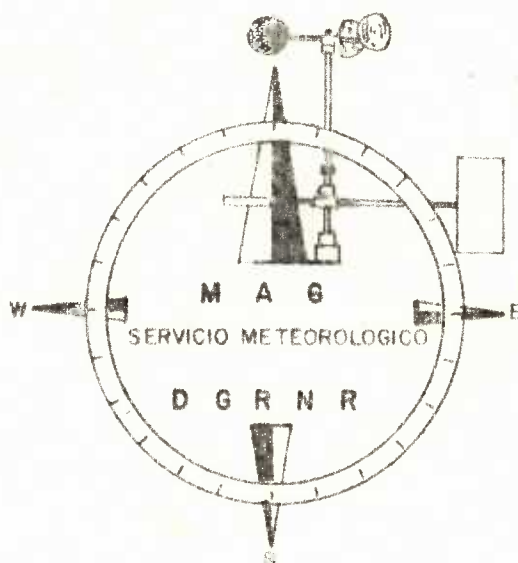


MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA

DIRECCION GENERAL DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

SERVICIO METEOROLOGICO



PUBLICACION TECNICA N.º 15

ESTUDIO CLIMATOLOGICO
DE LA ZONA DE ASTORIA

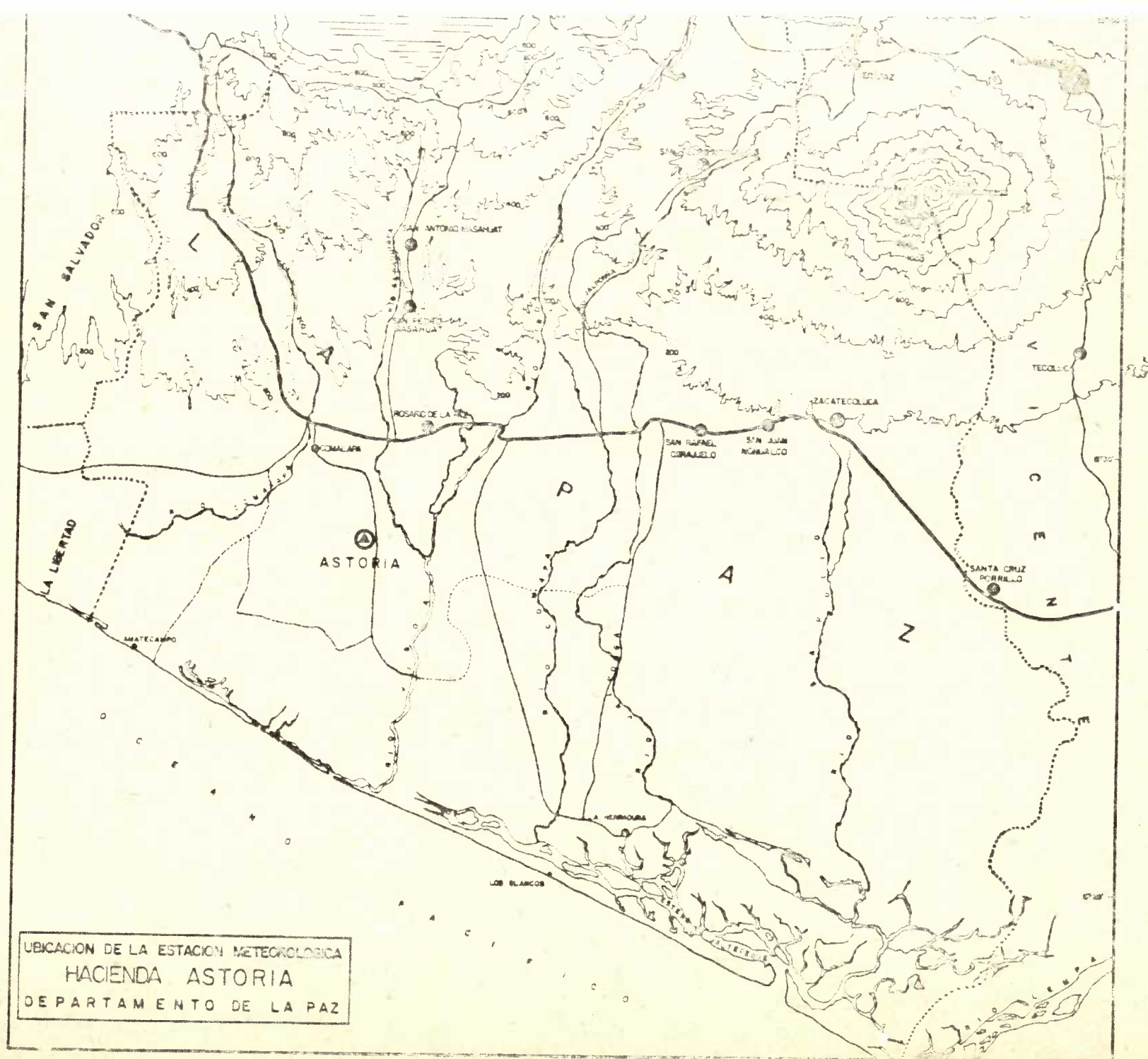
POR ING. RAFAEL EDUARDO LOPEZ HERNANDEZ

SAN SALVADOR

FEBRERO 1977

C O N T E N I D O

	Página
1.- INTRODUCCION	1
2.- DESCRIPCION GENERAL	2
3.- ELEMENTOS METEOROLOGICOS	
3.1 TEMPERATURA	3
3.2 HUMEDAD DEL AIRE .	
a) Humedad Relativa	4
b) Humedad Absoluta	5
3.3 PRECIPITACION .	
a) Régimen de Precipitación en Hacienda Astoria	6
b) Curvas de Intensidad-Duración y Frecuencia	8
3.4 EVAPORACION	
a) Evaporación Tanque	10
b) Evapotranspiración	
b.1) Evapotranspiración potencial por Thornthwaite	11
b.2) Evapotranspiración potencial por Penman	12
b.3) Comparación de las Evaporaciones calculadas	13
3.5 VIENTO: VELOCIDAD Y RUMBO DOMINANTE	13-14
4.- ANEXO DE GRAFICOS .	



1 - I N T R O D U C C I O N

Con los primeros conocimientos de que el Aeropuerto Internacional de Ilopingo sería sustituido por otro de mayor capacidad, se encomendó al Servicio Meteorológico la investigación de algunos de los lugares potenciales para la construcción del nuevo Aeropuerto.

Uno de los sitios seleccionados fue la planicie ocupada por Hacienda Astoria, jurisdicción de Comalapa, Depto. de La Paz, habiéndose instalado una Estación Meteorológica con fines especiales en Marzo de 1971, con la colaboración de la Dirección General de Aeronáutica Civil. En vista de la gran envergadura del proyecto, era necesario comenzar desde entonces a recabar datos para estar en condiciones de proporcionar la información necesaria a los profesionales interesados en el planeamiento de las obras civiles y en las operaciones aeronáuticas del futuro Aeropuerto. La primera aplicación consistió en proporcionar toda la información de los vientos en la zona que sirvió de base para el diseño de las pistas.

Alrededor del Aeropuerto surgirán obras de infraestructura económica y social que modificarán el paisaje natural, siendo entonces de gran importancia dar a todos los involucrados en las obras, el material estadístico y de referencia de los distintos elementos meteorológicos que determinan el clima de Astoria: temperatura, precipitación, humedad del aire, viento, etc., con la finalidad de contribuir a lograr un mejor aprovechamiento integral de los recursos naturales de que dispone la zona.

El presente trabajo tiene por objeto describir brevemente las condiciones climáticas en Hacienda Astoria, siendo importante mencionar que el estudio es preliminar por los pocos años de observación de que disponemos hasta la fecha por lo que la caracterización del clima del lugar es tentativa, especialmente para aquellos elementos meteorológicos que experimentan mucha variación con el tiempo, como por ejemplo la precipitación, debido a lo cual habrá de ser actualizado en el futuro a medida que se vayan obteniendo más registros de los parámetros mencionados.

2 - DESCRIPCION GENERAL

La estación meteorológica Hacienda Astoria está situada en el lugar determinado por las coordenadas geográficas 13° 27.4' Latitud Norte y 89° 62.7' Longitud Oeste, a una elevación de 40 m.s.n.d.m., dentro de la planicie costera del Departamento de La Paz a una distancia de aproximadamente 8 Kms. del Océano Pacífico.

El clima del lugar pertenece por su elevación, según Köeppen, al tipo climático *Awaig* o "Sabana Tropical Caliente" con temperaturas medias anuales mayores de 25°C y una estación seca en invierno de Noviembre a Abril con temperaturas máximas medias arriba de 34°C antes de la estación lluviosa.

El mapa que se acompaña en este estudio nos muestra la ubicación de la estación Hacienda Astoria en el Departamento de La Paz, el cual por ser muy accidentado incide en la determinación del clima del lugar. Al Noreste de la estación se levanta el Volcán de San Vicente que, como veremos más adelante, por su situación influye negativamente en la producción de lluvia en Astoria.

Hacienda Astoria es una estación climatológica ordinaria que realiza tres observaciones diarias a las 07:00, 14:00 y 21:00 horas. Para la medición de los distintos elementos meteorológicos, cuenta con el siguiente instrumental meteorológico:

- Pluviómetro y Pluviógrafo (Hellmann - FUESS),
- Termómetros de máxima y de mínima (FUESS),
- Psicrómetro doble ventilado (August - FUESS),
- Evaporímetro de Piché (JULES RICHARD).

Para los fines especiales con que se construyó la estación, Astoria cuenta además con un Anemógrafo FUESS (82 A) que registra la velocidad media y dirección del viento e incluso ráfagas.

3 - ELEMENTOS METEOROLOGICOS

3.1 Temperatura

Los registros que se tienen de este parámetro desde Marzo de 1973 nos muestran que las temperaturas medias en Astoria no han presentado gran variación en el transcurso de los años de registro ya que el menor valor ha sido 24.6°C y el mayor 28.1°C siendo la temperatura media anual de 26.4°C. Los datos de temperatura media mensual desde Marzo de 1973 hasta Octubre de 1976 son los siguientes:

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1973	-	-	27.6	28.1	27.7	26.7	27.4	26.7	26.3	25.7	26.5	24.9	26.8
1974	26.5	25.5	26.6	27.8	27.4	26.4	27.0	26.8	25.6	26.3	26.3	25.9	26.5
1975	26.4	25.4	26.4	27.6	27.3	27.0	26.2	26.3	25.2	25.5	25.3	24.6	26.1
1976	25.3	25.3	25.8	27.0	27.8	26.2	27.7	27.0	26.0	26.2	.		

Las temperaturas extremas registradas son típicas de un área costera con temperaturas máximas promedio cerca de los 33°C y una máxima absoluta de 39.5°C obtenida en Febrero de 1974. Las bajas temperaturas en esta zona no son frecuentes debido a la influencia del mar; la temperatura mínima promedio está cerca de los 22°C con una mínima absoluta de 14°C observada en Enero de 1974. La oscilación media diaria de la temperatura es de 11°C con un máximo de 13°C en Febrero.

Debido al poco tiempo de registro (3 años) es prácticamente imposible definir valores medios de los parámetros de la temperatura que representen el clima de la región de Astoria, por lo que se ha hecho una correlación gráfica con las temperaturas de Santa Cruz Porcillo donde se tienen registros estables desde 1953 (véase Gráfico Nº 1). Los valores medios de temperatura corregidos, así como las temperaturas extremas registradas mensualmente se muestran en el siguiente cuadro:

TEMPERAT,	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Media	25.6	25.9	26.6	27.6	27.5	26.7	26.9	26.6	25.8	25.8	26.0	25.4	26.4
Máx.Med.	34.5	34.7	34.7	34.5	33.1	32.3	33.0	32.9	31.5	31.8	32.9	34.0	33.3
Mín.Med.	20.0	20.5	21.9	23.2	23.6	23.0	22.8	22.7	22.3	21.9	21.0	19.7	21.9
Máx.Abs.	38.5	39.5	37.5	38.2	36.0	38.0	39.0	35.5	34.8	34.5	35.5	37.0	39.5
Mín.Abs.	14.0	16.0	17.0	18.5	21.0	20.0	20.0	19.5	20.0	20.0	19.0	15.0	14.0

Nótese del gráfico anterior que en Santa Cruz Porrillo las temperaturas mensuales medias y máximas medias son mayores que en Astoria. y en cambio las temperaturas mínimas medias son menores debiéndose este hecho a la distancia de las estaciones al mar.

3.2 Humedad del Aire

Para expresar el contenido de vapor de agua en el aire se usan dos parámetros: la humedad relativa y la humedad absoluta.

a. Humedad Relativa, en %, expresa la relación entre el contenido de vapor de agua del aire a una determinada temperatura y el contenido máximo de vapor de agua que el aire podría contener a la misma temperatura.

Las características de humedad relativa en nuestro país están influenciadas por las condiciones locales y además por la vegetación. En la costa y las planicies costeras el aire es, por lo general, algo más húmedo que tierra adentro debido a la influencia de la brisa marina.

Durante el día, este elemento presenta en Astoria su valor más bajo entre las 12 y las 15 horas debido a que el calentamiento reseca el aire oscilando la humedad relativa entre el 30 y el 40%.

Con la disminución de la temperatura en la tarde, la humedad relativa aumenta alcanzando a la media noche valores hasta de 100%, valor que se mantiene hasta la salida del sol.

Durante el año el mayor resecamiento suele ocurrir durante la estación seca, en Febrero, y la mayor humedad en la estación lluviosa, en el mes de Septiembre. Los valores mensuales de la humedad relativa son los siguientes:

HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO (%)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1973	--	--	69	72	76	83	79	86	89	89	76	69	--
1974	65	60	70	63	76	81	76	77	85	77	73	67	72
1975	63	65	68	64	75	79	80	81	86	81	77	65	74
1976	60	61	64	69	71	82	70	74	81	80			

El comportamiento medio anual de la humedad relativa del aire en Astoria es,

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Humedad Relativa Promedio (%)	63	62	65	70	75	81	78	81	86	82	75	67	74

- b. Humedad Absoluta: es el contenido absoluto de vapor de agua en el aire. Para los rangos de temperatura y presión normales, la humedad absoluta (en gr/m³) es numéricamente igual a la presión del vapor de agua expresada en mm de Hg. La presión del vapor de agua presenta una variación anual parecida a la temperatura por lo que también disminuye con la altura.

Los registros mensuales de la presión del vapor desde 1973 son:

PRESION DEL VAPOR DE AGUA (en mmHG)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1973	-	-	19.3	20.9	21.3	22.2	21.7	22.6	22.9	21.8	20.3	16.6	-
1974	16.9	14.8	18.2	17.7	20.9	21.2	20.6	20.6	21.1	19.9	19.1	17.0	19.0
1975	16.6	16.1	17.7	18.1	20.6	21.2	20.8	21.4	21.0	20.7	19.0	15.2	19.0
1976	14.7	14.6	16.0	18.6	20.2	21.2	19.9	20.2	21.1	20.8	-	-	-

El comportamiento medio anual de la humedad absoluta del aire en Astoria es:

HUMEDAD ABSOLUTA PROMEDIO (gr/m³)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
	16.1	16.4	17.8	18.8	20.7	21.4	20.7	21.0	21.6	20.8	18.5	16.4	19.2

En ciertas ocasiones es muy útil conocer cómo varía la temperatura húmeda, por lo que se agregan los valores promedios de este elemento:

TEMPERATURA HUMEDA PROMEDIO (°C)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
	19.3	20.2	22.2	23.2	24.2	24.2	24.0	24.1	24.0	23.6	22.9	20.8	22.7

3.3 Precipitación

a. Régimen de Precipitación en Astoria.

Al igual que en casi todo el país, el régimen anual de lluvias que caracteriza a Hacienda Astoria está dividido en una estación seca de Noviembre a Abril y una estación lluviosa de Mayo a Octubre con un máximo de lluvia principal en Septiembre y un secundario en Junio. Abril es el mes de la transición seca-lluviosa caracterizándose por esporádicos chubascos que a veces aportan cantidades considerables de precipitación. Noviembre es el mes de la transición lluviosa-seca presentando cantidades de lluvia apreciables con respecto a lo considerado normal para la región y esto se debe al atraso hacia la estación seca. (Con la poca cantidad de años de registro de precipitación en Astoria no sabemos si en verdad Noviembre es el mes de la transición lluviosa-seca o si sólo es el reflejo de los últimos años, pero lo anteriormente dicho queda comprobado al comparar el régimen de lluvias con estaciones cercanas como por ejemplo Santa Cruz Porrillo).

Astoria y regiones aledañas, que pertenecen al cinturón llamado de planicies aluviales costeras, presentan precipitaciones anuales cercanas a los 1600 mm. Los valores de precipitación mensual registrados desde Octubre de 1970 hasta Octubre de 1976 son los siguientes:

PRECIPITACION MENSUAL (mm)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1970	---	---	---	---	---	---	---	---	---	178	17	43	---
1971	2	4	.	10	84	294	200	336	319	246	60	2	1557
1972	.	.	.	64	130	152	164	296	453	291	53	.	1603
1973	.	0	.	60	130	298	317	393	258	318	24	2	1800
1974	6	.	98	2	98	498	206	228	329	152	5	.	1622
1975	9	.	3	1	65	178	158	380	448	392	199	.	1833
1976	0	.	1	43	109	469	170	220	277	92			

Los valores mensuales de precipitación normal para Astoria son los siguientes:

PRECIPITACION NORMAL (mm)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
	2	0	4	17	114	313	273	252	348	282	52	2	1658

Estos datos fueron obtenidos aplicando el método del cociente entre las sumas totales de lluvia, mes a mes, de Astoria y Santa Cruz Porrillo.

Nótese de los cuadros anteriores que los años 1973 y 1975 estuvieron sobre lo considerado normal para la región.

La cadena costera al norte disminuye la precipitación del lugar debido a que como la dirección media de las tormentas en El Salvador es del Noreste 1/, el Volcán de San Vicente favorece el desarrollo de nubosidad a borlento por efecto orográfico ocasionando fuertes lluvias. Astoria, que queda a sotavento del volcán, sufre una disminución considerable de la nubosidad y es te hecho incide en la poca producción de lluvia. Al comparar las lluvias normales entre Astoria y Finca El Verde, según lo muestra el Gráfico Nº 2, se nota la disminución de lluvia mencionada. (La estación Finca El Verde está situada en el Volcán de San Vicente a una altura de 1500 m.s.n.m.).

De los registros de precipitación en Astoria, es importante mencionar que el Huracán FIFI produjo hasta la fecha la mayor cantidad de lluvia diaria obteniéndose un valor de 172 mm.

La variación diurna de la precipitación en Hacienda Astoria analizada en períodos de 3 horas de Mayo a Octubre, es como lo muestra la siguiente tabla 2/:

% DE PRECIPITACION SOBRE EL PROMEDIO

HORAS MES								
	03-06	06-09	09-12	12-15	15-18	18-21	21-24	00-03
MAYO	15.1	1.7	0.3	2.2	6.6	17.6	28.3	28.1
JUNIO	9.0	2.7	4.0	6.5	9.4	28.0	20.3	20.1
JULIO	1.6	0.0	0.0	3.7	14.5	28.2	43.3	8.8
AGOSTO	3.9	4.9	0.7	4.5	5.7	22.2	34.9	22.1
SEPTIEMBRE	7.7	5.2	3.6	7.2	3.7	26.7	35.2	10.8
OCTUBRE	-	0.3	1.8	22.5	10.6	16.9	22.3	19.5

1/ Véase Jusem, Líneas de Inestabilidad de El Salvador

2/ Véase Jusem, Variación diurna de la Precipitación.

De la tabla anterior se establece que el período más factible para la ocurrencia de precipitación en Astoria es de las 18 horas a las 03 horas con un máximo entre las 21 y las 24 horas.

Con el fin de estudiar la duración media de las lluvias en Hacienda Astoria se analizaron desde Mayo a Octubre las lluvias que aportaron más de un mm. de precipitación y que duraran más de cinco minutos. El resultado está dado en la siguiente tabla:

DURACION MEDIA DE LAS LLUVIAS (en minutos)

AÑO	MAY		JUN		JUL		AGO		SEP		OCT	
1971	18	228	45	191	35	206	32	184	44	149	37	174
1972	31	140	35	255	47	210	31	210	43	226	45	155
1973	30	164	39	171	33	120	37	144	41	185	37	162
1974	34	204	26	192	28	161	28	172	32	165	38	115
1975	33	132	33	192	22	191	31	184	41	185	37	137

Debido al gran número de lluvias que cumplían el requisito anterior, se dividieron las lluvias en dos grupos; el primero agrupaba las lluvias desde 5 a 60 minutos y el segundo grupo las lluvias desde 65 minutos en adelante exceptuando las mayores de 600 minutos porque distorsionaban el promedio obteniéndose las conclusiones siguientes:

La duración media anual de las lluvias entre 5 y 60 minutos es de 35 minutos;

La duración media anual de las lluvias entre 65 y 600 minutos es de 177 minutos.

b. Curvas de intensidad, duración y frecuencia

Las intensidades máximas anuales de lluvia obtenidas de los registros del pluviógrafo en Astoria para distintos períodos de tiempo, son los que a continuación se señalan:

INTENSIDADES ANUALES MAXIMAS DE LLUVIA (mm/min)

AÑO	5'	10'	15'	20'	30'	45'	60'	90'	120'	150'	180'	240'	360'
1971	2.28	2.18	1.99	1.82	1.60	1.27	1.02	0.74	0.58	0.46	0.25	0.20	0.18
1972	2.26	2.50	2.22	2.12	1.73	1.48	1.34	0.99	0.76	0.63	0.31	0.24	0.23
1973	2.12	1.81	1.71	1.62	1.34	1.14	0.98	0.66	0.32	0.26	0.23	0.18	0.09
1974	1.96	1.78	1.70	1.58	1.38	1.10	0.84	0.58	0.44	0.41	0.35	0.29	0.21
1975	2.16	2.12	2.11	1.94	1.77	1.43	1.41	1.08	0.91	0.76	0.67	0.52	0.37

Para los datos disponibles se calcularon con carácter preliminar, las curvas de intensidad, duración y frecuencia. El procedimiento para su elaboración es el siguiente:

Se ordenan las intensidades de menor a mayor para cada duración y se calcula la probabilidad de cada valor según la siguiente fórmula:

$$p = \frac{m}{n+1} (\%) \text{ donde}$$

p = probabilidad

m = número de orden

n = número de datos.

Se grafican los valores de intensidad y probabilidad en un papel probabilístico de Gumbel resultando las rectas del Gráfico Nº 3.

Extendiendo las rectas puedo extrapolar valores de intensidad para diferentes períodos de tiempo (períodos de retorno), obteniendo el cuadro siguiente:

INTENSIDADES MAXIMAS ANUALES (en mm) PARA DISTINTOS PERIODOS DE RETORNO (años)

DURACION (min.)														
PE RIODO DE RETORNO	5'	10'	15'	20'	30'	45'	60'	90'	120'	150'	180'	240'	360'	
3 años	2.40	2.23	2.09	1.93	1.70	1.38	1.22	0.97	0.74	0.62	0.49	0.39	0.27	
5 años	2.58	2.42	2.23	2.09	1.84	1.50	1.38	1.10	0.88	0.73	0.60	0.47	0.33	
10 años	2.80	2.64	2.46	2.28	2.01	1.68	1.53	1.27	1.02	0.90	0.73	0.60	0.43	
20 años	3.00	2.84	2.64	2.47	2.19	1.84	1.70	1.43	1.18	1.04	0.88	0.70	0.50	
25 años	3.09	2.90	2.71	2.52	2.24	1.90	1.76	1.49	1.22	1.09	0.91	0.74	0.54	
50 años	3.29	3.12	2.91	2.70	2.42	2.06	1.91	1.66	1.38	1.23	1.03	0.85	0.63	

Con los datos de este cuadro se construyen las curvas de intensidad, duración y frecuencia que se muestran en el Gráfico Nº 4.

3.4 Evaporación

Este factor climático es muy importante conocerlo para futuros estudios de balance hídrico que requieren establecer las pérdidas de agua desde una superficie líquida o desde el suelo. Si bien en Astoria, las pocas mediciones de este parámetro hacen difícil su caracterización, las conclusiones que se obtienen son una primera aproximación del régimen de evaporación de la región.

a. Evaporación Tanque

En la estación meteorológica de Astoria no se tiene en funcionamiento todavía un tanque evaporimétrico que mida este elemento. Sí, se mide la evaporación potencial por medio del evaporímetro de Piché el cual se coloca en el interior de la caseta meteorológica. Los registros de evaporación potencial medida con este aparato desde su instalación son los siguientes:

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1973	---	---	206	188	150	109	126	86	66	55	100	153
1974	189	(86)	204	252	160	77	102	133	71	102	155	206
1975	210	189	225	231	161	132	111	75	92	89	105	177
1976	259	247	245	196	205	98	147	116	91	94		

Tal como lo recomienda la Publicación Nº 82 del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, las mediciones del evaporímetro Piché pueden servir para completar o elaborar registros de evaporación tanque estableciendo las relaciones correspondientes. Con ese fin se hizo una correlación entre los valores de evaporación mensual de Piché en Astoria con los de Santa Cruz Porrillo para el período de registro de Astoria. Se obtuvo así una recta que demuestra una correlación directa entre este parámetro para ambas estaciones. Como la correlación entre los valores mensuales de Evaporación tanque y Evaporación de Piché a la sombra en Santa Cruz Porrillo es también una relación directa, deducida con anterioridad en base a todos los años de registro de esta estación, se supuso igual comportamiento en Astoria y se obtuvo así el Gráfico Nº 5 con el que podemos obtener la evaporación tanque mensual de Astoria en base a la evaporación mensual de Piché.

Es importante mencionar que esta es una primera aproximación para obtener este tipo de evaporación ya que el análisis de la evaporación de Piché mensual nos demuestra una gran variación entre la época seca y la época lluviosa, a pesar de que el coeficiente de correlación es bastante bueno, por lo que habría que hacer un estudio más completo de esa variación para obtener mejores resultados. Además, tal como lo menciona la publicación N° 82, al estimar la evaporación mensual del tanque a partir del evaporímetro de Piché se comete un error standard de estimación del 21%. Si los valores se ajustan por variación estacional el error baja al 19%. Una mejor estimación se obtiene al trabajar con datos anuales.

Los valores medios de la evaporación mensual de tanque calculados a partir de los valores medios de la evaporación mensual de Piché son los siguientes:

Tipo de Evaporación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
Piché a la Sombra	200	174	220	217	169	104	121	98	76	82	120	178	1759
Tanque	205	196	222	220	194	158	168	156	143	146	167	198	2173

b. Evapotranspiración

b.1 Evapotranspiración potencial por Thornthwaite.

En base a los datos disponibles de temperatura en Astoria, se calculó la evapotranspiración potencial según Thornthwaite mediante la fórmula:

$$e = 16 \left(\frac{10t}{I} \right)^a \quad \text{siendo}$$

e = evapotranspiración potencial

t = temperatura media mensual

a = factor que depende de I

$$I = \text{índice calórico anual}; \quad I = \sum_{j=1}^{12} ij$$

ij = índice calórico mensual;

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1.514}$$

Los valores de evapotranspiración así calculados tienen que ser corregidos en base a las horas de luz solar y la latitud del lugar. Los factores de corrección mensual son los siguientes:

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
FACTOR	0.98	0.91	1.03	1.04	1.10	1.07	1.11	1.08	1.02	1.01	0.97	0.96

Los resultados del cálculo están escritos a continuación:
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL CORREGIDA (en mm)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
1973	--	---	---	---	124	107	120	108	97	89	95	77	---
1974	96	79	102	118	120	104	116	110	90	97	93	88	1213
1975	95	78	100	116	125	117	111	109	90	93	87	79	1200
1976	88	81	98	114									
Pro-													
medio	93	79	100	115	123	109	116	109	92	93	92	81	1203

b.2 Evapotranspiración potencial por Penman

En vista de que la fórmula original de Penman requiere datos de radiación que no se disponen en Hacienda Astoria, se usará para el cálculo de la evapotranspiración de Penman una fórmula modificada 3/ que utiliza las siguientes relaciones:

$$a = 0.02 (1-h) (2 + v) (80 + t) \text{ mm/día}$$

$$v = 0.4 R (0.33 + d/D) \text{ mm/día}$$

$$c = d/D (6 - h.t/5) \text{ mm/día}$$

$$d = 1 + 8.34/t$$

donde

h = humedad relativa media mensual en %

v = velocidad del viento medio mensual en m/s

t = temperatura media mensual en °C

d = duración real de la luz solar en hrs/día

D = Duración teórica de la luz solar en hrs/día

R = radiación de luz solar en mm/día.

D y R se obtienen del gráfico "Variación anual de la Radiación Solar" que aparece en el estudio 3/ mencionado.

Para d se supusieron iguales a los valores de Santa Cruz Porri-
llo.

3/ Ver "Un método para la determinación de la Evapotranspiración" por el Ing. Carlos Manuel Arita.

La evapotranspiración potencial es $E_{Tp} = \frac{a + b - c}{d}$ (mm/día)

Los valores promedio mensuales de Evapotranspiración potencial según Penman están dados en el siguiente cuadro

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL DIARIA (mm/dfa)	4.632	5.300	5.440	5.567	4.978	4.303	4.824	4.640	3.986	3.960	4.544	4.622	4.675
EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL MENSUAL (mm)	144	148	169	160	154	129	150	144	120	119	124	134	1695

b.3 Comparación de las Evaporaciones calculadas

Con el fin de comparar gráficamente la evaporación mensual obtenida por tanque, Thornthwaite y Penman, se obtuvo el Gráfico N° 6 por el que nos damos cuenta que la evaporación de Penman es la que más se asemeja a la evaporación tanque. Thornthwaite subestima la evaporación y, como sólo depende de la temperatura, tiene su máximo valor en los meses de máximo calentamiento durante el año o sea Abril y Mayo.

3.5 Viento: Velocidad y Rumbo dominante

Los registros del anemógrafo instalado en Hacienda Astoria desde Enero de 1970, dan cuenta que en esta zona los vientos durante el curso del día suelen demostrar mayor fuerza después del mediodía entre las 12 y las 15 horas cuando actúa la Brisa Marina y su fuerza mínima en la noche entre las 20 y 21 horas y entre las 6 y 8 horas debido a que con la salida del sol se desarrollan los sistemas locales de viento pendiente abajo desde montañas cercanas. La distribución horaria del viento en Km/h en Astoria, a través del año, es mostrada en el Gráfico N° 7.

Durante el curso del año, los meses en que el viento sopla con más fuerza en promedio en Astoria son los de la estación seca y principios de la estación lluviosa (Noviembre-Mayo); los de menor velocidad, los meses de lluvia (Junio-Octubre).

Los promedios mensuales de la velocidad del viento en Km/h en Astoria, están dados en la siguiente tabla:

VELOCIDAD MEDIA (Km/hora)													
ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO	
8.7	10.0	9.4	9.7	8.3	7.3	7.2	6.5	6.2	6.0	7.0	8.4	7.9	

Los valores mensuales de la velocidad máxima absoluta del viento en m/s para el período de registro son los siguientes

VELOCIDAD MAXIMA ABSOLUTA (m/s)

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
20.4	19.0	18.0	20.0	22.8	23.8	26.7	21.6	21.0	17.9	18.8	16.0	26.7

En el cuadro anterior se notan los efectos de los temporales, chubascos, aguaceros y tormentas eléctricas en la producción de ráfagas durante la estación lluviosa.

Los rumbos dominantes del viento manifiestan en el curso del día la variación mostrada en el Gráfico Nº 8 notándose lo siguiente:

entre las 20 y 24 horas

y las 00 y 09 horas: Alrededor del Norte con el desarrollo de sistemas locales de viento desde montañas cercanas.

en la tarde,

Alrededor del Sur, brisa marina.

entre las 10 y 16 horas: Variable de N a S

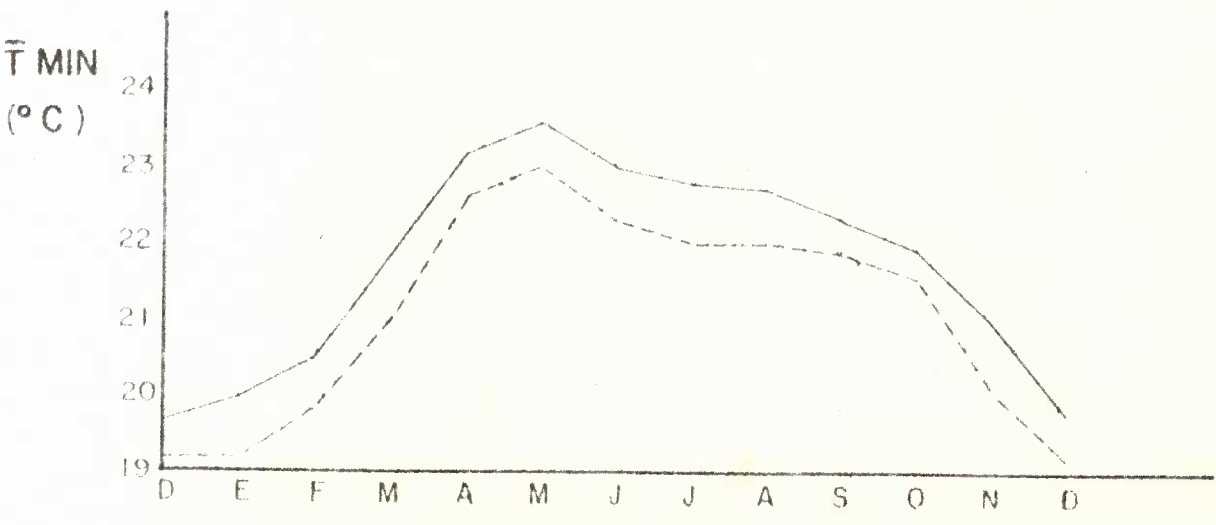
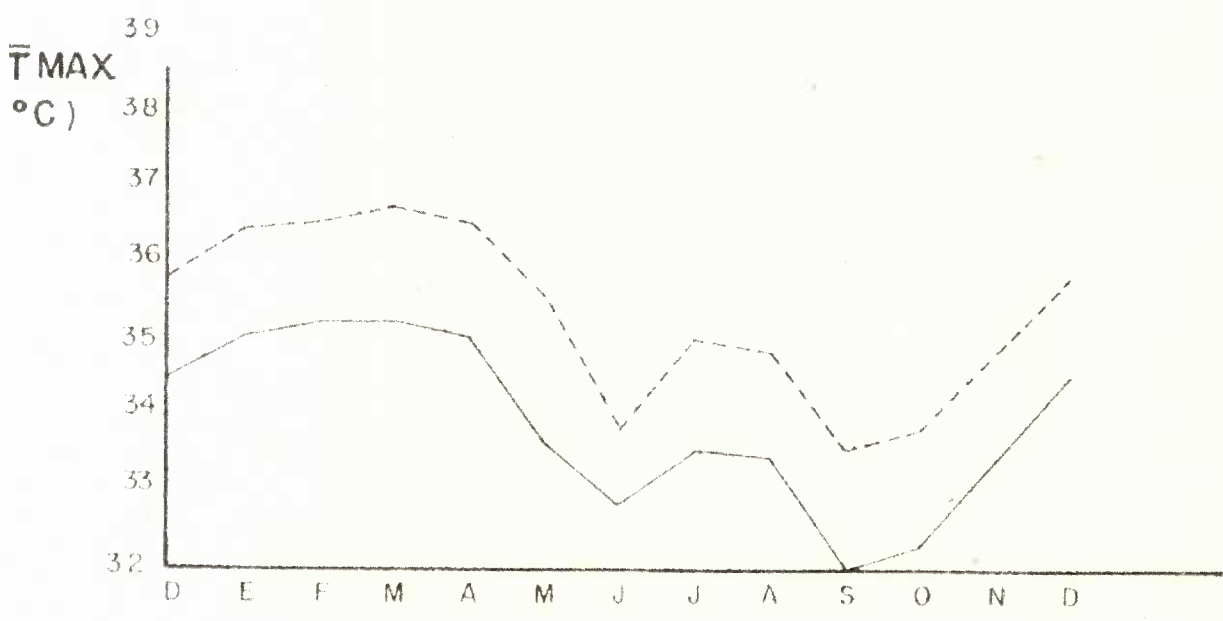
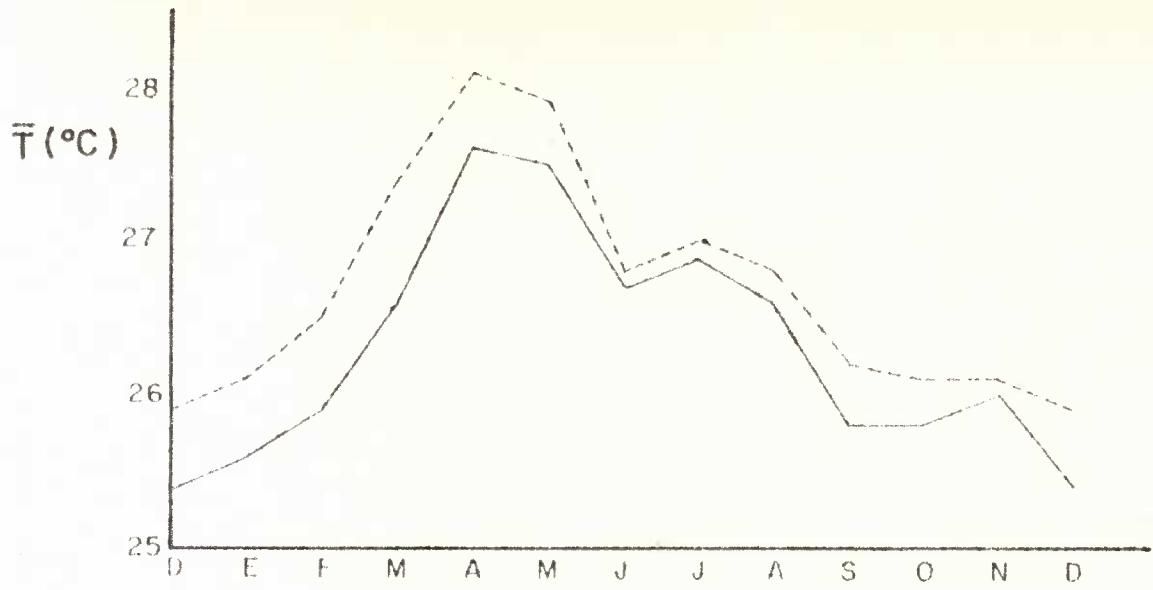
entre las 18 y 20 horas: Variable de S a N

Durante el curso del año el rumbo dominante es del Norte como lo muestran los valores mensuales del rumbo dominante del viento consignados a continuación:

RUMBO DOMINANTE

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(S)	(SW)	(SW)	(SW)	(S)

Los datos en paréntesis son los rumbos que prevalecen después del rumbo N.



— HDA. ASTORIA (ELEVACION 40MTS, DISTANCIA DEL MAR 8KMS)
 - - - STA. CRUZ PORRILLO (ELEVACION 30 MTS. DISTANCIA DEL MAR 18KMS)

GRAFICO N°1

COMPARACION DE LA MARCHA ANUAL DE LA PRECIPITACION
NORMAL ENTRE HACIENDA ASTORIA Y FCA. EL VERDE.

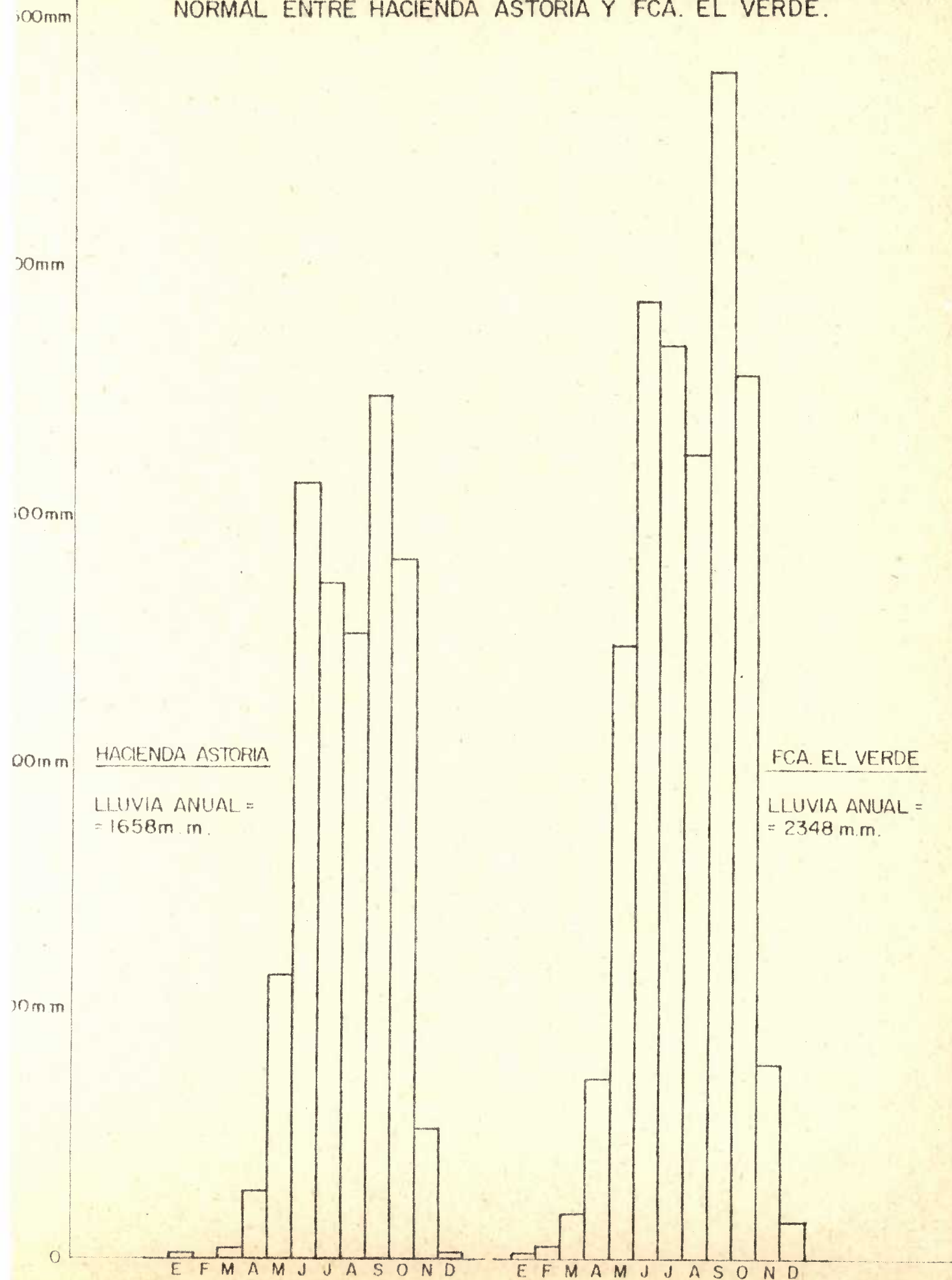
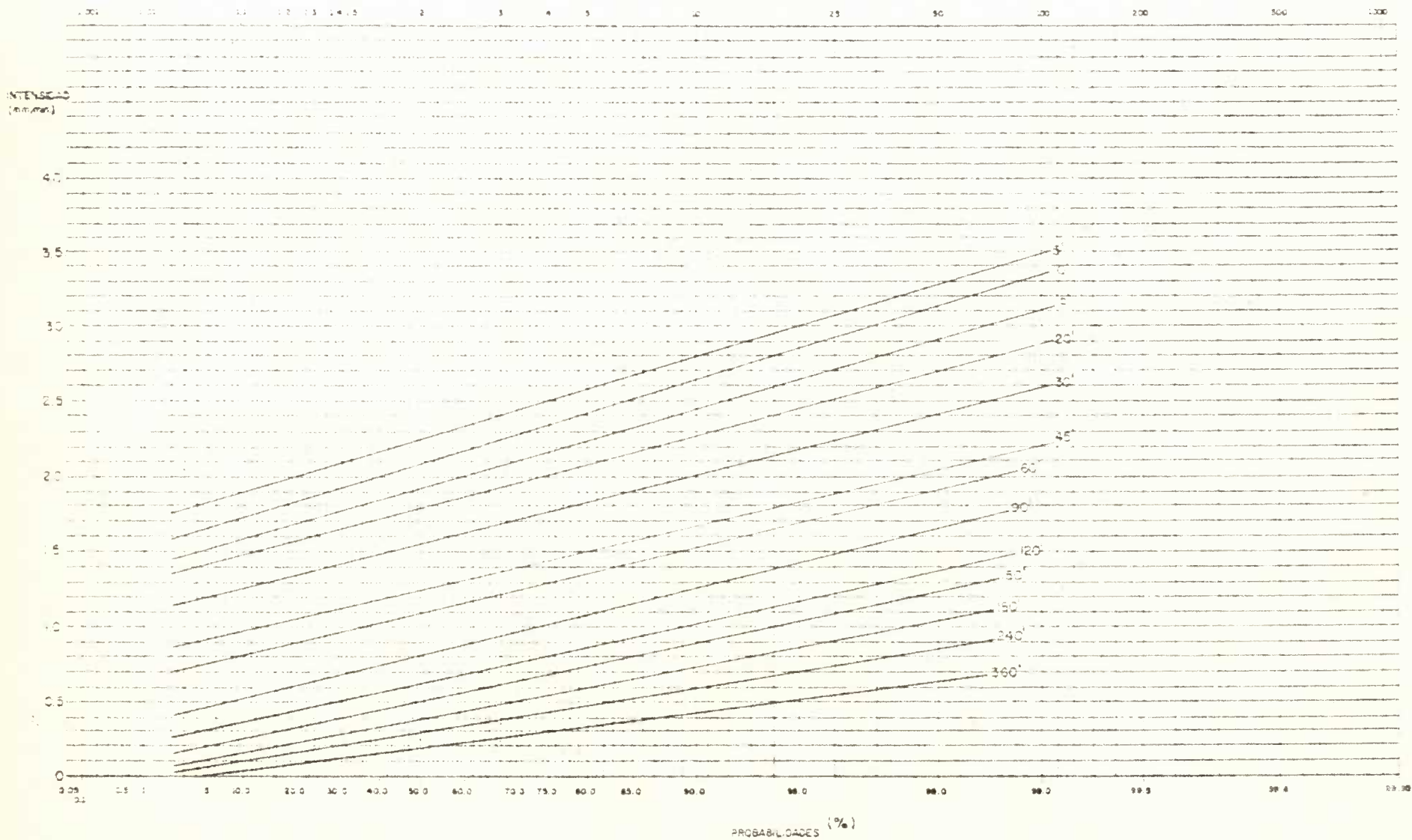


GRAFICO Nº 3
HACIENDA ASTORIA
PERIODO DE RETORNO EN AÑOS DE INTENSIDADES MAXIMAS
ANUALES DE LLUVIA



HACIENDA ASTORIA
CURVAS INTENSIDAD - DURACION Y FRECUENCIA

INTENSIDAD
(mm/min)

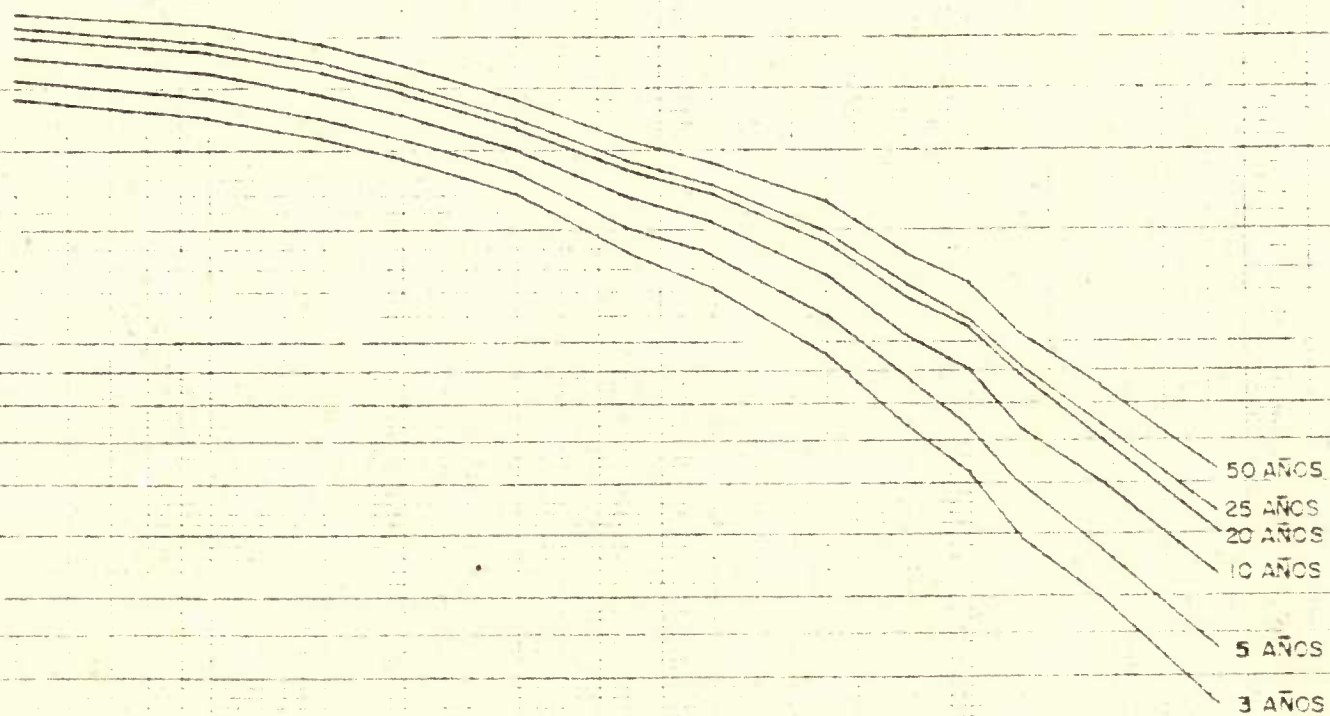


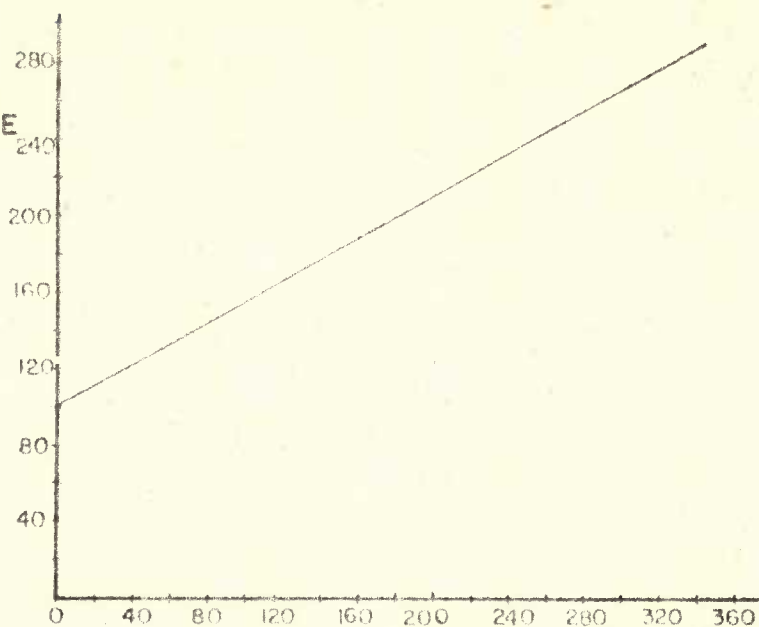
GRAFICO Nº 4

DURACION (MINUTOS)

HACIENDA ASTORIA

$$Y = 102.0 + 0.547X$$

EVAPORACION TANQUE
(en m.m)



EVAPORACION PICHE A LA SOMBRA

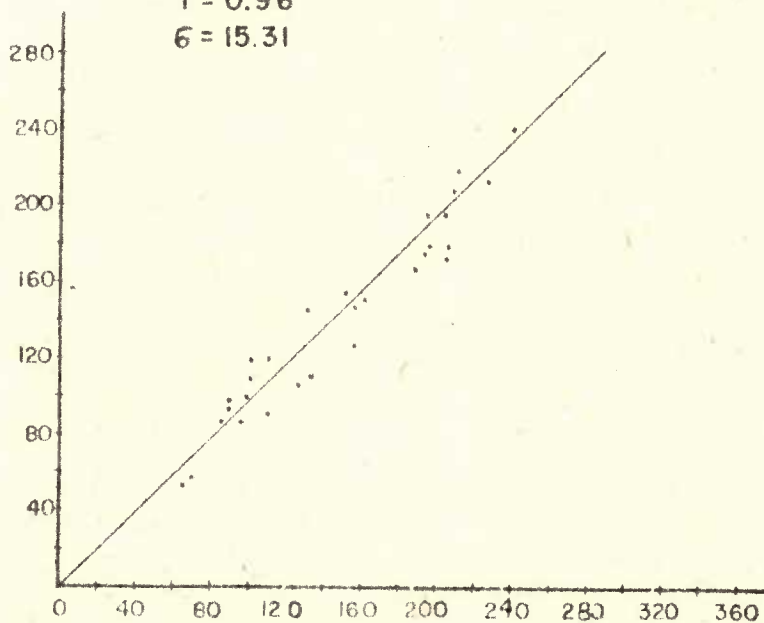
EVAPORACION PICHE A LA SOMBRA

$$Y = 0.943$$

$$r = 0.96$$

$$G = 15.31$$

STA. CRUZ PORRILLO



HACIENDA ASTORIA

E
(m.m.)

300

COMPARACION ENTRE LOS DISTINTOS TIPOS DE EVAPORACION EN HACIENDA ASTORIA

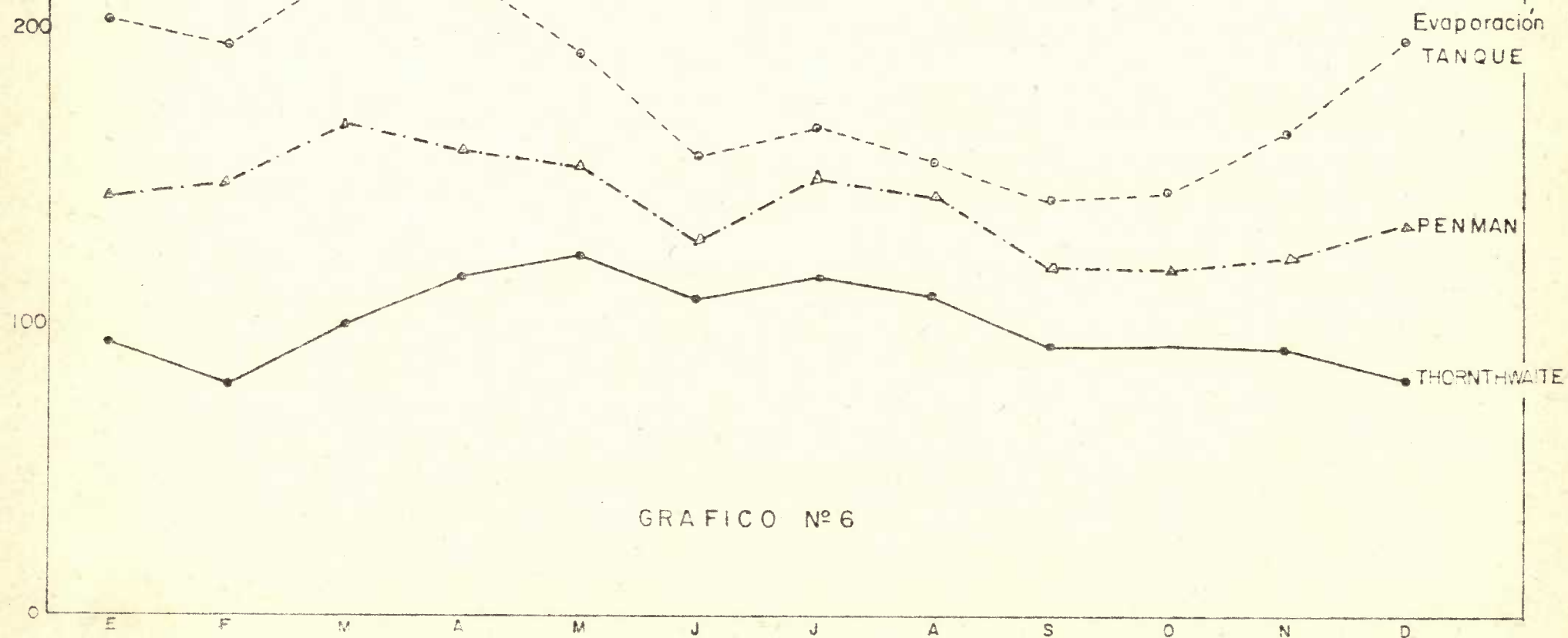
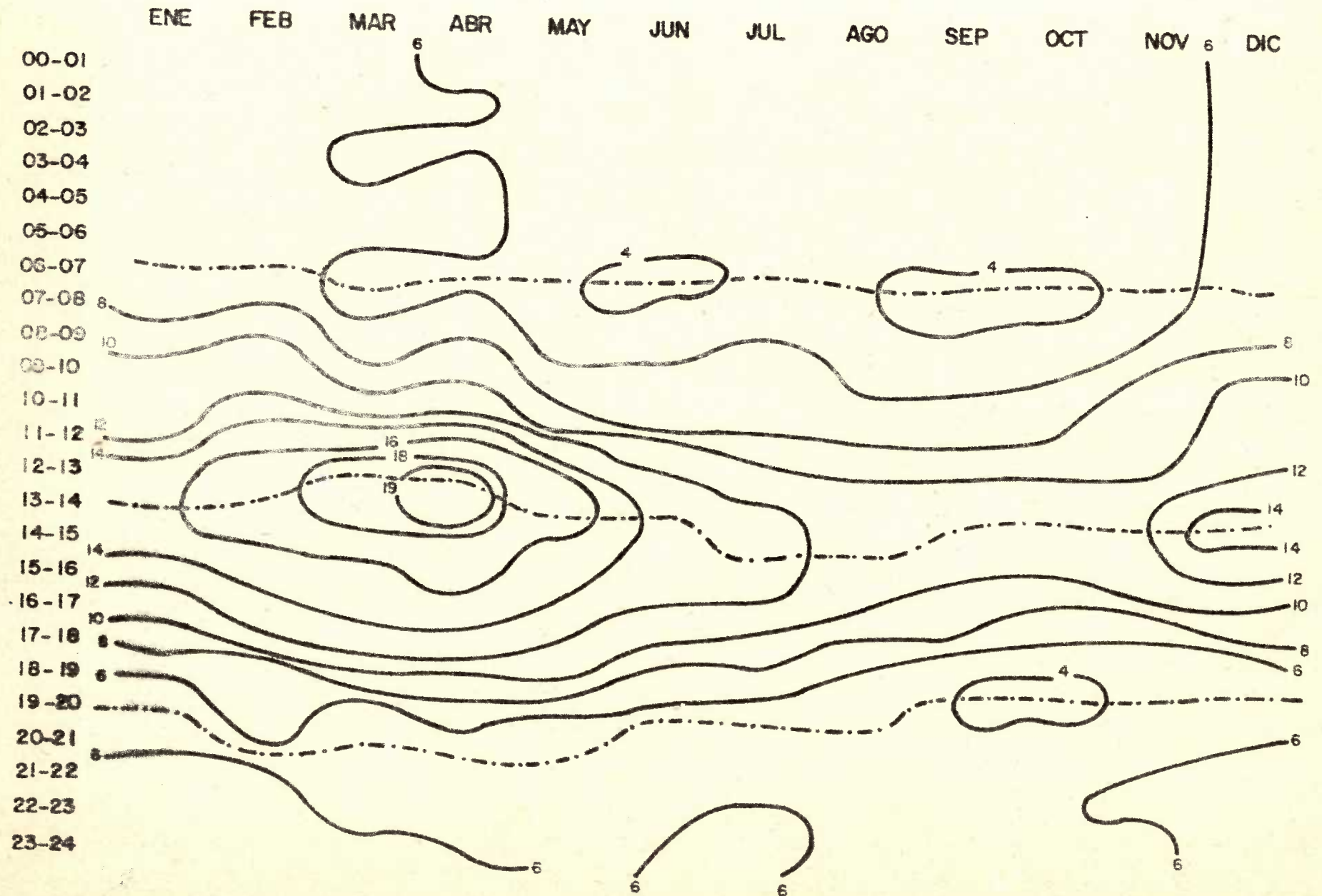


GRAFICO Nº 6

HACIENDA ASTORIA

PROMEDIOS HORARIOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO (KM/H)



VARIACION HORARIA DEL RUMBO DOMINANTE DEL VIENTO

HACIENDA ASTORIA

