 1 aparecen resumidos los datos climatológicos que comprenden promedios mensuales y anuales (período de 10 a 15 años) de los siguientes elementos:

- a.- Temperatura máxima y mínima absoluta
- b.- Temperatura máxima y mínima promedio
- c.- Temperatura media
- d.- Precipitación
- e.- Evaporación
- f.- Vientos dominantes

g. Número de días con lluvia, cielos despejados, niebla, tolvánicas, heladas, tormentas.

3.- LA PRECIPITACION

Como ya se dijo, la lluvia es aquí muy escasa e irregular y, con excepción de Puerto Peñasco donde caen 80 mm anuales, las demás estaciones tienen precipitaciones de unos 50 mm al año (Tabla 1).

Variabilidad temporal de la lluvia.

Las cantidades de la lluvia anual varían considerablemente de un año a otro. Estas fluctuaciones de la lluvia anual se estiman calculando el coeficiente de variación (C. de V.) definido como el cociente que resulta de dividir el desvío tipo entre el promedio (Tabla 2).

TABLA 2: VARIABILIDAD DE LA LLUVIA ANUAL EN DIVERSAS ESTACIONES DEL NOROESTE.

ESTACION	Precip. anual (mm)	Desvío tipo (mm)	Coef. de variación	Período
San Luis R. C.	43.7	29.2	0.66	1951-64
San Felipe B.C.N.	59.1	37.7	0.64	1951-65
P. Peñasco, Son.	80.1	49.5	0.62	1954-65
El Mayor, B.C.N.	49.6	39.9	0.80	1950-65
Mexicali, B.C.N.	53.3	31.3	0.61	1948-65

Los valores del coeficiente de variación fluctúan de 0.61 a 0.66 excepto en El Mayor donde el C. de V. llega a 0.80. Estos valores son los más altos que se registran en el país (Wallen, 1955).

Otros autores (McDonald, 1956) han obtenido valores semejantes del C.V. en estaciones americanas cercanas, como Yuma, en la línea fronteriza en donde con una lluvia anual de 83 mm este autor obtuvo un C. de V. de 0.62 y, tomando cantidades semianuales de lluvia, (los seis meses calurosos) el coeficiente de variación para Yuma subió todavía más (0.94).

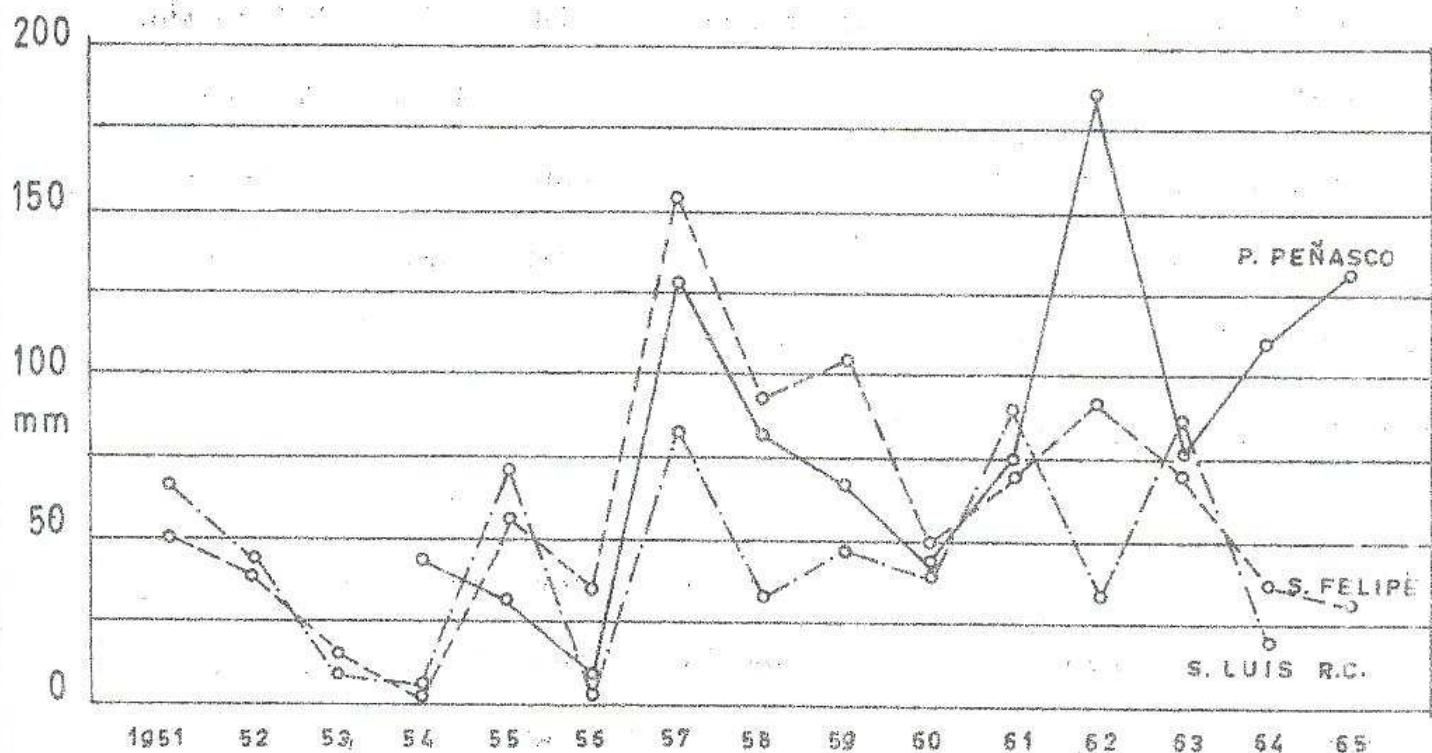
Hastings (1965) manejando cantidades de lluvia de tres meses obtiene coeficientes de variación todavía más altos para la región del Bajo Colorado, según puede verse en la tabla 3.

TABLA 3. COEFICIENTE DE VARIACION PARA TRES ESTACIONES DEL BAJO VALLE DEL COLORADO (HASTINGS, 1965)

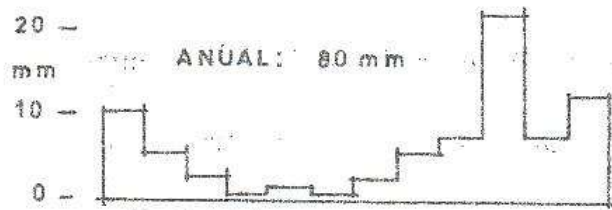
ESTACION	Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Período (años)
Bataques, B.C.N.	1.49	2.00	2.58	1.94	15
Mexicali	0.88	1.18	1.39	1.31	15
San Felipe, B.C.N.	1.07	1.55	1.25	1.54	15

Según la teoría de la probabilidad estos coeficientes de variación no tienen significado ya que no pueden ser mayores que el promedio. Hastings atribuye esta peculiaridad de los resultados al hecho de que las cantidades de lluvia estacional no tienen una distribución normal y explica que cuando una serie contiene una cierta cantidad de ceros como sucede en las series de precipitación de estaciones en el desierto las distribuciones de frecuencia se vuelven desviadas hacia la derecha y en la medida en que las distribuciones son cada vez más fuera de la normal los coeficientes de variación crecen.

A pesar de la incongruencia de los coeficientes de variación mayores



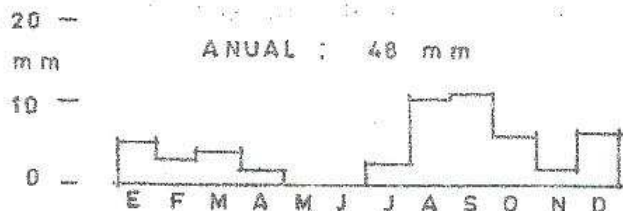
VARIABILIDAD DE LA LLUVIA ANUAL



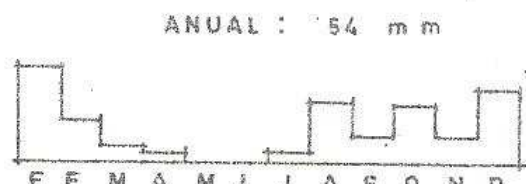
PUERTO PEÑASCO



SAN FELIPE



EL MAYOR



MEXICALI

FIG. 2

de 1, Hastings encuentra que si se ordenan de menor a mayor la secuencia obtenida es la misma para grupos de estaciones pertenecientes a una misma provincia de vegetación en la Baja California una de las cuales es precisamente la del Valle del bajo Colorado. La vegetación es aquí según la descripción de Shreve (1934) la más escasa de todos los desiertos de Norteamérica debido a las elevadas temperaturas (uno de los lugares más calurosos del mundo según Jaeger) y precipitación deficiente que resultan de la baja elevación del terreno y a la carencia del relieve.

Variabilidad espacial de la precipitación.

Las estaciones del área en estudio muestran en general las mismas variaciones de la lluvia anual (fig. 2). Hay años en que prácticamente no llueve; San Luis Río Colorado y Puerto Peñasco por ejemplo en los años de 1953, 1954 y 1956 tuvieron lluvias menores de 15 mm al año. En cambio ha habido años húmedos como 1957 en que la lluvia anual ha sido mayor de 75 mm alcanzando hasta 150 mm en San Felipe (fig. 2). En su estudio sobre la precipitación de la Baja California Hastings (1965) encontró que hay en la península un alto coeficiente de correlación entre las estaciones climatológicas especialmente de la lluvia caída en el invierno que es en esta región del Colorado la de mayor cuantía. Esta particularidad la atribuye Hastings al hecho de que la lluvia ahí está asociada a los grandes sistemas ciclónicos migratorios de las latitudes templadas que excepcionalmente afectan el norte de la península en el invierno.

4.- LA TEMPERATURA

En la fig. 3 aparecen las gráficas de las temperaturas máximas extremas, máxima diaria promedio y las temperaturas mínimas extremas y mínimas diarias para dos estaciones de la región en estudio.

Las temperaturas más altas se registran del lado de la costa de la pe-

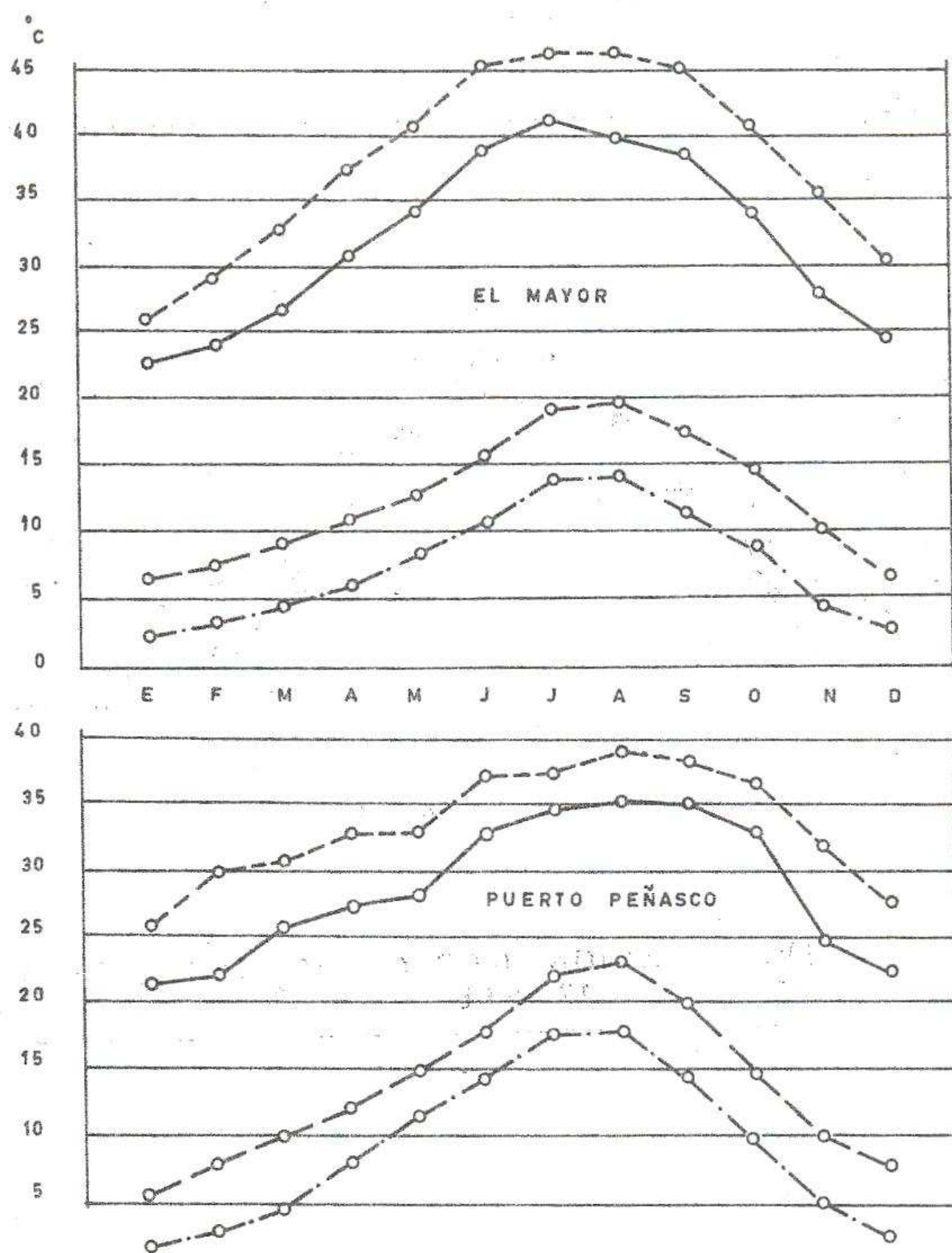


FIG. 3 TEMPERATURAS MAXIMAS Y MINIMAS PROMEDIO Y MAXIMAS Y MINIMAS EXTREMAS .

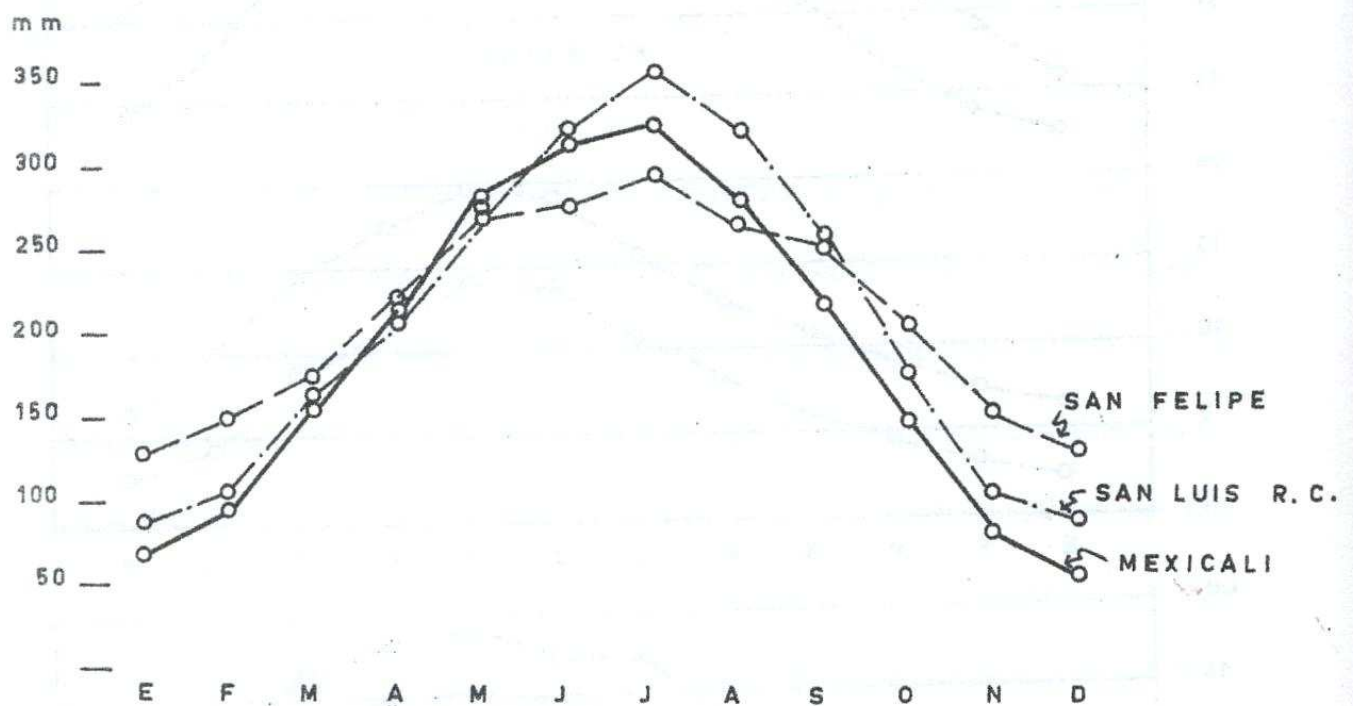


FIG. 4. EVAPORACION MEDIA MENSUAL (mm).
PERIODO 1953-65.

nínsula de la Baja California y hacia la frontera; ahí, las temperaturas máximas extremas alcanzan más de 45°C en los meses de junio a septiembre.

Del lado de las costas de Sonora las temperaturas son menos elevadas (ver P. Peñasco). Durante el invierno las temperaturas máximas fluctúan entre $20-25^{\circ}\text{C}$ mientras que las temperaturas mínimas bajan entonces entre los cero y ocho grados.

Aunque Jaeger asegura que las costas del norte del Golfo de California están exentas de heladas, éstas llegan a registrarse excepcionalmente tanto en San Felipe como en Puerto Peñasco (Tabla 1). Durante la estación calurosa las temperaturas mínimas suben a unos $15-18^{\circ}\text{C}$ elevándose rara vez a más de 20°C . La amplitud de la temperatura durante el año es mayor en los lugares alejados de la costa como Mexicali siendo un poco menor en las estaciones costeras. Comparando la amplitud anual de las dos estaciones costeras se puede advertir que en la costa peninsular la amplitud es algo mayor que en la costa continental (tabla 1).

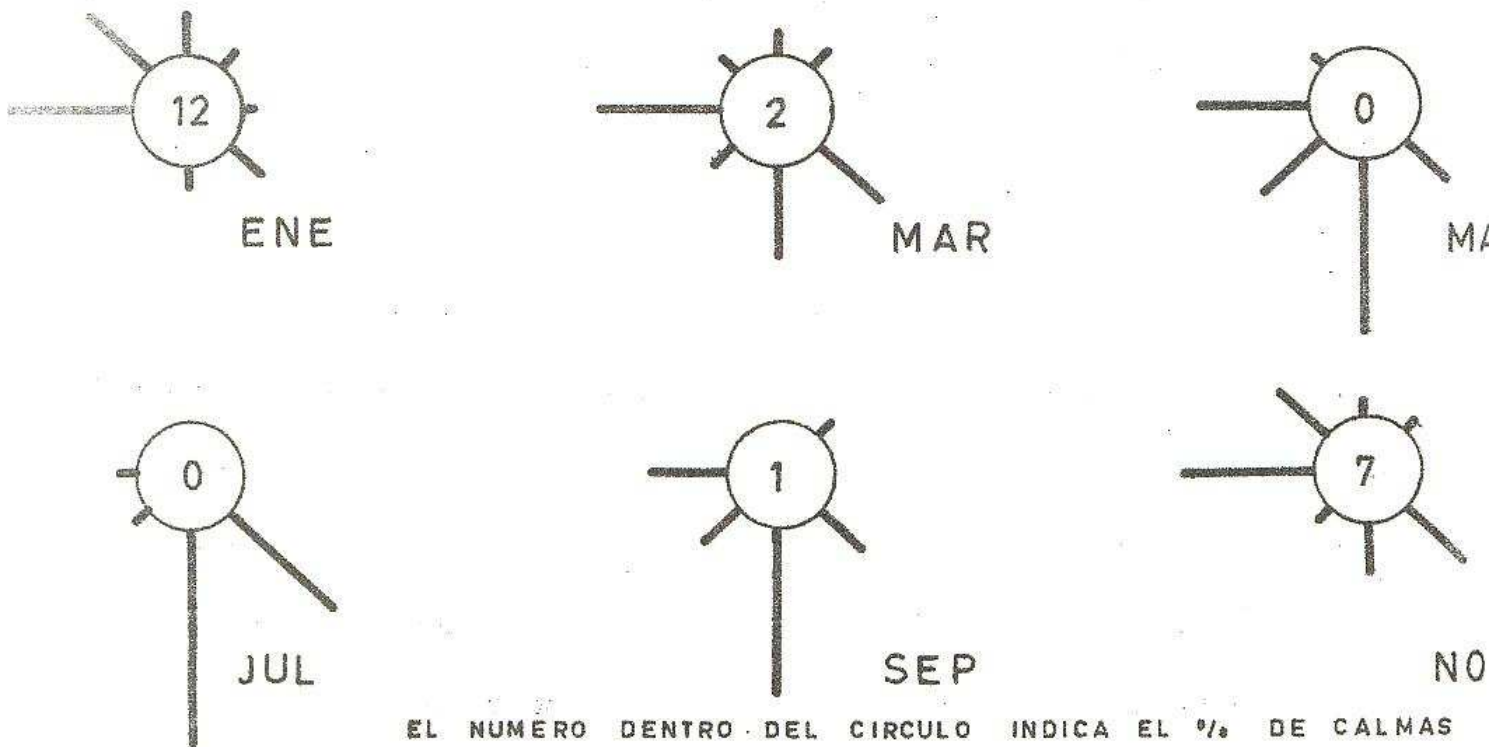
5.- LA EVAPORACION.

En la fig. 4 aparecen las gráficas de evaporación para 3 estaciones de la región en estudio. Las cantidades mensuales de evaporación son más altas en los meses de verano siendo julio el mes de máxima evaporación ($300-350\text{ mm}$); en los meses de invierno estas cantidades se reducen a una tercera parte aproximadamente.

Una comparación entre las estaciones revela que San Felipe tiene la evaporación más alta debido a que ahí las temperaturas invernales son menos rigurosas que hacia la frontera resultando una mayor evaporación durante esta estación, (fig. 4).

Las cantidades evaporadas anualmente en la región se elevan a $2.4-2.5\text{ m}$ (unos 700 mm más que en Tacubaya), excepto en Mexicali donde la evaporación anual es de 2.2 m a causa de una menor evaporación invernal.

1 P.M.



9 P.M.

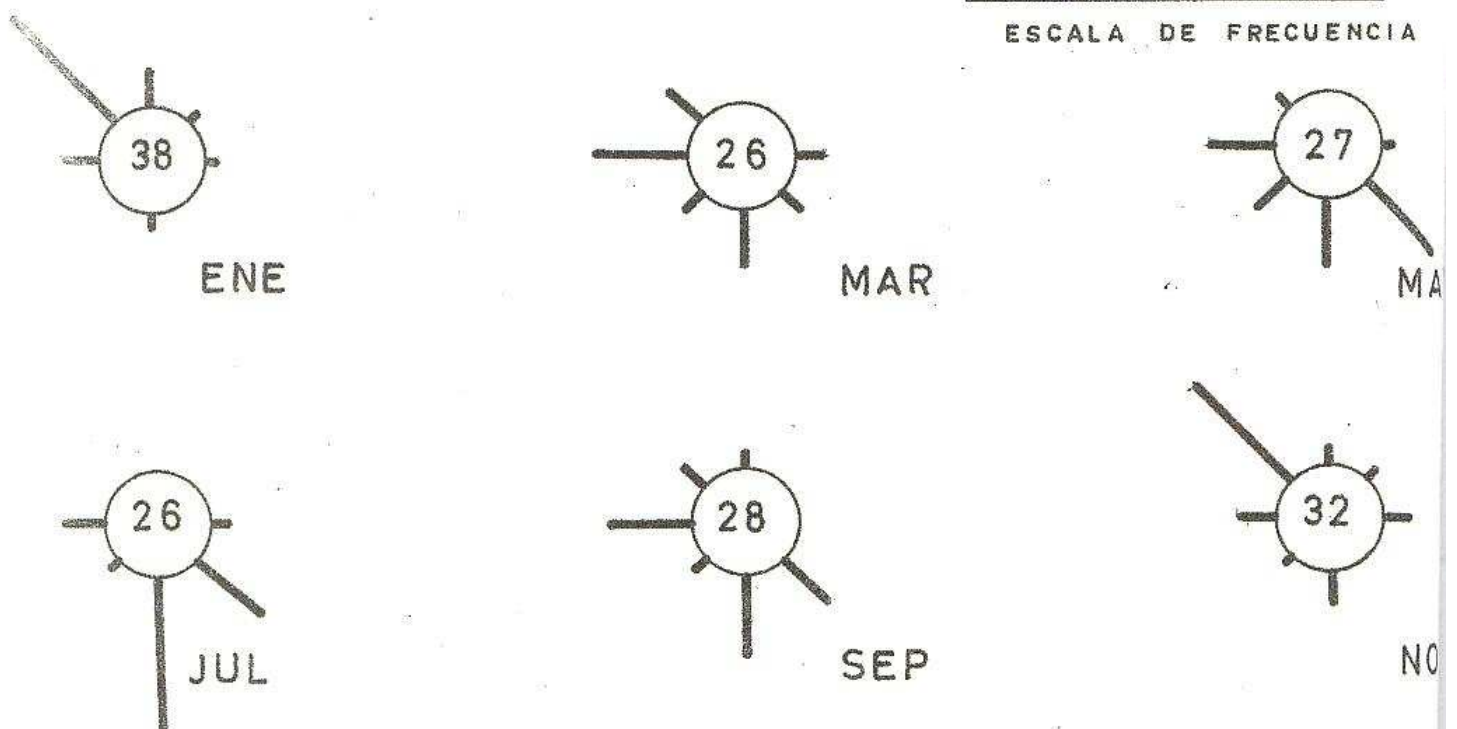


FIG. 5 ROSAS DE VIENTO SUPERFICIAL EN PUERTO PEÑASCO, SON.

6.- VALUACION BIOCLIMATICA.

Los factores bioclimáticos que intervienen en la comodidad física del hombre son, además de la temperatura del aire, el contenido de humedad, la ventilación y la radiación directa del sol, de paredes, etc.

Si bien las temperaturas son elevadas en gran parte del año en el ambiente árido que prevalece en la región en estudio, la sequedad del aire permite la libre evaporación del sudor de la piel aliviando en parte la sensación de bochorno producida por las altas temperaturas. Las pérdidas de agua del cuerpo en estos ambientes deben reponerse. Jaeger (1961), manifiesta que una persona de peso medio que camine 8 horas en el desierto del Colorado necesita tomar 12 litros de líquido por día si desea mantener su peso. Pero si permanece sentado todo el día bastan unos 6 litros.

En el desierto norteamericano de la Gran Cuenca hacia el norte, el ambiente es más fresco y las cantidades de líquido ingerido pueden reducirse a la mitad (Jaeger, 1961).

La insolación.

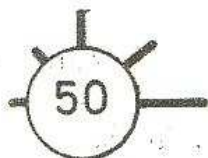
Los días nublados ó con lluvia son escasos debido a la poca humedad del aire siendo lo más frecuente los cielos despejados (alrededor de 300 días anuales, excepto en Puerto Peñasco donde se reducen a unos 200 días) (Tabla 1).

La abundante radiación directa del sol así como la de paredes y pavimentos durante el verano contribuye con las temperaturas elevadas a hacer incómodo el ambiente.

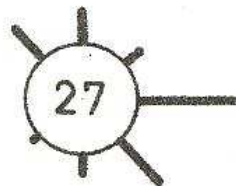
La ventilación

Las brisas en las costas del Golfo de California ayudan a refrescar el ambiente; sin embargo, si la temperatura del aire es superior a la temperatura de la

9 A.M.



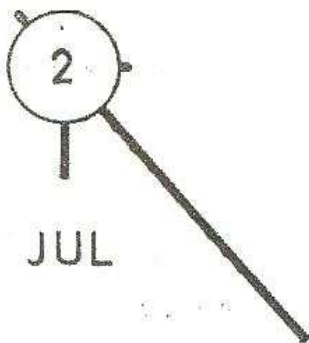
ENE



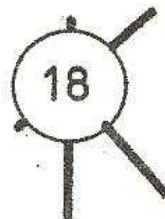
MAR



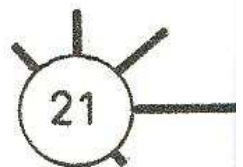
MAY



JUL



SEP



NOV



FIG. 5 ROSAS DE VIENTO SUPERFICIAL EN PUERTO PEÑASCO, SON.

piel (unos 35°C) la ventilación no produce alivio y es preferible que el aire caldeado no penetre al interior de los locales.

MOVIMIENTO SUPERFICIAL DEL AIRE

Las diferencias de temperatura entre el aire y el agua producen el terral nocturno y las brisas de la tarde a lo largo de las planicies costeras afectando la climatología del lugar del siguiente modo:

- 1.- Las inversiones superficiales de temperatura a lo largo de la costa tienen una frecuencia menor que las que ocurren tierra adentro. Esto se debe al efecto de mezcla turbulenta propiciado por la brisa nocturna; este efecto se muestra claramente en las rosas de viento de Puerto Peñasco (Fig. 5).
- 2.- La incidencia de calmas ó vientos débiles es menor a lo largo de la costa que en los sitios interiores de la región déltica hacia el norte.
- 3.- Debido a la influencia del Golfo los extremos de temperatura son menos acentuados en la costa que tierra adentro.

En Yuma, durante la estación calurosa, de junio a agosto, los vientos soplan del sur, mientras que en los meses fríos, de noviembre a febrero provienen del cuadrante norte (Fig. 6). Los vientos de Yuma pueden tomarse como representativos de los sitios del interior del área en estudio. El porcentaje de condiciones de calma indicados por observaciones horarias aumenta de un mínimo de 5 % en julio a un máximo de 14 por ciento en noviembre. Como era de suponerse, las calmas ocurren principalmente durante la noche y en las primeras horas de la mañana.

En las planicies costeras la circulación local del aire está determinada principalmente por la orientación de la costa. En Puerto Peñasco la brisa sopla del este en la noche y primeras horas de la mañana. La brisa del mar comienza a soplar en Punta Peñasco del sur y oeste una vez que la temperatura del aire es mayor sobre la costa que en el mar (Fig. 5). Del examen de las rosas de viento de Puerto Peñas

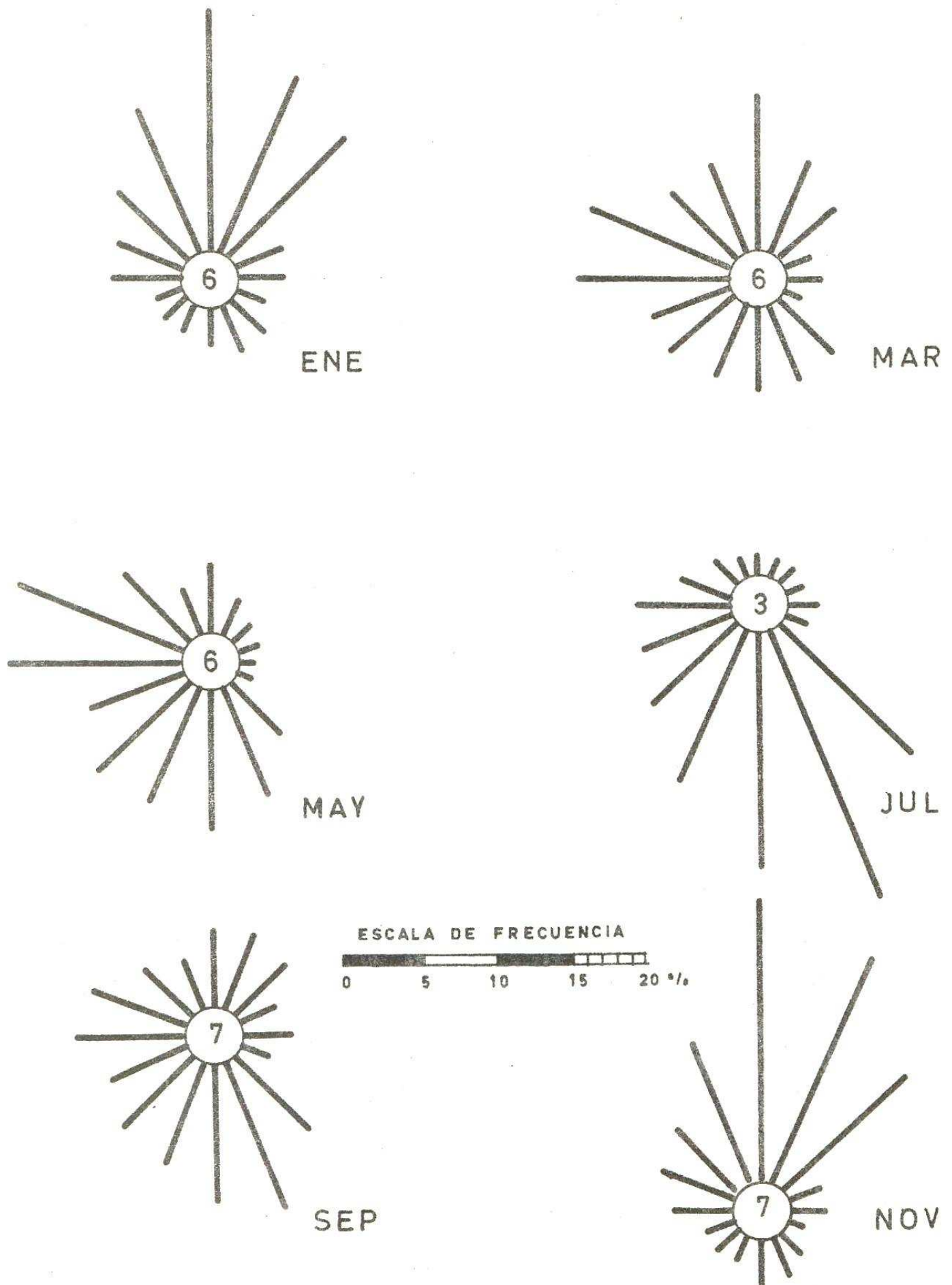


FIG. 6 ROSAS DE VIENTO DE SUPERFICIE EN YUMA ARIZ. (Weather Bureau, U.S.-Mex. OIEA Study Group)

co se aprecia también que la frecuencia de calmas es pequeña durante las horas calurosas del día a través de todo el año.

TABLA 4

Frecuencia de calmas y vientos débiles

(en %) en Puerto Peñasco

Período 1962-63

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Calmas	36	33	39	31	15	13	13	18	22	28	24	33
1 - 5 mph	19	17	16	17	17	16	11	12	18	20	21	27

La frecuencia de las calmas y vientos débiles tomada de observaciones horarias se muestra en la tabla 4. El aire en calma y los vientos débiles son más frecuentes durante los meses de otoño e invierno. En la Fig. 7 se muestra la variación diurna de la intensidad del viento en Puerto Peñasco. Como en el caso de Yuma, las calmas y vientos débiles se presentan principalmente durante la noche y en la mañana.

La temperatura efectiva.

Los ingenieros de la A.S.H.V.E. (Sociedad Americana de Ingenieros de Ventilación y Calefacción) han explorado exhaustivamente los efectos fisiológicos equivalentes de pares de temperatura del aire y humedad lo que los llevó a la definición de ' temperatura efectiva '. Una temperatura efectiva de 21°C por ejemplo es aquella que equivale a la sensación que se experimenta en un ambiente a 21°C de temperatura, con aire en calma y una humedad de 100 por ciento siendo la temperatura de las paredes la misma que la del aire. Según estas experiencias se produce la misma sensación de confort si se sube por ejemplo la temperatura del aire a 29°C a condición de que se abata la humedad a un 20 % y se ventile con una corriente de 2.5 m/s si para

MILLAS/HORA

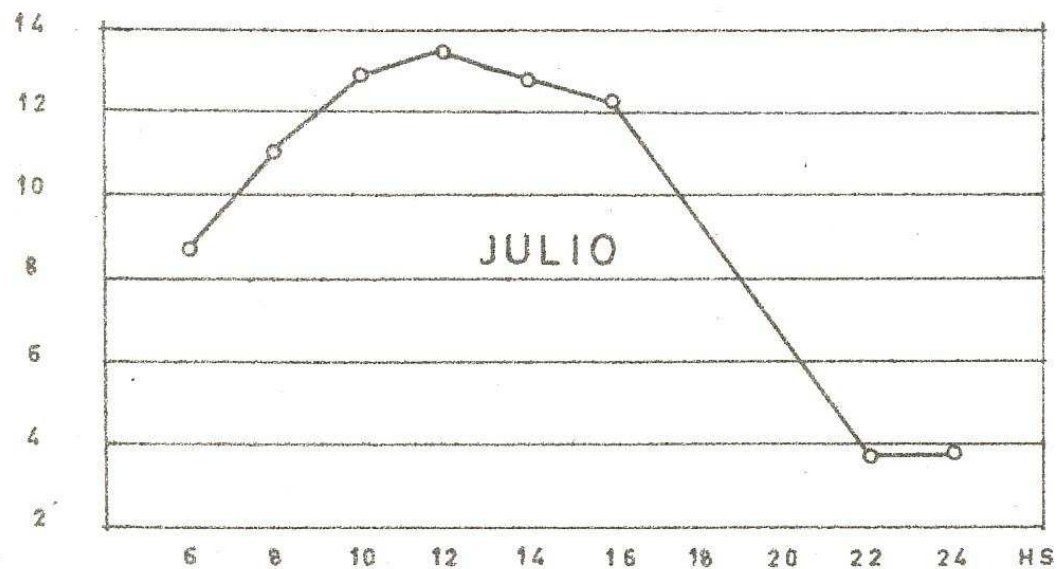
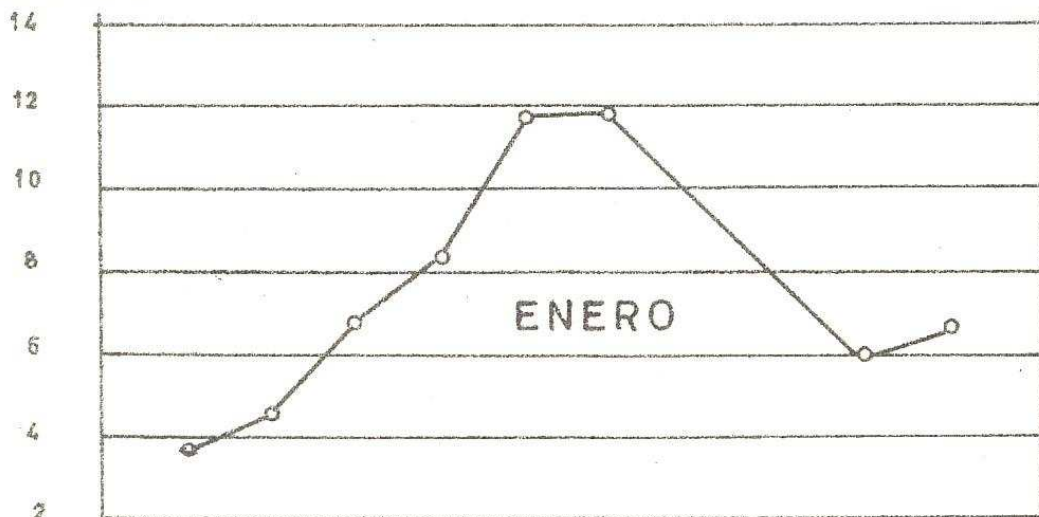


FIG. 7 VARIACION DIURNA DE LA INTENSIDAD DEL VIENTO EN PUERTO PEÑASCO (1962).

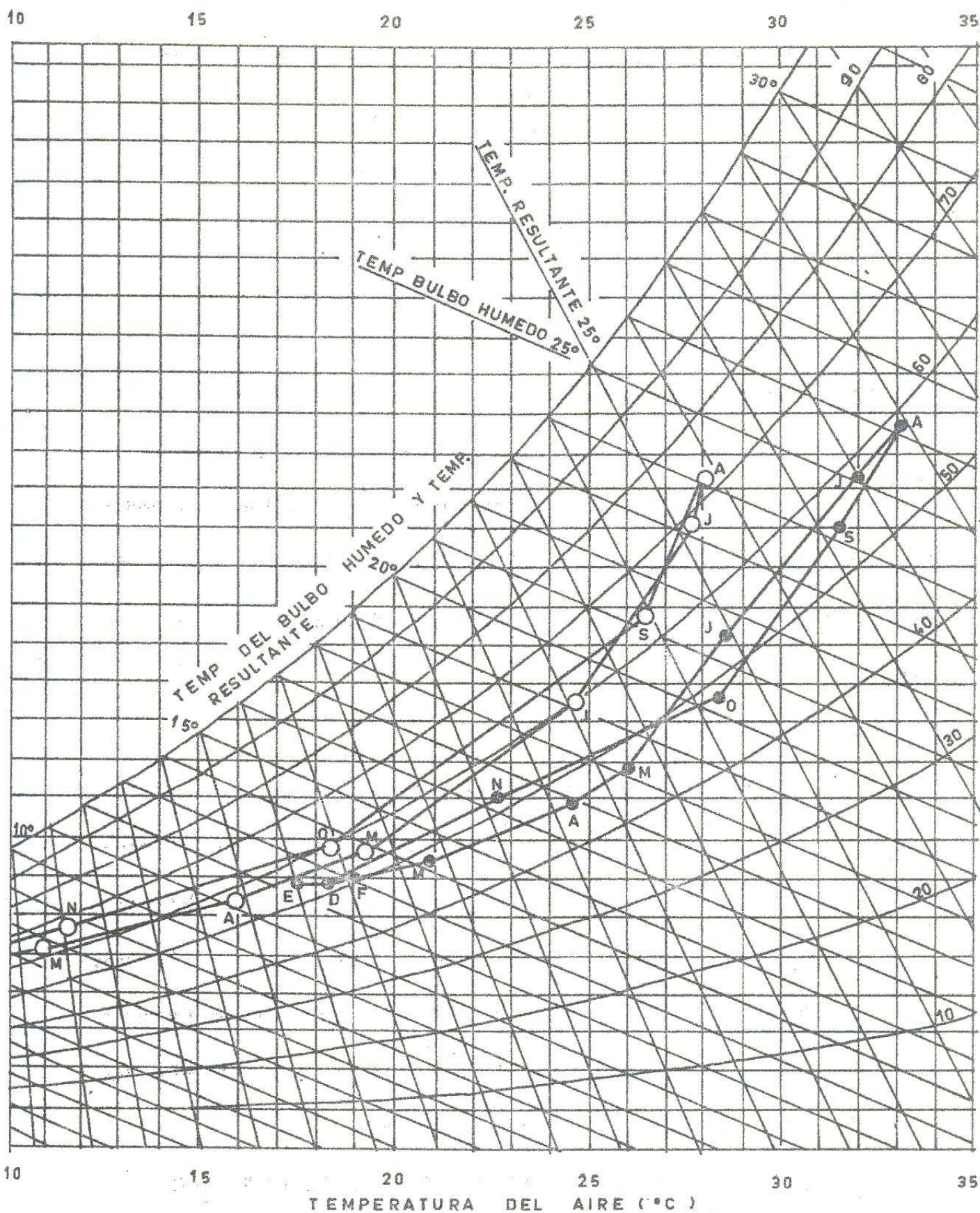


FIG. 8 TEMPERATURAS RESULTANTES EN PUERTO PEÑASCO SON.

simplificar se consideran solamente la temperatura del aire y la humedad ambiente (aire en calma y temperatura radiante de las paredes igual a la temperatura del aire) se puede definir la llamada 'zona de confort' sobre un diagrama psicrométrico como el de la fig. 8.

El límite superior de la zona de confort corresponde a una temperatura efectiva ó resultante de 25-26°C (para individuos adaptados al calor) (Dreyfus, 1960) y de 21-22°C para personas no aclimatadas al trópico.

En la fig. 8 se han trazado los puntos correspondientes a pares de valores de temperatura del aire y temperatura del bulbo húmedo para cada mes a las 8 a.m. y a las 2 p.m. en Puerto Peñasco, Son. (aeropuerto). Si se toman en cuenta los límites de la zona de confort mencionados, las personas no aclimatadas padecen del calor en las horas del mediodía desde abril a octubre mientras que para los individuos aclimatados el período de ambiente bochornoso se reduce a 4 meses (de junio a septiembre).

7.- LAS TOLVANERAS.

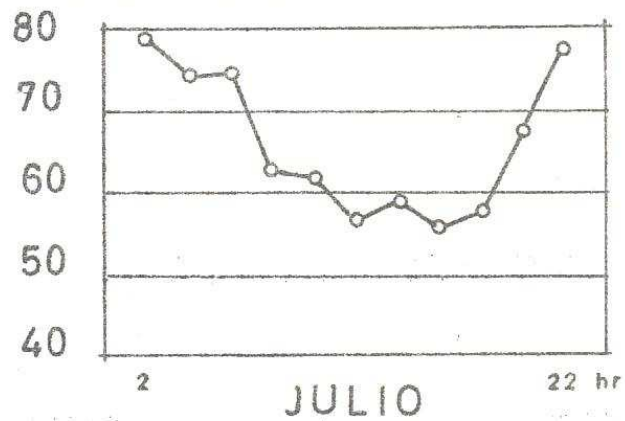
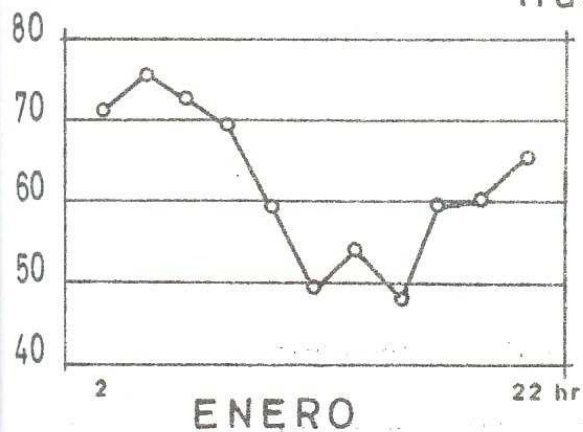
Un viento de 7-10 m/s es suficiente para levantar la arena ó polvo del desierto é iniciar una tolvanera. En el desierto del Colorado los vientos alcanzan su mayor intensidad en la primavera (Meigs, 1961); sin embargo, los datos de Puerto Peñasco (Tabla 1) indican que enero y febrero son los meses en que hay más tolvaneras pudiendo ocurrir estas también en pleno verano. Las tolvaneras producen diversas molestias como irritación en las mucosas, reducción de la visibilidad en las calles, invasión de arena en las carreteras, erosión de pinturas, etc.

8.- LOS DATOS CLIMATOLOGICOS DEL AEROPUERTO DE PUNTA PEÑASCO.

Además de la estación termopluviométrica de Punta Peñasco, funciona en el aeropuerto de esta población y no lejos del mar una estación meteorológica donde se registran otros factores climatológicos como temperatura del bulbo húmedo,

PUERTO PEÑASCO

Humedad relativa (%)



Temperatura del bulbo seco — y humedo ---

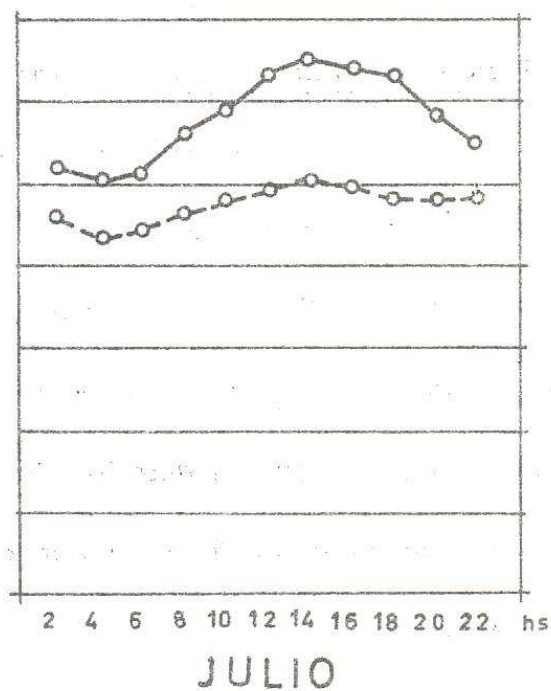
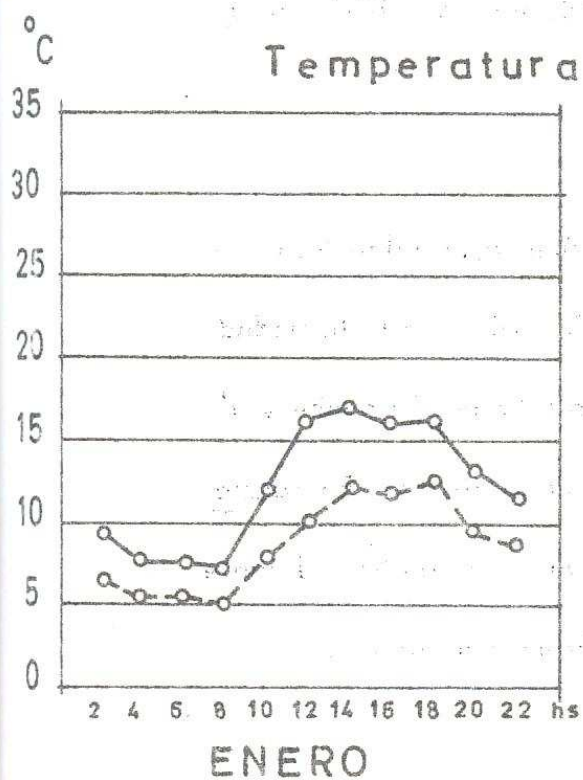


FIG. 9

humedad relativa, viento, visibilidad, etc., los que se examinan enseguida.

a. - La temperatura.

En la fig. 9 aparece la variación diurna de la temperatura del aire y la temperatura del bulbo húmedo de enero y julio para el aeropuerto de Punta Peñasco. La amplitud de la oscilación diurna de la temperatura es menor que la correspondiente a la estación de Recursos Hidráulicos que se encuentra algo más alejada del mar.

b. - La temperatura del bulbo húmedo.

Durante los meses de calor la temperatura del bulbo húmedo presenta una variación diurna pequeña manteniéndose entre los 20 y 25°C. En invierno y al comenzar la primavera las temperaturas del bulbo húmedo son de 6-8°C en la mañana subiendo luego a 12-14°C al mediodía.

c. - Variación diurna de la humedad relativa:

Con la temperatura del aire y la del bulbo húmedo se calculó la humedad relativa (fig. 9) para Puerto Peñasco. Entre las 10 y 18 horas la humedad relativa es menor de 60 por ciento durante todo el año; luego sube por la noche y al amanecer alcanza su valor máximo que generalmente es de 80 por ciento. En ocasiones el aire se satura produciéndose las nieblas que se producen en el otoño y durante el invierno alcanzando su máxima incidencia en enero y febrero (tabla 1).

d. - Los vientos.

Con datos de tres años del período 1961-63 se calcularon las frecuencias del viento de superficie a las 13 y 21 horas; con esta información se trazaron las rosas de viento de Puerto Peñasco (fig. 5)

En la mañana y durante la época de calores (mayo a agosto) los vientos más frecuentes son las brisas del sureste que tienen una intensidad media

de 6 m/s. En otoño e invierno sopla a esas horas un viento del este (terral) de 3 m/s de intensidad media.

Al mediodía soplan con más frecuencia los vientos frescos que vienen del mar ya sea del sur o del suroeste y con una fuerza de 5 á 7 m/s. Finalmente, por la noche la frecuencia de las calmas aumenta y en invierno los vientos habituales son del noroeste; el resto del año cambian hacia la dirección sur ó poniente.

9.- SISTEMAS SINOPTICOS CARACTERISTICOS.

Enseguida se describen los sistemas de tiempo que más se presentan en el área de estudio. (Desalting Study, 1967).

a.- Area de baja presión (térmica) en el verano.

En julio y agosto se desarrolla un área de baja presión por calentamiento centrada en el suroeste de Arizona.

Esta baja presión se origina por el calentamiento excesivo del área desértica lo que fomenta los movimientos ascendentes de aire caldeando.

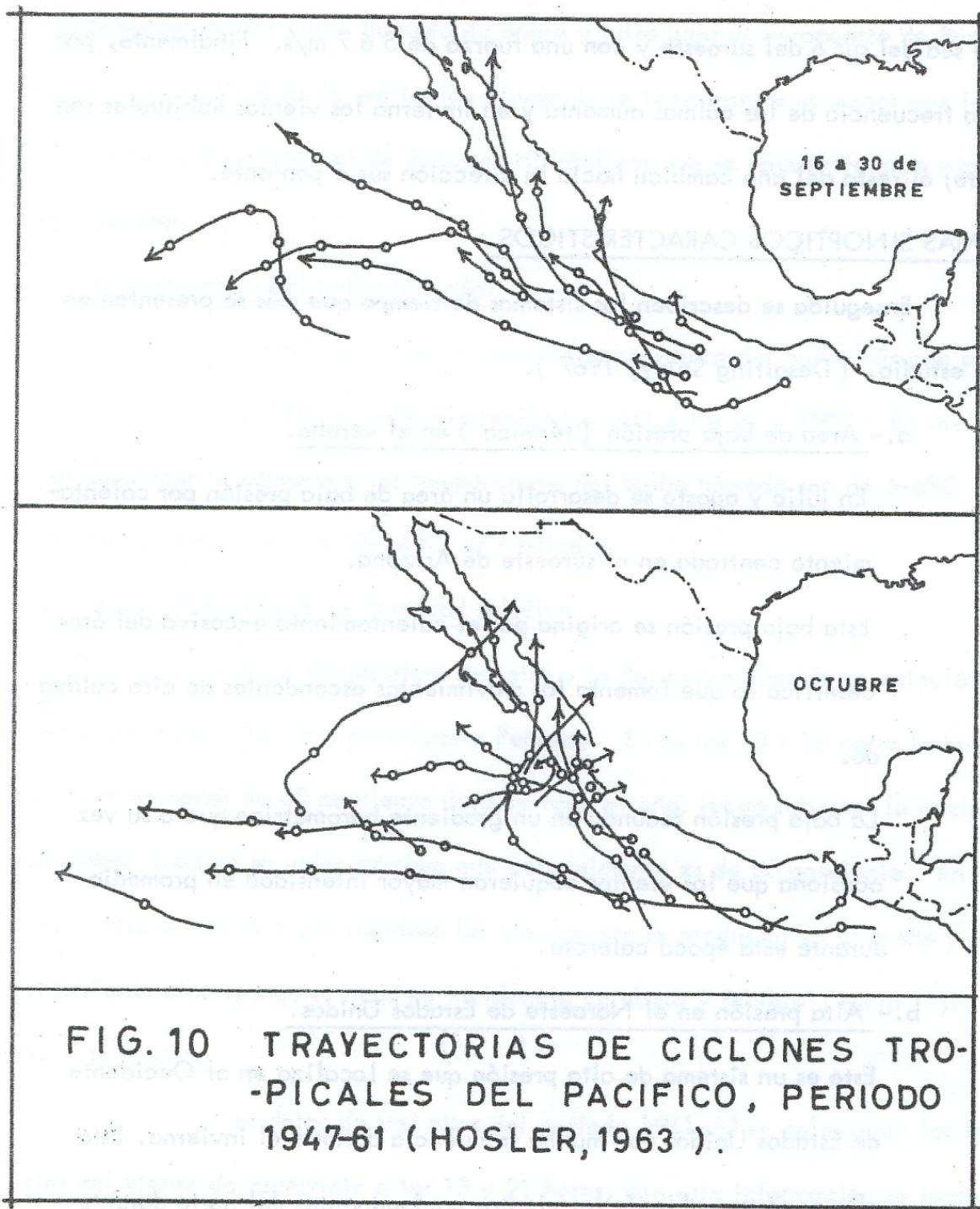
La baja presión redunda en un gradiente barométrico que a su vez ocasiona que los vientos adquieran mayor intensidad en promedio durante esta época calurosa.

b.- Alta presión en el Noroeste de Estados Unidos.

Este es un sistema de alta presión que se localiza en el Occidente de Estados Unidos con mucha frecuencia durante el invierno. Esta alta es responsable de los vientos predominantes del norte durante la estación fría.

c.- Frentes y tormentas.

1.- En ocasiones durante el invierno penetran el área en estudio masas de aire frío que llegan hasta la boca del Colorado originando descensos brus-



cos de la temperatura que vienen acompañados de vientos fuertes del norte.

- II.- A veces en el invierno, se desarrolla una onda frontal en la costa suroeste de California quedando al NE del sector cálido el área de estudio. Estos frentes se mueven hacia el este y noroeste acarreando mal tiempo durante 24 horas ó más y en ocasiones las lluvias abundantes producen inundaciones.
- III.- Muchas de las tormentas invernales vienen del oeste y noroeste acompañando a una oclusión ó a un frente frío; estas invasiones de humedad tienen una cadencia de una vez cada dos semanas en promedio produciendo lluvias con tinuas ligeras además de aire frío.
- IV.- Las tormentas de verano son principalmente de tipo de altura asociadas a una baja térmica centrada sobre el desierto. La humedad de estas tempestades llega al área en estudio ya sea desde el Golfo de México ó de las aguas vecinas a la península de Baja California.
- V.- La estación de ciclones tropicales comprende generalmente de fines de mayo hasta noviembre siendo septiembre el mes de mayor actividad. En la Fig. 10 (Rosendal, 1963) se muestran las trayectorias de ciclones tropicales en la vecindad de la Baja California para el período 1947-1961. Cuatro de estas tormentas afectaron las aguas del Golfo de California en el período señalado. Aunque los ciclones llegan aquí ya debilitados el flujo de aire húmedo que los acompaña puede producir una precipitación abundante ó inundaciones en el área en estudio. Excepcionalmente como ocurrió en 1967, los ciclones recorren el Golfo en dirección norte para disolverse en el delta del Colorado.

10.- DIFUSION ATMOSFERICA

No se cuenta en la actualidad con información sobre el gradiente térmico vertical en la capa de fricción (de unos 1000 m de espesor); su variación diaria y

estacional, en la vecindad del área en estudio,

La dispersión de los contaminantes introducidos en la atmósfera desde el suelo depende del grado de inestabilidad atmosférica. La estabilidad es más marcada mientras más aumenta la temperatura con la altura; a esta condición se le llama inversión de temperatura. Las inversiones ocurren ya sea a partir del suelo ó a cierta altura y pueden ser ocasionadas por subsidencia (descenso general de aire), enfriamiento por radiación al nivel del suelo, ó por advección de aire tibio en los niveles altos sobre una capa de aire frío.

La inversión por radiación es la más común en el área en estudio ya que la baja humedad y los cielos despejados prevaecientes dan lugar a una fuerte pérdida de calor por radiación nocturna del suelo

En la siguiente tabla (Hosler, 1961) se muestra el porcentaje estimado de frecuencia de las inversiones cuya base está a menos de 160 m.

TABLA 5. FRECUENCIA DE INVERSIONES DE TEMPERATURA (EN YUMA Y PHOENIX, ARIZ.) (en %) (HOSLER, 1961)

Estación	Hora (local)			
	a 5:00 pm	b 8:00 pm	a 5:00 am	b 8:00 am
Invierno	0	88	96	92
Primavera	0	58	86	68
Verano	0	59	86	38
Otoño	0	95	92	88

Los datos corresponden al radiosondeo de:

a) Yuma de junio 1957- mayo 1959

b) Phoenix de junio 1955- mayo 1957

Los resultados de la tabla deben tomarse como una aproximación a las condiciones reales ya que se hicieron algunas simplificaciones.

Ya se vió que en invierno ocurre el máximo número de nieblas en la costa del Golfo de Sonora (ver Punta Peñasco, tabla 1) indicando la presencia de una inversión de temperatura que se forma por radiación nocturna y que luego desaparece por calentamiento del suelo. Es probable que hacia la frontera, tierra adentro, estas inversiones se formen también por radiación nocturna y quizá ahí sean más acentuadas por un menor contenido de humedad en el aire, lo que resulta en un mayor enfriamiento por radiación, llegándose a presentar incluso las heladas en el invierno (tabla 1).

Es indudable que las inversiones fuertes ocurren sobre todo en el invierno en noches despejadas y con poco viento. En estas condiciones los contaminantes emitidos por una chimenea cuyo orificio se encuentre dentro de la inversión, se concentrarán viajando sin diluirse apreciablemente en una lámina al nivel de la boca. A medida que el calentamiento del suelo va destruyendo la inversión la mezcla vertical se iniciará haciendo que la capa de contaminantes descienda a niveles cercanos al suelo; este efecto se denomina de " fumigación".

Las capas de aire estable pueden ocurrir también en el verano originadas por el efecto de subsidencia propia de la celda semipermanente de alta presión del Pacífico Norte, que en la época calurosa se encuentra mordiendo la costa occidental de los Estados Unidos (Hastings, 1965). En un viaje de reconocimiento realizado al comenzar el verano, el autor observó columnas de humo que acusaban que la altura de la capa estable al mediodía era de un kilómetro, aproximadamente medida con altímetro desde una avioneta.

11. - REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Banco Nacional de México . Examen de la situación económica de México. Depto. Estudios Económicos, B. N. M. Vol. 43, No. 505. 1967.
- Desalting Study, Joint United States - Mexico O.I.E.A., 1967, Miméografo.
- Hastings, J. R. Season Precipitation Regimes in Baja California, Geografiska Annaler, Vol. 47, Serv. A. 1965.
- Jaeger, E., The Northamerican Deserts, Stanford University Press, 1961.
- Jáuregui, O.E., Estudio Climático del Noroeste de la República Mexicana, Abril 1966, Dirección del Reactor C.N.E.N.
- Jáuregui, O.E. (1968) La temporada de ciclones tropicales de 1967 y su contribución a la precipitación en México, Ing. Hidr. en México, Vol. 22, No. 1.
- McDonald, J. E. Variability of precipitation in an arid region, Techn. Reports, No. 1 Tucson, Univ. of Arizona Inst. of Atmospheric Physics.
- Meigs, P., The North American Deserts, Stanford Univ. Press, 1961.
- Shreve, F., The desert vegetation of North America, Botanical Review, Vol. 8, 195-246, 1942.
- Shreve, F., Wiggins, I., Vegetation and Flora of the Sonoran Desert, Vol. 1, Palo Alto, Stanford Univ. Press, 1964.
- Wallén, C.C , Some characteristics of precipitation in Mexico, Geografiska Annaler, 1955. Estokólmo.

TABLA 1

PUERTO PEÑASCO, SON.

PERIODO: 1954-65

	Temp. Máx. absoluta.	Prom. de temperatura máxima.	Prom. de temperatura máxima diaria.	Temp. mín. absoluta.	Prom. de temperatura mínima.	Prom. de temperatura mínima diaria.	Lluvia (mm)	Viento dominante	No. de días con:				
									Lluvia	Despejado	Niebla	Tormenta	Helada
E	40.0	25.7	21.4	2.0	1.6	5.7	10.8	W	2	12	10	4	1
F	32.0	29.9	22.0	0.0	2.8	8.0	5.5	W	1	15	8	3	0
M	43.0	30.9	26.0	1.0	4.4	9.7	2.5	W	0	15	2	0	0
A	43.0	32.8	27.5	4.0	8.1	12.2	0.4	W	0	17	2	0	0
M	33.0	32.8	28.1	5.0	11.4	15.1	1.5	SE	0	18	0	1	0
J	43.0	37.0	32.8	6.0	14.2	17.8	0.5	SE	0	23	0	0	0
J	39.0	37.3	34.9	10.0	17.8	22.1	2.3	S	0	13	1	2	0
A	41.0	38.9	35.4	10.0	18.0	23.1	5.6	S	1	12	2	1	0
S	41.0	38.3	35.2	8.0	14.4	20.1	7.7	S	1	20	6	1	0
O	39.5	36.7	33.0	8.0	9.8	14.5	22.8	W	1	19	5	0	0
N	34.2	32.1	24.0	1.0	5.2	10.0	7.3	W	1	15	4	1	0
D	39.5	27.6	22.4	0.4	2.0	8.1	12.8	NW	1	14	4	0	0

ANUAL

79.7

8 193 44 13 1

Temperatura máxima absoluta	Prom. de temperatura máxima	Prom. de temperatura máxima diaria	Temperatura mínima absoluta	Prom. de temperatura mínima	Prom. de temp. diaria	Lluvia (mm)	Evaporación (mm)	Viento dominante	No. de días con:				
									Lluvia	Días de helada	Helada	Nieve	Granizo
E 37.0	31.1	24.8	0.3	1.5	6.8	2.4	27.5	NW	1	25	1	0	0
F 39.0	33.8	26.8	0.0	2.6	7.3	1.5	149.5	NW	0	25	1	0	0
M 40.0	35.1	28.9	0.0	3.8	9.2	4.8	137.7	NW	0	27	0	0	0
A 45.0	39.5	33.1	3.0	7.0	12.0	2.2	219.9	NW	0	27	0	0	0
M 49.0	42.6	36.0	5.0	10.0	15.0	0.0	217.8	NW	0	30	0	0	0
J 51.0	46.4	39.3	10.0	12.9	18.6	2.0	277.8	NE	0	29	0	0	0
J 51.0	47.0	41.6	10.0	18.4	22.8	2.0	296.7	NE	0	27	0	0	0
A 57.0	47.0	41.5	11.0	18.4	22.7	10.7	268.2	NW	1	27	0	0	0
S 52.0	45.9	40.5	10.0	17.2	20.9	5.9	255.8	E	1	27	0	0	0
O 47.0	42.4	36.2	4.0	10.5	15.6	7.1	208.0	NW	1	28	0	0	0
N 48.0	38.0	31.1	6.0	4.8	11.2	2.1	156.0	NW	0	24	0	0	0
D 35.5	31.9	26.5	2.0	2.5	8.3	10.0	132.4	W	1	23	0	0	0
ANUAL						50.7	2447.3		5	319	2		

	Temperatura máxima diaria	Temperatura mínima diaria	Lluvia (mm)	Evaporación (mm)	Viento dominante	No. de días con:			
						Lluvia	Des- plazamiento	niebla	tem- pe- ra- tura
E	20.6	4.4	9.8	85.0	N	2	26	0	0
F	23.3	6.5	2.9	103.3	NW	1	23	0	0
M	26.8	9.1	1.8	155.9	NW	0	28	0	0
A	30.3	12.3	0.4	213.3	W	0	27	0	0
M	34.2	16.0	0.0	277.4	W	0	28	0	0
J	39.3	20.0	0.1	317.5	SE	0	29	0	0
J	41.7	25.6	1.4	359.2	SE	0	29	0	0
A	41.7	25.9	13.0	324.7	SE	1	27	0	0
S	39.3	21.9	7.2	260.6	N	0	28	0	0
O	33.7	15.2	4.7	178.2	N	1	28	0	0
N	26.7	8.1	0.5	108.1	W	0	28	0	0
D	21.9	4.4	6.8	90.8	N	1	26	0	0
ANUAL			48.6	2474.0		6	327	0	0

Temperatura máxima registrada	Temperatura máxima ex- tremo	Temperatura máxima día- ria.	Temperatura mínima re- gistrada	Temperatura mínima ex- tremo	Temperatura mínima diaria	Evaporación (mm)	Lluvia (mm)	Viento predominan- te.	Llu- via.	Des- peja- do	Helá- da	Gra- nizo	blig
E 34.0	27.0	20.5	7.0	2.0	4.2	66.9	11.8	W	3	21	4	0	1
F 34.0	29.4	23.1	4.5	0.4	6.2	94.7	4.5	NW	2	22	1	0	0
M 36.0	32.6	25.9	0.9	2.6	8.4	155.0	1.9	NW	1	25	0	0	0
A 41.0	38.2	30.9	5.1	7.2	12.7	213.0	1.6		1	25	0	0	0
M 47.0	41.4	34.5	6.2	9.6	15.3	284.0	0.2		0	28	0	0	0
J 49.6	45.8	39.7	11.3	13.2	19.4	315.3	0.4	NW	0	27	0	0	0
J 48.0	46.1	42.1	16.5	19.2	24.5	324.6	1.8		1	23	0	0	0
A 48.5	45.4	41.0	14.6	18.5	24.3	282.1	7.8		1	22	0	0	0
S 54.3	45.4	39.8	11.8	14.7	20.9	220.1	3.3		1	26	0	0	0
O 43.0	40.3	33.7	3.2	8.9	15.1	150.4	7.4		0	27	0	0	0
N 37.8	32.3	25.9	1.0	2.3	8.7	82.4	3.7	NW	1	22	0	0	0
D 31.8	27.6	20.9	4.0	0.5	4.7	57.0	9.5	NW	2	21	3	0	1
ANUAL							2245.5	53.9	13	289	8	0	2

	No. de días con:														Viento predominante	Evaporación (mm)	Lluvia (mm)	Temperatura mínima diaria	Temperatura máxima diaria	Temperatura registrada mínima	Temperatura registrada máxima	Temperatura extrema mínima	Temperatura extrema máxima	Lluvia (mm)	Evaporación (mm)	Viento predominante	Lluvia	Despejado	Helada	Niebla	Tormenta
E	32.0	25.9	22.5	3.5	1.9	6.3	4.8	93.9	N	1	23	2	0	0																	
F	34.5	29.3	24.0	2.5	3.0	7.4	2.2	110.8	N	1	23	1	0	0																	
M	38.0	32.5	26.5	1.0	4.3	8.9	3.2	159.9	S	1	25	0	0	0																	
A	42.0	37.3	30.7	1.5	5.8	10.8	1.0	201.5	E	0	27	0	0	0																	
M	45.0	40.4	33.9	2.5	8.0	12.5	0.1	258.4	S	0	26	0	0	0																	
J	50.0	44.9	38.9	3.0	10.1	15.4	0.1	295.4	S	0	28	0	0	0																	
J	49.5	45.7	40.8	4.0	13.5	19.1	2.1	325.3	E	1	24	0	0	0																	
A	55.5	45.9	39.7	5.0	13.7	19.3	10.2	303.2	E	1	25	0	0	0																	
S	49.0	44.8	38.1	1.0	11.2	17.3	10.5	273.6	E	1	26	0	0	0																	
O	49.0	40.5	33.8	2.5	8.6	14.2	5.8	207.7	E	1	26	0	0	0																	
N	49.0	35.0	27.8	1.0	4.1	9.6	1.4	119.9	N	1	23	0	0	0																	
D	39.0	30.1	24.8	6.5	2.3	6.4	6.2	95.0	N	1	23	3	0	0																	
ANUAL							47.6	2444.6		9	299	6	0	0																	

Temperatura				Precipitación				Humedad relativa			Viento		No. de días con:		
Prom. de máximas diarias	Prom. de mínimas diarias	Promedio mensual	Máximo registrado	Mínimo registrado	Lluvia promedio	Máximo mensual	Máximo en 24 horas	5:00 A. M. (local)	11:00 A. M. (local)	Velocidad media millas/hora	Dirección predominante	Despejado	Lluvia	Tormenta	Niebla densa
E 69.3	41.5	55.4	86	28	0.39	1.29	0.56	53	35	7.2	N	16	2	0	*
F 73.9	44.2	59.1	94	28	0.36	1.82	1.34	49	29	7.6	N	17	2	*	*
M 80.8	50.1	65.5	97	32	0.24	0.62	0.27	45	25	8.0	WNW	18	2	0	0
A 86.3	56.5	72.4	107	42	0.09	1.20	1.08	43	21	8.4	W	21	1	*	0
M 95.8	63.3	79.6	115	49	0.01	0.37	0.37	39	19	8.5	WNW	24	*	*	0
J 103.4	71.0	87.2	120	54	0.01	0.02	0.02	36	19	8.5	SSE	26	*	*	0
J 108.2	80.3	94.3	119	63	0.23	1.07	1.06	47	29	9.6	SSE	22	1	2	0
A 108.3	78.4	92.5	117	64	0.50	1.31	0.90	55	34	9.1	SSE	22	2	2	0
S 103.4	72.8	88.1	115	58	0.38	2.47	2.42	53	29	7.0	SSE	26	*	1	0
O 92.0	60.6	76.3	109	44	0.38	2.68	2.09	49	27	6.4	N	24	1	1	0
N 78.7	49.0	63.9	98	30	0.12	0.58	0.32	48	28	6.8	N	19	1	*	*
D 70.8	43.1	57.0	86	28	0.32	1.67	1.37	47	32	7.0	N	18	2	*	1
ANUAL															
												253	14	6	1