

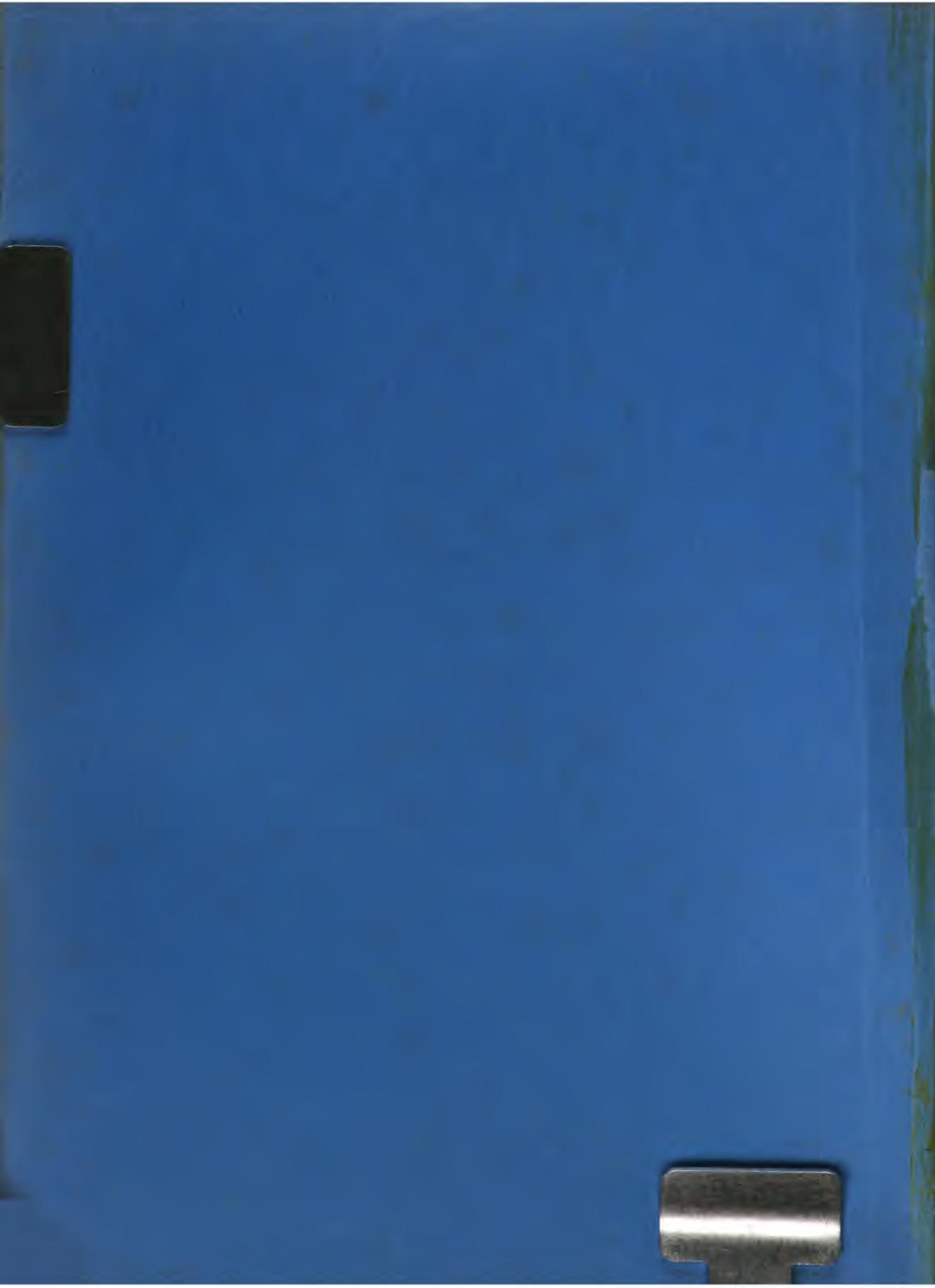


Contribución al conocimiento de la dinámica del clima de la Isla de Santo Domingo

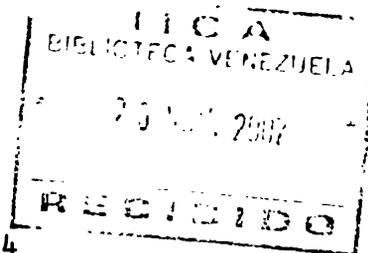
MARCELO JORGE



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica
1970



INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS DE LA OEA
Centro de Enseñanza e Investigación
Turrialba, Costa Rica



Publicación Miscelánea No. 64

CONTRIBUCION AL CONOCIMIENTO DE LA DINAMICA DEL
CLIMA DE LA ISLA DE SANTO DOMINGO

Por

Marcelo Jorge Pérez

Febrero, 1970

~~000000~~

00000219

El Ing. Marcelo Jorge Pérez, Estudiante Graduado del Departamento de Desarrollo Rural, recibió para este estudio la colaboración de los Drs. G. Páez, H. Trojer, W. Forsythe y de los Ings. F. Maldonado y E. Camacho, todos Profesores de la Escuela para Graduados del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. localizada en Turrialba, Costa Rica.

Esta publicación es la tesis de grado presentada por el autor como requisito parcial para obtener el grado de Magister Scientiae en octubre de - 1969.

Esta publicación ha sido preparada conforme a los términos del contrato firmado entre el Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la O.E.A. (IICA) y la Agencia para el Desarrollo Internacional del Gobierno de los Estados Unidos de Norteamérica.

El IICA tiene su Dirección General en San José, Costa Rica y las Direcciones Regionales para la Zona Andina, Norte y Sur, con sede respectivamente en Lima, Ciudad de Guatemala y Montevideo.



CONTENIDO

	<u>Página</u>
1. INTRODUCCION	1
1.1. El problema	1
1.2. Objetivos	2
2. REVISION DE LITERATURA	4
2.1. Estudios del macrotiempo	4
2.1.1. Definiciones	5
2.1.2. División de los estados del macrotiempo	6
2.1.3. Estudios dinámicos del macrotiempo	6
2.1.4. Características básicas de los estados del macrotiempo	10
2.2. Los elementos meteorológicos	11
2.2.1. Descripción de los elementos meteorológicos ...	11
2.2.1.1. La precipitación	12
2.2.1.2. La temperatura	13
2.2.1.3. La evapotranspiración y el balance hidrológico.	14
2.2.1.4. Zonificaciones climáticas	15
2.2.2. La descripción global del clima regional	15
2.2.2.1. Necesidad de un modelo físico	17
2.2.2.2. Manifestación de las circulaciones locales	18
2.2.2.3. Descripción de la circulación tierra-mar	18
2.2.2.4. Las circulaciones valle-montaña	21
2.2.2.5. Los patrones de precipitación asociados a las circulaciones locales y sus modificaciones por el macrotiempo	22
2.2.2.6. Interpretación de los fenómenos meteorológicos.	25
2.3. Los patrones de precipitación de huracanes	26
2.4. Estudio de la estructura de las series de precipitación	29
3. MATERIALES Y METODOS	33
3.1. Estudio del macrotiempo	33
3.1.1. La dirección del flujo	33
3.1.2. Dificultades en el uso de los mapas sinópticos.	35
3.1.3. Definición de situaciones ciclónicas y anticiclónicas	35
3.1.4. Compilación y análisis	36
3.2. Elementos meteorológicos	38
3.2.1. Base cartográfica	39
3.2.1.1. Breve descripción orográfica de la Isla	39
3.2.2. Estudio de la temperatura	40

3.2.3.	Estudio de la presión	44
3.2.4.	Estudio de la precipitación	44
3.2.4.1.	Mapa de precipitación anual	45
3.2.4.2.	Mapas de precipitación en porcentaje para cada mes	45
3.2.5.	Clasificación y zonificación climática	46
3.2.6.	Otros elementos	48
3.2.6.1.	Humedad relativa	49
3.2.6.2.	Déficit de saturación	50
3.2.6.3.	Evaporación	50
3.2.6.4.	Estudio de la radiación	51
3.2.6.4.1	Estimación de la radiación global	53
3.2.6.4.2	Estimación de la radiación global efectiva	54
3.2.6.4.3	Estimación de la radiación terrestre resultante	54
3.2.6.5.	Brillo solar	54
3.2.7.	Balance hidrológico y calorífico	55
3.2.7.1.	Procedimiento estadístico	59
3.2.7.2.	Balance hidrológico a partir del balance calorífico	61
3.3.	Patrones de precipitación de huracanes	62
3.4.	Estudio de la estructura de las series de precipitación	64
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	68
4.1.	Macro tiempo	68
4.1.1.	Masas de aire actuantes para la Isla de Santo Domingo	69
4.1.2.	Frentes en los trópicos	69
4.1.3.	Situaciones típicas correspondientes a los meses de diciembre, enero y febrero	71
4.1.4.	Situaciones típicas correspondientes a los meses de abril y mayo	72
4.1.5.	Situaciones típicas correspondientes al paso del sistema intertropical	73
4.1.6.	Diferenciación regional	75
4.2.	Elementos meteorológicos	75
4.2.1.	Estudio de la temperatura	76
4.2.1.1.	Temperatura media	78
4.2.1.2.	Gradientes de la temperatura máxima	80
4.2.1.3.	Gradientes de la temperatura mínima	82
4.2.1.4.	Variación mensual y anual de la temperatura	84
4.2.2.	Estudio de la presión	84
4.2.3.	Estudio de la precipitación	85
4.2.3.1.	Transcurso estacional de la precipitación y del tiempo reinante	87

4.2.3.2.	Zonas de análogo transcurso del tiempo reinante en la isla de Santo Domingo	100
4.2.3.3.	Reacción de la vegetación	115
4.2.3.4.	Descripción del clima local	116
4.2.4.	Correlaciones entre elementos meteorológicos ..	118
4.2.4.1.	Evaporación y déficit de saturación	118
4.2.4.2.	Brillo solar y precipitación relativa	120
4.2.5.	Componentes de la radiación	120
4.2.6.	Estudio del balance hidrológico	122
4.2.6.2.	Cálculo del balance hídrico. Comparación de los índices de Budyko y Trojer	125
4.3.	Patrones de precipitación de huracanes	126
4.3.1.	Las precipitaciones del huracán Flora	126
4.4.	Estudio de la estructura de las series de precipitación	130
4.4.1.	La serie de Fourier como modelo de ajuste de las series de precipitación	130
4.4.2.	Estructura de las series	132
5.	CONCLUSIONES	138
6a.	RESUMEN	140
6b.	SUMMARY	145
6c.	RESUME	150
7.	LITERATURA CITADA	155
8.	APENDICE	162



INDICE DE CUADROS

<u>Cuadro No.</u>		<u>Página</u>
1.	Características básicas de los estados del macro-tiempo	10
2.	Mapas de precipitación de la República Dominicana y Haití	12
3.	Estudios de evapotranspiración para la República Dominicana y Haití	14
4.	Estudios sobre la zonificación climática de la isla de Santo Domingo	15
5.	Datos horarios para la estación de Santo Domingo.	19
6.	Patrón tabular para la condensación de informaciones del estudio del macro-tiempo	37
7.	Fuentes de información de los datos	45
8.	Estaciones que suministraron datos de evaporación	51
9.	Estaciones utilizadas para el estudio de evapotranspiración y período de datos	57
10.	Amplitud de $\frac{P}{B}$ y tiempo reinante	62
11.	Huracanes y tempestades tropicales estudiados en el área de la isla de Santo Domingo	63
12.	Frecuencias relativas de las situaciones del macro-tiempo sobre la isla de Santo Domingo durante el año 1960	68
13.	Secuencia de situaciones correspondientes al predominio del sistema subtropical norte	72
14.	Secuencia de las situaciones correspondientes al paso de la ITC sobre la isla de Santo Domingo ...	74
15.	Influencia de los tipos de tiempo en la evaporación diaria	118
16.	Componentes de la radiación para la estación de Santo Domingo	122
17.	Balance hidrológico para la estación de Santo Domingo según Budyko y coeficiente P/B de Trojer ..	125

Cuadro No.

Página

18.	Espectro de dispersión de la precipitación en Puerto Plata	132
19.	Espectro de dispersión de la precipitación en Santo Domingo	135

INDICE DE FIGURAS

<u>Figura No.</u>		<u>Página</u>
1.	Modelo del sistema de circulación intertropical (según H. Trojer)	9
2.	Circulación a) mar-tierra y b) tierra-mar	20
3.	Diagrama de la variación diaria de la dirección del viento en Santo Domingo a) mes de febrero b) mes de agosto	20
4.	Diagrama de la circulación a) valle-montaña y b) montaña-valle	23
5.	Modificaciones de los patrones de precipitación por el macrotiempo a) estancamiento durante temporales, b) tiempo de transición	23
6.	Variaciones de la temperatura y gradientes térmicos durante días ciclónicos y anticiclónicos a lo largo de un perfil N-S de la isla de Santo Domingo	77
7.	Temperaturas medias mensuales y gradientes térmicos	79
8.	Temperaturas máximas (promedio mensual) y gradientes térmicos	81
9.	Temperaturas mínimas (promedio mensual) y gradientes térmicos	83
10.	Climadiagrama de la estación de Barahona	106
11.	Climadiagrama de la estación de Cap. Haitien ...	107
12.	Climadiagrama de la estación de Hinche	108
13.	Climadiagrama de la estación de Moca	109
14.	Climadiagrama de la estación de Petite Riviere de L'Artibonite	110
15.	Climadiagrama de la estación de Port-au-Prince .	111
16.	Climadiagrama de la estación de Puerto Plata ...	112
17.	Climadiagrama de la estación de Sabana de la Mar	113

Figura No.

Página

18.	Climadiagrama de la estación de Santo Domingo.....	114
19.	Curvas de correlación entre la evaporación medida en tanque y el déficit de saturación del aire	119
20.	Relación entre el índice P/B y la precipitación relativa (P%) para la estación de Santo Domingo (valores mensuales)	121
21.	Curvas de correlación entre la evaporación mensual medida en tanque y la evapotranspiración potencial (Santo Domingo)	123
22.	Curvas de correlación entre la evaporación mensual medida en tanque y la evapotranspiración potencial (Moca)	124
23.	Precipitación esperada durante el mes de febrero en Puerto Plata, ajustada según la serie de Fou - rier	131
24.	Espectros de dispersión de las series de precipitación de Puerto Plata (1918-1967)	134
25.	Espectros de dispersión de las series de precipitación de Santo Domingo (1918-1967)	137

INDICE DE MAPAS

<u>Mapa No.</u>		<u>Página</u>
1.	Localización	34
2.	Mapa general de Haití y la República Dominicana	41
3.	Precipitación anual en milímetros	86
4.	Precipitación en porcentos de la media anual: Enero.	89
5.	Precipitación en porcentos de la media anual: Febrero	90
6.	Precipitación en porcentos de la media anual: Marzo..	92
7.	Precipitación en porcentos de la media anual: Abril..	93
8.	Precipitación en porcentos de la media anual: Mayo...	94
9.	Precipitación en porcentos de la media anual: Junio..	95
10.	Precipitación en porcentos de la media anual: Julio..	97
11.	Precipitación en porcentos de la media anual: Agosto.	98
12.	Precipitación en porcentos de la media anual: Sept. .	99
13.	Precipitación en porcentos de la media anual: Octubre	101
14.	Precipitación en porcentos de la media anual: Nov. ..	102
15.	Precipitación en porcentos de la media anual: Dic. ..	103
16.	Tipos de transcurros pluviales relativos	104
17.	Precipitación en mm durante el huracán Flora 2 de Octu bre, 1963	127
18.	Precipitación en mm durante el huracán Flora 3 de Octu bre, 1963	129



PREFACIO

El avance científico y tecnológico en todas las ramas del saber humano ha alcanzado proporciones de incalculable magnitud, especialmente en las dos últimas décadas. El hombre ha confinado gran parte de sus esfuerzos físicos y mentales a la conquista del medio que le rodea. Sin embargo, a pesar del gigantesco e imponderable esfuerzo desplegado, todavía subsisten numerosos factores naturales susceptibles de poco o ningún control. Estos factores incluyen los fenómenos meteorológicos que inciden en forma permanente sobre el campo de operaciones del hombre. De ahí la imperiosa necesidad de llevar a cabo estudios más detallados de dichos factores con miras a un mejor aprovechamiento de los mismos.

Los componentes del fenómeno meteorológico exhiben marcado dinamismo tanto en el espacio como en el tiempo. Estas dos características predominantes del evento sugirieron la pauta a seguir en la presente investigación, la cual trata del estudio de la dinámica del clima de la Isla de Santo Domingo (República Dominicana y Haití). Dos aspectos fundamentales caracterizan al estudio: una metodología sencilla para un análisis detallado de los componentes climáticos y una técnica de interpretación al nivel de conocimiento general.

Gilberto Páez B.
Profesor Asociado ,
Centro de Enseñanza e Investigación
IICA, Turrialba



1. INTRODUCCION

El aprovechamiento racional de los recursos de aguas y tierras exige el conocimiento de los procesos involucrados en la transformación del agua en la naturaleza y en la producción de materia vegetal. La relación de los fenómenos atmosféricos con dichos procesos exige asimismo, el conocimiento del predominio y desarrollo del conjunto de manifestaciones atmosféricas sobre un área determinada, ó clima regional, como paso previo a toda operación de inventario, aprovechamiento y manejo de estos recursos.

1.1. El problema

Como consecuencia de las características climáticas de la isla de Santo Domingo, el agua constituye uno de los recursos más escasos del medio, siendo la agricultura bajo riego sumamente importante en la actividad económica. Los grandes planes de desarrollo descansan en la intensificación del aprovechamiento de los recursos hídricos.

Esos hechos conllevan obviamente la necesidad de una investigación del clima de la isla de Santo Domingo como apoyo a grandes acciones para el aprovechamiento, manejo y conservación de sus recursos de aguas y tierras.

La descripción del clima, con una rigurosa expresión geográfica y secuencial, así como el estudio más detallado de los elementos meteorológicos involucrados en el ciclo hidrológico, ha de aportar las bases que permitan planear el manejo, en forma integrada, de los sistemas hidráulicos y de producción agrícola bajo riego y la utilización de las precipitaciones de huracanes para sólo mencionar unos pocos ejemplos.

Las exigencias de una expresión cuantitativa de los resultados de la

investigación del clima y las debilidades inherentes de la escasa información meteorológica disponible, exigen un enfoque serio al problema. Los escasos datos deben ser acoplados a modelos teóricos que permitan su generalización y extrapolación al espacio tridimensional de acuerdo con las leyes de la física de la atmósfera. Para ello habrá que reconocer los sistemas de perturbación a gran escala, que rigen el desarrollo del tiempo sobre la isla de Santo Domingo, así como los procesos tridimensionales a menor escala en las capas bajas de la atmósfera debidos a la diferente transformación de la radiación y al relieve. Finalmente el conocimiento genético del conjunto de elementos meteorológicos deberá permitir una descripción global del clima de acuerdo con los postulados de la Climatología Dinámica.

Asimismo, el conocimiento dinámico de los elementos meteorológicos que intervienen en el ciclo hidrológico: precipitación y evaporación obliga a plantear su estudio secuencial y geográfico, que alcanza su forma sintética en la ecuación del balance hídrico.

Por limitaciones de diversa índole, esta investigación no pretende ser espacialmente exhaustiva. En consecuencia tratará selectivamente aquellos aspectos que considera más importantes para alcanzar las metas generales señaladas anteriormente.

1.2. Objetivos

Los objetivos de esta investigación son los siguientes:

- 1) estudiar los estados del macrotiempo, su frecuencia y secuencia, y reconocer los sistemas de perturbación que se manifiestan sobre la isla de Santo Domingo.

- 2) estudiar la diferenciación regional y temporal del conjunto de elementos meteorológicos básicos para una descripción global del clima regional y una expresión cartográfica sintética.
- 3) esbozar algunos patrones de precipitación asociados al paso de huracanes.
- 4) determinar la estructura de las series de precipitación.

2. REVISION DE LITERATURA

Al igual que de otros aspectos del medio ambiente, se han realizado bastantes estudios del clima de la isla de Santo Domingo, que pueden agruparse en a) de carácter general, cubriendo todo el país; y b) estudios de carácter local, asociados a proyectos específicos. Sin embargo, estos estudios, ó son de carácter estadístico superficial, considerando solamente el promedio y la frecuencia e ignorando la sucesión de los estados del tiempo, ó son de carácter gráfico, empleando técnicas de interpolación que no toman en cuenta los marcados rasgos orográficos de la isla.

2.1. Estudios del macrotiempo

En contraste con la Climatología clásica o estática, que se ocupa del estudio del promedio de las situaciones atmosféricas, la Climatología dinámica trata del desarrollo de dichos estados (12). Como ejemplo de una descripción climatológica clásica se puede citar el capítulo sobre la variación estacional del tiempo atmosférico en el trabajo del SMN (58), en el cual se hace uso de mapas de isobaras medias mensuales para la descripción del flujo general y la ulterior interpretación del clima; así, la presencia de la célula de alta presión sobre el Atlántico Norte, conduce a una descripción del clima basada en el dominio absoluto de los vientos del este. Sin embargo, se reconoce que esta interpretación no explica la gran complejidad de los patrones de precipitación anual y mensual, mencionada en casi todos los estudios (1,66,41).

Alpert, citado por Wood (93) reconoce los centros de acción anticicl^onicos sobre E.U., el Golfo de México y el Atlántico Norte, durante el invierno, y su traslocación estacional evidenciada por las variaciones de presión, pero no considera la existencia de sistemas tropicales, y atribuye las notables precipitaciones de abril, mayo, junio y julio a efectos

de convección (1).

Para este último autor, los principales controles climáticos de la isla de Santo Domingo están más estrechamente relacionados a los aspectos generales de la circulación atmosférica que a las condiciones locales, y para justificar su tesis cita unos vientos alisios con dirección SE, en franca contradicción con la teoría clásica que los supone con dirección NE permanente.

En un estudio más reciente llevado a cabo por SOGREAH (66) se concluye que el régimen de lluvias en el Caribe se encuentra determinado por una regularidad debida al desplazamiento del frente intertropical al ritmo solar. Sin embargo, a pesar de que los autores admiten la existencia de un sistema de circulación intertropical, la información no es correcta ya que se sabe que para la época de iniciación de las lluvias en Santo Domingo (abril-mayo), el sistema intertropical está activo en los 5°N y no en los 18°N (34).

Cómo se demostró en el caso de Colombia en 1954 (70), las conocidas descripciones del clima de la isla de Santo Domingo deben encuadrarse en un sistema general basado en los principios físicos de la Meteorología, que explique las causas y efectos, y en especial aquellas manifestaciones llamadas anómalas ó complejas, y que en su descripción de desarrollo del tiempo llene las exigencias de la Climatología Dinámica.

2.1.1. Definiciones

De acuerdo con los postulados de la Climatología Dinámica, que resultaron de la aplicación de los métodos meteorológicos de la escuela noruega a la Climatología, se distinguen los siguientes conceptos en el proceso del desarrollo del tiempo, definidos por Trojer (70) de la manera si-

guiente:

- a. tiempo local. Estado de la atmósfera y sus características sucesivas durante un lapso que puede variar desde algunas horas hasta un día.
- b. tiempo reinante. Manifestación del conjunto de tiempos locales a través de algunos días. Tanto el tiempo local como el tiempo reinante se limitan por lo general a una región determinada.
- c. el macrotiempo ó tiempo general. Conjunto de manifestaciones del tiempo reinante unidas entre sí por su desarrollo como consecuencia del desplazamiento de los centros de acción respectivos.
- d. clima. Manifestación del conjunto de tiempos posibles, su distribución a través del año, estación o período, su frecuencia y secuencia de aparición (91), ó simplemente el clima es el resultado del predominio de situaciones típicas de la atmósfera, a cada una de las cuales corresponden valores típicos del conjunto de elementos meteorológicos (precipitación, temperatura, radiación, etc.).

2.1.2. División de los estados del macrotiempo

Los tipos principales de estados del macrotiempo se pueden dividir en ciclónicos y anticiclónicos. Los macrotiempos ciclónicos están caracterizados por la influencia advectiva en tanto que los macrotiempos anticiclónicos dependen más de las influencias y diferencias locales (70). Los estados de macrotiempo ciclónicos y anticiclónicos es conveniente subdividirlos en situaciones (69): NW(W-NW-N), S(S-SW), NE(E-NE) y SE.

2.1.3. Estudios dinámicos del macrotiempo

Los trabajos de Trojer sobre los estados del macrotiempo en la región

de los Alpes (69) y de Fassig, citado por Conrad (12) sobre el Clima de Baltimore, mediante el estudio de la frecuencia y secuencia de las situaciones del macrotiempo y la identificación de los centros de acción, son muestras de la aplicación de los conceptos de la Climatología Dinámica en la zona de las latitudes medias; pero su empleo en el trópico montañoso americano necesitó una ampliación de los mismos. Dando el paso correcto de la Meteorología a la Climatología, Trojer (70) utilizó los datos de ascensiones por radiosonda en Barranquilla entre 1948 y 1949 para estudiar las condiciones y características de los vientos en las capas bajas de la atmósfera, lo cual unido a sus estudios sobre el transcurso y el ciclo diario del tiempo, le permitió introducir el concepto de sistemas frontales en los trópicos, cuyas características principales serían: convergencia y manifestaciones de la forma y desarrollo de la nubosidad y lo que constituye un postulado fundamental para la Climatología del Trópico Montañoso:

"Los factores básicos que determinan las condiciones climáticas ó el predominio del tiempo reinante en cada lugar y en cada momento son:

- 1) La distribución general del macrotiempo, de acuerdo con la posición del sistema de circulación intertropical, el cual determina la dirección y velocidad horizontal de las masas de aire con sus estructuras verticales especiales y también los efectos aerodinámicos; además se manifiestan los efectos orográficos, los cuales varían según las direcciones mutuas entre la corriente general y las cordilleras.
- 2) Los efectos locales causados por las circulaciones locales, los cuales se desarrollan gradualmente durante todo el año variando su intensidad con el carácter del macrotiempo (71)."

O sea, que debido al carácter débil de los sistemas frontales no se puede separar la influencia de las circulaciones locales sobre el flujo del macrotiempo en las capas bajas de la atmósfera; por lo tanto el tiempo reinante de una región determinada es el resultado del macrotiempo y sus modificaciones por los efectos locales*

Los estudios del macrotiempo además de permitir una descripción global del clima en cuanto al predominio de tipos de tiempo con características definidas para el conjunto de elementos meteorológicos, podrían ser una ayuda importante en el esclarecimiento de la estructura del sistema de circulación en los trópicos, en la misma forma en que la escuela noruega comprobó las teorías sobre la ciclogénesis y el frente polar.

Haciendo una modificación al procedimiento que usó en Austria, debido a la falta de mapas sinópticos al sur del Trópico de Cáncer, Trojer utilizó el transcurso relativo de la precipitación en sus estudios del macrotiempo, los cuales le han permitido señalar la existencia de otros sistema de perturbación (además de los conocidos y representados en los mapas sinópticos: frente polar y ártico), que se movilizan simultáneamente con el transcurso estacional del sol (29), así como proponer un nuevo modelo de circulación intertropical (fig.1) (73).

Los sistemas identificados por Trojer, cuya existencia e influencia en la isla de Santo Domingo, comprobará o nó este estudio, son los siguientes:

- a. el sistema de la ITC (sistema intertropical) que oscila alrededor del ecuador climático (5°N), cruzándolo entre abril y mayo en su

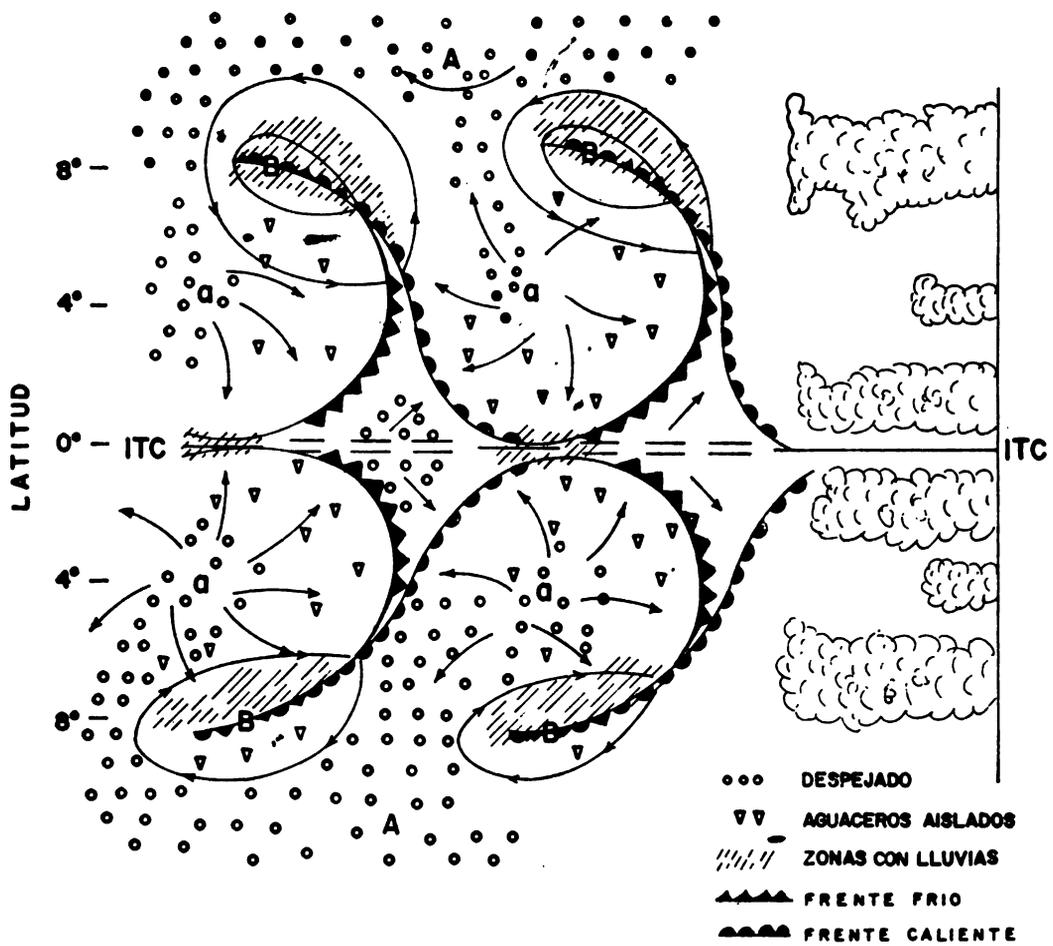


FIG. I.- MODELO DE LA CIRCULACION INTERTROPICAL.- (Según H. Trojer)

desplazamiento septentrional, y en octubre-noviembre en su regreso hacia el sur.

- b. el sistema STN (subtropical norte), localizado durante las mismas épocas alrededor de los 18°N.
- c. el sistema TF (sistema tropical) que oscila alrededor de los 30°N, ó sea separado en 25° del sistema de la ITC .

También Flohn, citado por Trojer (72) identificó líneas de convergencia en los subtrópicos (NITC y SITC) distanciadas de la ITC en 20° de latitud sobre los continentes y en 10° sobre los mares.

2.1.4. Características básicas de los estados del macrotiempo

Trojer en su trabajo sobre el Tiempo Reinante en los Alpes Orientales, (69) esbozó las características para las diversas situaciones del macrotiempo, las cuales se resumen en el cuadro siguiente:

Cuadro 1. Características de los estados del macrotiempo.

Estado del tiempo	Corriente al nivel del suelo	Corriente en altura	Propiedades típicas del tiempo
Situación de alta presión	débil y poco profunda	débil	Disolución de la nubosidad
Situación del NW	NW	NW	Tiempo de chubascos con vientos racheados
Situación del S	S-SW	S-SW	Estancamiento y foehn
Situación del SE	NW y luego SE	SE	Lluvias duraderas y precipitaciones tormentosas
Situación del NE	NE	NE-E	Estancamiento con lluvia ligera

Ahora bien, al adoptar el esquema de circulación intertropical propuesto por Trojer (73), por la naturaleza sui-generis de la línea de convergencia, a lo largo de la cual, debido a la simetría de los procesos sobre los hemisferios norte y sur, se forman vórtices a ambos lados separados 6-8° de latitud (74), se hacen necesarias las siguientes consideraciones adicionales sobre las características básicas de los estados del macrotiempo:

- a) el paso de los frentes del sistema de la ITC se caracteriza no sólo por un aumento en las cantidades pluviales, sino también por la presencia de tempestades extensas (20)
- b) los flujos de aire del modelo indican que la ITC no es una franja homogénea de pluviosidad sino que está interrumpida por pequeñas zonas de divergencia.

2.2. Los elementos meteorológicos

Los métodos de la Climatología estática conducen por fuerza a la caracterización del clima de una región por los valores de los elementos meteorológicos aislados, como por ejemplo, las temperaturas medias mensuales y la anual, los promedios, desviaciones y probabilidad de la precipitación y series similares de características de otros elementos (humedad relativa, viento, evaporación, etc.) (91)

2.2.1. Descripción de los elementos meteorológicos

La mayoría, si no la totalidad de los estudios climáticos realizados en Haití, y República Dominicana, consideran los elementos meteorológicos individualmente, lo que permite revisar en forma aislada los estudios previos de cada elemento meteorológico.

2.2.1.1. La precipitación

Como el estudio de la precipitación desempeña un papel importante en la estimación del balance hídrico, la preparación de mapas de precipitación ha recibido atención preferente, tal como lo muestra el Cuadro 2, en el cual aparecen las características más importantes de los trabajos realizados:

Cuadro 2. Mapas de precipitación de la República Dominicana y Haití

Extensión	Autor	Ref. bib.	Año	Escala de publicación	Mapa anual	Mapas mens.	no. de estaciones
Isla Sto. Dgo.	Alpert	(1)	1940	1:4.000.000	1	5	162
Haití	DTP	(25)	1941	1: ,800.000	1	0	71
Haití	Alpert	(2)	1946	1:2.000.000	1	0	100
Rep. Dom.	SMN	(58)	1958	1:1.800.000	1	6	65
Rep. Dom.	SFA	(55)	1959	1: 500.000	1	0	61
Rep. Dom.	SMN	(56)	1960	1:1.800.000	1	0	38
Haití	SMN	(26)	1962	1: 500.000	1	0	52
Rep. Dom.	CIEPS	(11)	1962	1:1.000.000	1	0	61
RD Yaque Sur	SCET	(44)	1964	1: 400.000	1	0	13
Rep. Dom.	Deñó	(39)	1964	1:2.000.000	0	4	27
Rep. Dom.	Obiols	(39)	1966	1:1.000.000	1	0	72
Rep. Dom.	OEA	(41)	1967	1: 500.000	1	0	67
Haití-N.W.	FAO	(21)	1968	1: 666.666	1	0	7(?)

En general todos estos mapas son muy generales y no describen el fenómeno con el detalle necesario para los usuarios de la información, pues a pesar de que en todos ellos se reconoce la influencia del relieve de la isla sobre la distribución de la precipitación, sólo en unos pocos mapas (Alpert (1), PAU (41), SCET (44)) se ha intentado tomar en cuenta las variaciones de la precipitación y su relación con la topografía para el trazado de las isoyetas.

Como la mayoría de las estaciones están situadas en centros urbanos, y existen muy pocas a alturas mayores de 1000 msnm., se ha planteado con

demasiado énfasis el problema de la falta de información para describir los patrones de precipitación sobre las cordilleras, (SOGREAH (66)), y para explicar las causas de la precipitación en el espacio y en el tiempo (SMN (58)). En general, se da demasiada importancia a la falta de datos de unos pocos meses (66), ó se señalan pequeños errores de cálculo a través del período de observaciones (41), pero éstos apenas afectan los valores promedios y muy poco tienen que ver con la tendencia, que permanece casi inafectada a través del largo período de observaciones.

Sin embargo, desde hace mucho tiempo se ha reconocido que la República Dominicana (64), con un territorio relativamente grande, extensas cadenas de montañas y llanuras agrícolas, y con una buena red de estaciones pluviométricas, sería un campo ideal para emprender estudios modelos del balance y del potencial hidráulico, que serían de gran importancia para la economía de los países del Caribe.

2.2.1.2. La temperatura

En los trópicos escasamente se utilizan e interpretan los numerosos datos de temperatura, pues su análisis en la forma de promedio, de acuerdo con la filosofía de la Climatología clásica, es de poco valor en la mayoría de los casos. Como un ejemplo típico, se pueden citar los estudios sobre temperatura del aire en la isla de Santo Domingo, cuyos alcances son limitados.

Quizás uno de los estudios mejor orientado, es el que acompaña la publicación del SMN (58) en la cual se presentan mapas de isotermas medias correspondientes a los meses de enero y agosto (escala 1:1.800.000) y unos pocos ejemplos de variaciones diarias de la temperatura. El estudio de CIEPS (11) presenta un mapa de la distribución de la temperatura media

anual a escala 1:1.000.000, mientras que el de PAU (41) se limita a presentar los valores de la temperatura media anual, acompañando la precipitación promedio en las diversas estaciones del Servicio Meteorológico Nacional.

2.2.1.3. La evapotranspiración y el balance hidrológico

Debido a la importancia de la agricultura bajo riego y con los numerosos intentos que se han realizado en los últimos años en el planeamiento de los recursos hidráulicos, se ha concedido mucho valor a los estudios de evapotranspiración en la República Dominicana.

En el Cuadro 3 se presenta un resumen de dichos estudios, del cual se puede concluir que todos los métodos utilizados para estimar la evapotranspiración potencial se basan en la temperatura del aire, y que esas estimaciones no se han comprobado por medio de estudios de campo.

Cuadro 3. Estudios de evapotranspiración para la República Dominicana y Haití.

País	Autor	Ref. bib.	Método	no. de est.	Datos de campo	Esc. del mapa	
RD	Burkholder	(36)	Lowry-Johnson	1	x		
	Thorntwaite	(67)	Thorntwaite	2			
	Bishop	(4)	Blaney Criddle	1	x		
	Luna	*		1	x		
	INDRHI	(54)	Thorntwaite	10			
	Félix Defó	(17)	Thorntwaite	49			
	PAU	(41)	Holdridge				
			Blaney Criddle	31		1: 250.000	
		Cucurullo	(13)	Thorntwaite	21		1: 500.000
		Félix Defó	(18)	Thorntwaite(?)	49		1:1.800.000
Haití	Thorntwaite	(67)	Thorntwaite	2			
	Hargreaves	(4)	Blaney Criddle	13			
	FAO	(21)	Thorntwaite	6			

x indica que existen informaciones

* comunicación personal del Ing. José Luna (finado)

2.2.1.4. Zonificaciones climáticas

Las crestas de la Cordillera Central han establecido a grandes rasgos una primera diferenciación regional de la República Dominicana: el Cibao, el Sur y el Este; esto unido al incipiente aprovechamiento de los recursos explica porque no se ha dado mayor énfasis a este aspecto de la climatología. El Cuadro 4 resume los esfuerzos realizados en este sentido:

Cuadro 4. Estudios sobre la zonificación climatológica de la isla de Santo Domingo.

País	Autor	Ref. bib.	Método	número de est.	número de regiones	Esc. del mapa
RD	SMN	(58)		65	7	1:1.500.000
Haití(NE)	Wood	(93)	Mohr-van Baren	18	8	1: 670.000
RD	PAU	(41)	Holdridge		10	1: 250.000
RD(Yaques)	SOGREAH	(66)	De Martonne	28	5	1:1.000.000

Estas clasificaciones no son suficientes para los fines prácticos, pues no alcanzan a explicar ó a integrar en zonas homogéneas a los sectores del país en los cuales el tiempo reinante parece seguir un transcurso semejante. Por ejemplo, se califica de anómala ó errática la distribución de la precipitación en la estación de Puerto Plata (58), y otras estaciones sobre el litoral norte, ó se señala que los registros son mediocres ó deficientes (caso de las estaciones de San José de Las Matas y Jarabacoa (66), cuando no se ajustan al transcurso esperado del tiempo para toda la isla.

2.2.2. La descripción global del clima regional

En algunos trabajos de E. Fedorov, Bergeron, Harder, Flohn y Trojer (66) se hace notar la necesidad de un complemento a la Climatología de los

elementos individuales, y se encarece la conveniencia de la consideración global del tiempo reinante que se exige en muchos de los campos de aplicación de la Climatología: v.g. Agroclimatología, Hidrología, etc., pues un organismo interacciona con un complejo de elementos del medio ambiente más bien que con un elemento aislado. Por lo tanto, una descripción del clima basada en valores promedios de elementos meteorológicos aislados (precipitación, temperatura, etc.) calculados de datos de muchos años no puede caracterizar el clima del ambiente de una planta (91).

Estos hechos justifican la importancia cada vez más creciente de la Climatología moderna ó compleja, que no desglosa el tiempo en sus elementos individuales, sino que trata de estudiarlo en conjunto (91).

En las zonas tropicales de América, y en particular en la isla de Santo Domingo, las estaciones meteorológicas no están distribuidas con la densidad deseada, y en la mayoría de ellas sólo se toman datos de dos elementos meteorológicos: precipitación diaria, y temperaturas extremas del día, siendo además los períodos de registros muy desiguales. De manera que, para dar una interpretación global que aclare la naturaleza de los procesos actuantes y constituya una guía para estudios detallados para necesidades específicas, es necesario recurrir a los aportes de la Meteorología moderna en el conocimiento de los procesos atmosféricos tridimensionales, para extrapolar los valores de los elementos observados en unos pocos puntos del territorio, y deducir, de acuerdo con las leyes de la física de la atmósfera, el transcurso y las características de aquellos elementos no observados de sus características implícitas en el tiempo reinante (74), para lograr de esta forma una descripción global del clima.

2.2.2.1. Necesidad de un modelo físico

Por las consideraciones anteriores, se hace evidente la necesidad de contar con un modelo que explique el conjunto de los procesos y sus manifestaciones en las capas bajas de la tropósfera.

Sólo la consideración más detallada del dinamismo de la atmósfera, que resulta de la traslocación periódica anual del sol dentro de los solsticios originando é impulsando el transcurso del sistema de circulación global en la atmósfera, y, del ciclo solar diario que establece, por la diferente transformación de la radiación, los movimientos en la capa inferior de la tropósfera que se denominan circulaciones locales y que se conocen en todas las zonas montañosas y costeras como vientos del valle y de la montaña y vientos del mar y de la costa respectivamente (71), conduce a un modelo genético de las manifestaciones atmosféricas.

Los efectos que producen las circulaciones locales se mantienen durante todo el año y la intensidad de los mismos es aumentada ó disminuida por el macrotiempo (74); de esta manera, la actividad permanente de las circulaciones locales imprime a cada lugar características climáticas inconfundibles, las cuales establecen relaciones entre la topografía, el desarrollo de los fenómenos atmosféricos y sus manifestaciones en los diversos elementos meteorológicos (viento, variabilidad de la nubosidad, precipitación, temperatura, humedad relativa) (71).

Así pues, el proceso de circulación local permite integrar todos los resultados dispersos de estudios detallados de los elementos individuales a un sistema dinámico que describe cabalmente las condiciones atmosféricas por el conjunto de elementos meteorológicos, no sólo en el punto de la medición, sino también en todos sus alrededores, definiendo mejor el estado de la atmósfera (71).

2.2.2.2. Manifestación de las circulaciones locales

Las circulaciones locales se presentan en los valles principales con fluentes, así como en las zonas costeras. La diferente transformación de la radiación en la superficie terrestre, produce diferencias térmicas que proporcionan la energía potencial para el intercambio de masas de aire en sistemas cerrados. La existencia de estos sistemas locales es un hecho comprendido y reconocido en las zonas costeras y montañosas de las latitudes medias (43,23,34,91). En los trópicos, los sistemas generales de circulación son débiles, por lo que el efecto de las circulaciones locales es más notorio, como lo reconoce Riehl (63) tomando precisamente como ejemplo la isla de Santo Domingo.

El estudio de las circulaciones locales (valle-montaña) para las zonas del trópico montañoso fue iniciado por Trojer en Colombia en regiones de las que se tenía suficiente información climatológica (70,71); no sólo trató de describir el conjunto de elementos, sino que para cada situación típica del macrotiempo estableció la distribución vertical de los elementos meteorológicos, culminando con el establecimiento de la relación entre formas típicas de la topografía y las modificaciones locales del ambiente atmosférico (71). Esto ha sido comprobado por estudios posteriores (19,80).

2.2.2.3. Descripción de la circulación tierra-mar

En este punto de la revisión de conocimientos existentes se estima conveniente introducir la descripción que hace Pettersen (43) de la circulación tierra-mar, ilustrándola con unos pocos datos horarios de la estación de Santo Domingo (Cuadro 5), compilados del trabajo del SMN (58).

Aunque sería deseable contar con registros automáticos para el estu-

dio detallado del dinamismo de estas circulaciones, se considera que esta compilación revela claramente: el cambio diario de la dirección é intensidad de los vientos, (Figs. 2 y 3) la onda doble de la presión atmosférica, el ciclo diario de la temperatura y el de la humedad relativa (inverso al anterior), así como el transcurso de la nubosidad en zonas costeras.

Cuadro 5. Datos horarios para la estación de Santo Domingo (58)

Circulación:	Tierra-mar			Mar-tierra					
	Hora	1:00	4:00	7:00	10:00	13:00	16:00	19:00	22:00
Elemento									
Presión		min.		max.		min.		max.	
Dirección*			N		S		N		
intensidad (km/hora)			11.8		16.8		12.4		
Temperatura			min.		max.				
Hum. Rel. ** %			92.6		64.7		84.5		
Nubosidad** décimos			4.8		5.9		7.1		

* mes de febrero

** mes de enero

Al amanecer la temperatura de la tierra alcanza su valor más bajo debido a la irradiación nocturna, produciéndose poca diferencia de temperatura entre la tierra y el mar. Suponiendo ausencia de flujo general, las superficies isobáricas serían horizontales; la velocidad de los vientos alcanza su valor mínimo.

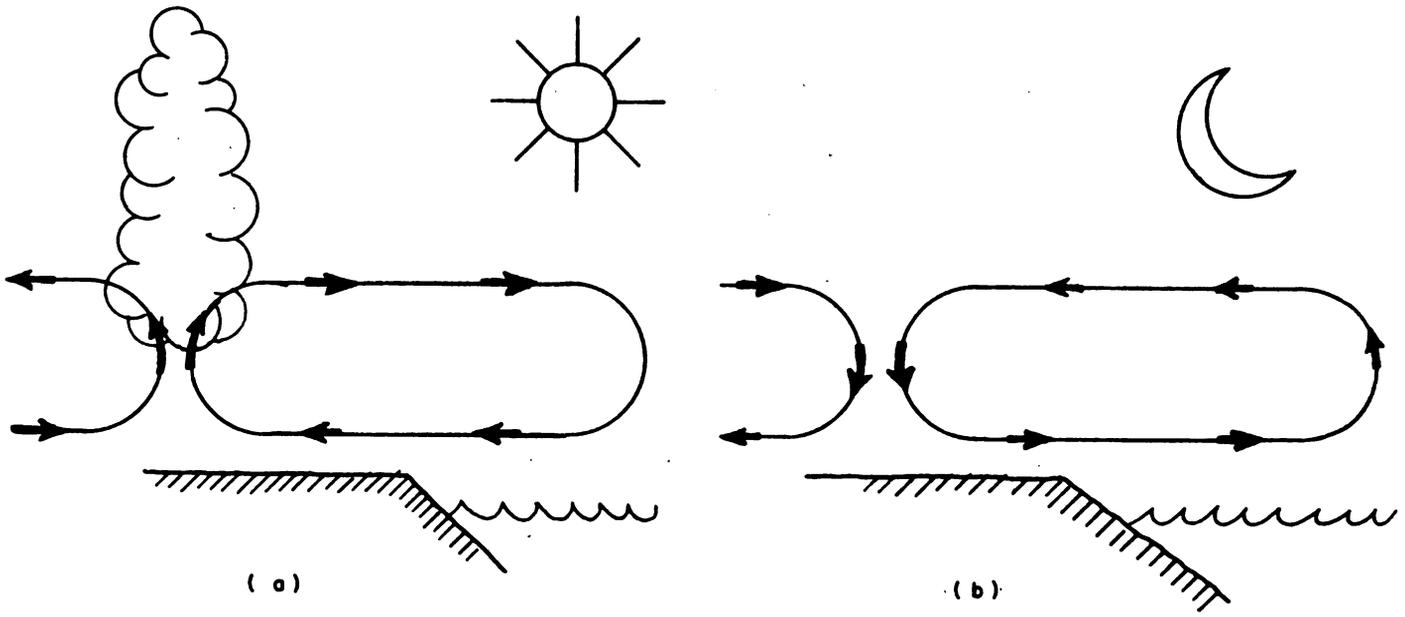
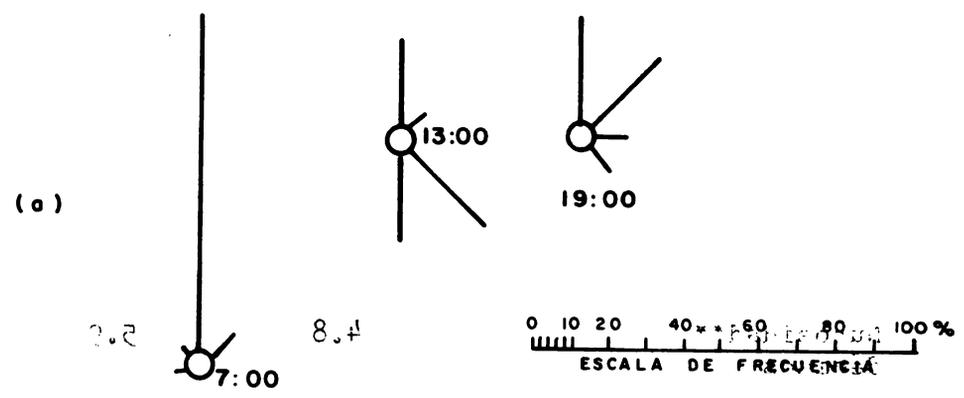


FIG. 2.- CIRCULACION: a) MAR-TIERRA, b) TIERRA-MAR.



(a) 7:00 13:00 19:00
 2.2 8.4
 ESCALA DE FRECUENCIA 0 10 20 40 60 80 100%

(b) 7:00 13:00 19:00

Al aumentar la temperatura de la tierra alcanza un valor más bajo de
 fido a la frías nocturnas, produciéndose poca diferencia de tempera-
 tura entre la tierra y el mar. Suponiendo ausencia de flujo general, las

superficies isobáricas serían horizontales; la velocidad de los vientos

FIG. 3.- DIAGRAMA DE LA VARIACION DIARIA DE LA DIRECCION DEL VIENTO EN SANTO DOMINGO: a) MES DE FEBRERO, b) MES DE AGOSTO

A medida que se eleva el sol y calienta más rápidamente la superficie de la tierra que la del mar, aumenta el espesor de la capa isobárica sobre la tierra y la superficie superior de presión desarrolla una pendiente de tierra a mar. Esto genera una fuerza de presión horizontal que acelera el aire de mar a tierra. Esta circulación se inicia alrededor de las 10:00 y alcanza su pleno desarrollo (velocidad máxima) en las primeras horas de la tarde, registrándose así las temperaturas máximas entre las 13:00 y 16:00, mientras que la humedad relativa alcanza su mínimo.

En la tarde, las llanuras interiores se enfrían (aún más por precipitaciones) atenúandose los contrastes térmicos y desaparece la brisa del mar, en consecuencia durante la noche, cuando la tierra está mas fría que el mar se desarrolla un flujo que va de tierra a mar y que se mantiene hasta las horas de la madrugada (Fig.2).

De acuerdo con las observaciones de Trojer, la circulación tierra-mar y su correspondiente contra corriente en la parte alta tiene una extensión vertical de 1000 a 2000 m. (74).

2.2.2.4. Las circulaciones valle-montaña

El fenómeno de las circulaciones valle-montaña es una característica típica de todos los países montañosos, y especialmente en el trópico donde estas circulaciones predominan todo el año (74).

De acuerdo con la descripción clásica de Wagner del proceso de circulación, la calma matutina entre la circulación nocturna y la diurna es seguida por el movimiento ascendente de los vientos a lo largo de los fondos de los valles, para luego extenderse hacia las vertientes de ambas laderas; este proceso se denomina en su fase de pleno desarrollo vientos del valle (71). Este proceso se origina por el calentamiento diferencial que se pro

duce cuando se eleva el sol; el aire en contacto con la ladera de la montaña se calienta más rápido que el aire alejado de la pendiente estableciéndose una circulación similar a la brisa marina (43).

Para reemplazar la masa de aire ascendente, desciende aire sobre el centro de los valles cerrando el circuito de la circulación diurna. Sobre las zonas de ascenso el enfriamiento por expansión adiabática provoca la condensación y por consiguiente la formación de nubosidad local sobre las partes altas de la montaña, la cual con desarrollo vertical suficiente precipita el agua condensada, mientras que sobre el centro del valle las nubes se disuelven (Fig. 4).

Al caer el día el transporte de las masas de aire sobre las partes altas, unido al enfriamiento de las precipitaciones, produce un aumento relativo de presión y por consiguiente un levantamiento de los niveles isobáricos (71), lo cual origina el cambio en la dirección de la circulación, ocurriendo durante la noche el pleno desarrollo de la circulación montaña-valle (vientos de la montaña).

En resumen, las diferencias térmicas proporcionan la energía potencial para el intercambio de las masas de aire. Al invertirse las diferencias térmicas se invierte también el sentido de la circulación. Por esa razón la circulación montaña-valle puede presentarse también en horas del día, a causa del enfriamiento que provocan las precipitaciones en las laderas de la montaña (74).

2.2.2.5. Los patrones de precipitación asociados a las circulaciones locales y sus modificaciones por el macrotiempo

Las circulaciones locales definen el ciclo diario de las precipitaciones. Sobre las cimas de las montañas se observan con mayor frecuencia preci

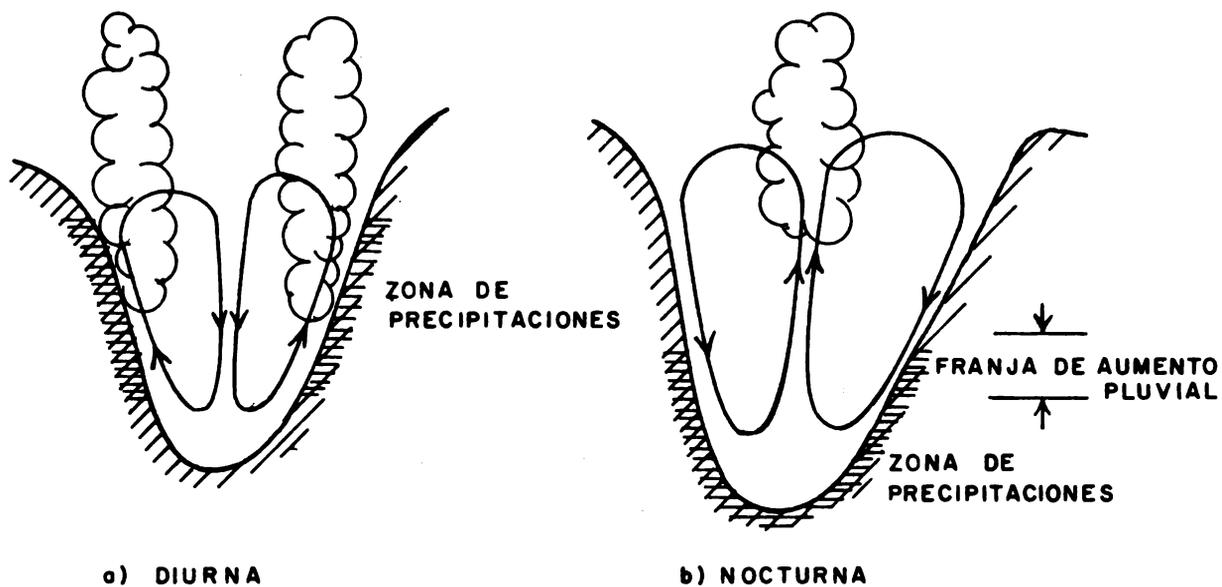


FIG. 4.- DIAGRAMA DE LA CIRCULACION: a) VALLE-MONTAÑA, b) MONTAÑA-VALLE

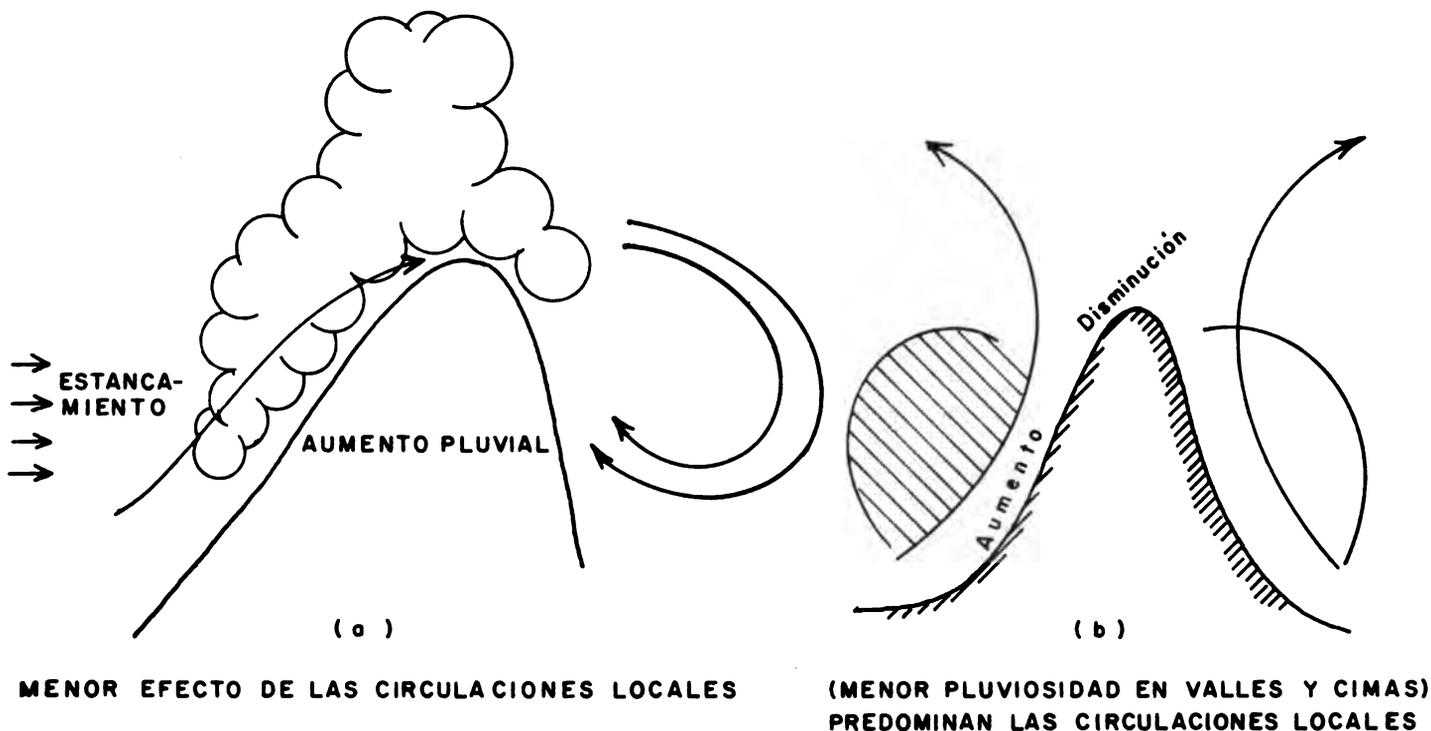


FIG. 5.- MODIFICACIONES DE LOS PATRONES DE PRECIPITACION POR EL MACROTIEMPO: a) ESTANCAMIENTO DURANTE TEMPORALES, b) TIEMPO DE TRANSICION.

pitaciones al medio día, mientras que los fondos de los valles permanecen despejados. Inversamente, después del enfriamiento por las precipitaciones de la tarde, la circulación montaña-valle, provoca lluvias frecuentes durante las horas de la noche sobre los valles y subcuencas adyacentes (29). En consecuencia, sobre la zona donde se superponen las precipitaciones que ocasionan ambas circulaciones, se produce un notable aumento en la cantidad de lluvia, que explica las mayores cantidades que se registran en las estaciones pluviométricas situadas en los niveles intermedios.

Estas características de la distribución pluvial regional permiten generalizar que las zonas bajas son más secas y que también las cimas registran cantidades menores, aunque su frecuencia sea mayor. La zona intermedia se destaca por una mayor cantidad e intensidad de la precipitación (29). Estas características locales de la precipitación han sido comprobadas en diferentes regiones del trópico por medio de una densa red de pluviómetros (71,30,80).

Los flujos de la circulación general del aire (sistema intertropical y sistemas frontales subtropicales) resultantes de la distribución bórica, se sobreponen las circulaciones locales y causan efectos de estancamiento sobre el lado de barlovento, (29), y de foehn sobre el de sotavento. Cuando sólo actúan las circulaciones locales, ó el flujo general refuerza las circulaciones a cada lado de las cordilleras, las cimas reciben las menores cantidades pluviales, debido a la divergencia (Fig. 5).

A lo largo de las costas donde convergen los flujos debido a la forma típica de la topografía, se observan zonas de mayor pluviosidad, mientras que la precipitación disminuye donde la corriente general es paralela a la costa, especialmente en las épocas lluviosas. En el interior de las

llanuras costeras se presenta una franja de disminución de las cantidades pluviales (efecto de la circulación mar-tierra) que se extiende hasta el pié de las primeras estribaciones. Sobre estas últimas acciona de nuevo la circulación local como se ha descrito anteriormente.

Los valles interiores muestran una rápida disminución pluvial por los efectos de la continentalización de las masas de aire (aumento térmico y disminución de la humedad del aire), actuando sin embargo los mismos procesos de circulación local con su distribución pluvial característica. Estos valles interiores, escalonados altimétricamente, son zonas de nuevos ascensos de aire y debido al descenso térmico (que ocasiona una disminución de la humedad absoluta) se reduce paulatinamente la cantidad de agua precipitable que se refleja en la disminución de la cantidad pluvial en las partes altas de la cordillera (29).

2.2.2.6. Interpretación de los fenómenos meteorológicos

Las consideraciones anteriores dieron origen a la metodología desarrollada por Trojer (30) basada en la génesis de los procesos para la extrapolación tridimensional de los datos meteorológicos y la interpretación global del clima regional.

Las observaciones realizadas en las diversas estaciones meteorológicas son muestras de la evolución de los procesos atmosféricos; en esta forma, son incorporadas a los modelos físicos de las circulaciones, dentro de los cuales los elementos meteorológicos están relacionados por las leyes de la termodinámica.

Por medio de los datos organizados sistemáticamente se establece la interacción entre la evolución de los procesos atmosféricos y las diferentes formas típicas de la topografía. Una vez definida la interacción se la emplea de la misma forma sobre regiones en las cuales se conoce la topografía.

grafía meteorológicamente activa, planteando como hipótesis básica, que a formas topográficas similares corresponden modificaciones similares de los procesos*.

Este criterio de una estrecha relación entre las formas de la topografía y los procesos meteorológicos, permite el análisis dinámico de los datos de precipitación (71,30,80) y trazar líneas de igual precipitación porcentual (77) en zonas con poca ó heterogénea información (diferentes años, diferente duración de las observaciones) por lo menos para una interpretación preliminar (74); asimismo ofrece una nueva dimensión a la interpretación de los abundantes datos de temperatura y presión, cuyos promedios, en las zonas tropicales, no ofrecen ninguna diferenciación (70).

Considerando que los mapas de precipitación representan también los procesos que conducen a la precipitación bajo condiciones típicas del tiempo reinante, es posible deducir de ellos características climático-geográficas de interés (límites de la franja de nubosidad y de radiación y evaporación reducida, etc.)

Finalmente, la caracterización del tiempo reinante a partir de la precipitación relativa (%), propuesta por Trojer (76), hace posible deducir el transcurso y las características generales de aquellos elementos con poca ó ninguna observación (brillo solar, radiación, evaporación, evapotranspiración, etc.), y lograr una descripción global del clima regional.

2.3. Los patrones de precipitación de huracanes

Sin entrar a discutir las teorías sobre la génesis y la estructura de

* INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS. Inventario de Recursos del Cantón de Turrialba, Costa Rica. (en preparación)

los huracanes, esta parte del estudio trata solamente de la distribución temporal y espacial de las precipitaciones provocadas por estas perturbaciones.

La mayor parte de los trabajos de utilidad para el estudio de uno de los aspectos más importantes de los huracanes, las precipitaciones, están referidos a pequeña escala. En esta forma, diferentes autores han catalogado y representado las trayectorias de los huracanes de que se tiene noticia. La reciente publicación del Weather Bureau (88) es una de las más completas y presenta las trayectorias de los ciclones tropicales del Atlántico Norte en forma de mapas anuales que abarcan el período comprendido entre 1871 y 1963, separando las etapas de intensidad de los huracanes de acuerdo con la clasificación de la escuela norteamericana, en depresión tropical, tempestad tropical y huracán*.

Con este tipo de documentación se han iniciado estudios estadísticos contando los huracanes cuya trayectoria ha cruzado una zona geográfica de terminada. Por ejemplo, en un estudio reciente sobre precipitaciones máximas (76) se ha preparado una lista de los huracanes que han pasado dentro de 2º de latitud de Puerto Rico y las islas Vírgenes en el período 1915-1959 que son 97 en total.

Pero un breve estudio de las precipitaciones causadas por huracanes

* Una tempestad tropical es un área de baja presión más o menos circular que tiene su origen sobre los océanos tropicales y está acompañada de vientos, cuya velocidad oscila entre 32-72 mph. (50-120 kph.). Si la velocidad constante del viento excede de las 72 mph. (120 kph.) la tempestad se llama huracán. Las tempestades tropicales tienen diámetros que varían desde aproximadamente 60 a 1000 millas (100-1600 km.). El centro u ojo de un huracán es un área más o menos circular con vientos ligeros y buen tiempo y su diámetro puede variar de aproximadamente 4 a 40 millas (6 a 65 km.) (87)

y tempestades que tocaron la República Dominicana entre los años 1943 y 1965, y las causadas por huracanes y tempestades tropicales que no tocaron dicho país, no reveló diferenciación alguna, y no se pudieron establecer correlaciones entre las trayectorias (representadas a pequeña escala) y las manifestaciones regionales (precipitaciones**, vientos, inundaciones) informadas por varios autores (7,22,24,35,41).

Por lo tanto, resulta estéril la búsqueda de correlaciones en ausencia de un modelo ó del conocimiento de las modificaciones que plantea un relieve fuerte sobre una circulación potente en forma de vórtice.

Las primeras deducciones físicas de la precipitación de un huracán son las de Riehl (63) quién planteó la resolución de un problema de continuidad en humedad usando un modelo de convergencia para lo cual se asume que el aire que fluye está saturado y que la humedad se precipita tan pronto como se produce la condensación por el enfriamiento que produce el ascenso según la adiabata húmeda. Así, la precipitación (menos la evaporación) dentro de un círculo de radio dado debe ser igual a la diferencia entre el transporte de humedad hacia el interior y exterior de éste. Este valor se obtiene con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{2}{r} V_r \frac{\Delta P}{g}$$

Donde:

R= precipitación por unidad de tiempo de área en un punto situado a una distancia r del centro del huracán.

V_r= componente radial de la velocidad

** Datos suministrados por la División de Meteorología de la Secretaría de Agricultura, según oficio no. 33 del 10 de marzo de 1969.

r = radio

\bar{q} = humedad específica promedio

Δp = diferencia de presión entre el límite superior é inferior de la capa de entrada de aire húmedo.

g = aceleración de la gravedad

Para el estudio de las precipitaciones máximas en Puerto Rico (87) se siguieron las ideas de Riehl, incorporando un componente orográfico, y combinando las precipitaciones por convergencia y por ascenso según una pendiente determinada.

Pero como estos modelos no son lo suficientemente generales para incluir las condiciones de borde (relieve y alimentación) no son aún aptos para definir el patrón de precipitaciones sobre un área ó cuenca hidrográfica de importancia, de interés tanto para el pronóstico como para el planeamiento de obras hidráulicas.

Mientras no se avance en tal sentido, se puede acudir a conocer más precisamente los efectos y a revisar los modelos conceptuales mediante el estudio de la relación efecto- causa. La revisión bibliográfica, no reveló evidencia de la utilización de los innumerables datos de precipitación en el trazado de mapas de isoyetas correspondientes al paso de huracanes en ningún país del Caribe. Apenas y ocasionalmente se han cartografiado los daños causados (24,35).

2.4. Estudio de la estructura de las series de precipitación

Todos los estudios de la precipitación sobre la isla de Santo Domingo revelan una aparente contradicción. Por ejemplo, en el trabajo de la OEA (41) se menciona que los datos de precipitación indican una notable

variabilidad en la distribución de la lluvia, es decir, cuando se hace una comparación de la lluvia anual de varios años, se comprueba que las precipitaciones varían drásticamente. Esta fluctuación es más obvia cuando se comparan ciertas estaciones o meses de varios años consecutivos. Sin embargo, posteriormente se afirma que ciertas condiciones climáticas son relativamente constantes: inició de la época de lluvia, meses más secos (41,66). Asimismo, un estudio de FAO (21), recientemente publicado, señala que la variabilidad temporal de las precipitaciones es muy fuerte.

De acuerdo con Trojer (72), si aceptamos la movilización anual de los sistemas que activan las precipitaciones en las zonas tropicales (TF, STN, ITC), y que además el nivel pluviométrico depende de las características de las masas de aire de cada sistema (73), se comprende que a cada posición de dichos sistemas corresponden determinadas manifestaciones del tiempo; las cuales constituyen tipos definidos con valores característicos para cada elemento (precipitación en nuestro caso), según las variaciones producidas por los procesos dinámicos durante cada situación atmosférica y la influencia típica de las formas topográficas.

En consecuencia, es de suponer que la entrada y el predominio de cada sistema año tras año determina las características promedio de la precipitación mensual; pero que la cantidad (nivel) de las precipitaciones así como la frecuencia durante un mes determinado de un año en particular, depende de la actividad ciclónica de la atmósfera y de las modificaciones que impongan las formas topográficas según la posición del sistema. Con base en las consideraciones anteriores se explica la contradicción mencionada.

Chebotarev (9) también sostiene la hipótesis de la dependencia de la precipitación de la actividad ciclónica y anticiclónica de la atmósfera, así como la relación entre este tipo de actividad y el curso de la radia-

ción corpuscular solar.

El estudio secuencial de las variaciones del elemento precipitación es de gran utilidad en la búsqueda de las causas generadoras de los procesos y en la construcción de modelos para fines de predicción (65) y consecuentemente en el estudio del funcionamiento de sistemas hidráulicos.

De acuerdo a las proposiciones de Dzerdzeevskii (15), la búsqueda de las causas físicas de las desviaciones de los elementos climáticos se dilucida mejor mediante el estudio dinámico del cambio de los índices climáticos y de las características de la circulación que abarquen por lo menos un hemisferio. En consonancia con estas premisas, Trojer ha utilizado series cronológicas de la precipitación en forma latitudinal, para seguir a través de los años los desplazamientos del sistema de circulación intertropical (72,74).

Para un espacio geográfico limitado, como es el caso de la isla de Santo Domingo, los métodos estadísticos proveen una alternativa en el estudio secuencial de las variaciones de un elemento climático.

Las series cronológicas de precipitación, al igual que otras series hidrológicas pueden considerarse constituidas por dos componentes: uno aleatorio y uno determinístico (14).

El elemento determinístico puede presentar una tendencia o movimiento a largo plazo o una oscilación alrededor de la tendencia. Los métodos más comunmente usados para remover la tendencia son: el de los promedios móviles y el ajuste de un polinomio de alto orden. Una vez determinada la tendencia se pueden tomar como nuevas variables las desviaciones alrededor de la línea de tendencia. Finalmente es necesario que estas desviaciones

constituyan una serie cronológica estacionaria, o sea que el valor esperado del estimador sea el mismo para cada sección (14).

Otra alternativa de análisis matemático la constituye el análisis armónico a través de las series de Fourier. Ahora bien, Chow (10) expresa que matemáticamente cualquier conjunto de observaciones, incluyendo aquellas al azar, pueden resolverse en un sistema de armónicos de diferentes períodos y amplitudes mediante una serie de Fourier con un número suficiente de términos. Esto ha dado lugar a muchos intentos infructuosos por relacionar los ciclos individuales de un elemento climatológico a factores causales de origen extraterrestre (34).

En resumen, los enfoques modernos para determinar las causas de las fluctuaciones de las series climatológicas, están dirigidos más bien a la búsqueda de modelos que relacionen las manifestaciones de los elementos meteorológicos con la traslocación y actividad de los sistemas de circulación (74). Estos modelos tratan de describir la periodicidad de los sistemas y su posible correlación con los factores físicos extraterrestres.

Por otra parte, los resultados de los análisis estadísticos de observaciones de elementos meteorológicos en una estación requieren una consideración crítica pues son la manifestación última de la influencia de los factores extraterrestres sobre las condiciones meteorológicas de la atmósfera, pero pueden ser una ayuda positiva para el conocimiento teórico de la estructura de las series, que a su vez puede revelar la actividad y otras características de los sistemas de circulación.

3. MATERIALES Y METODOS

El mapa 1 presenta la localización de la isla de Santo Domingo en la zona del archipiélago de las Antillas, que en forma aproximada de arco se para el Mar Caribe del Océano Atlántico. La extensión de la isla es de unos 75.527 kilómetros cuadrados (58).

3.1. Estudio del macrotiempo

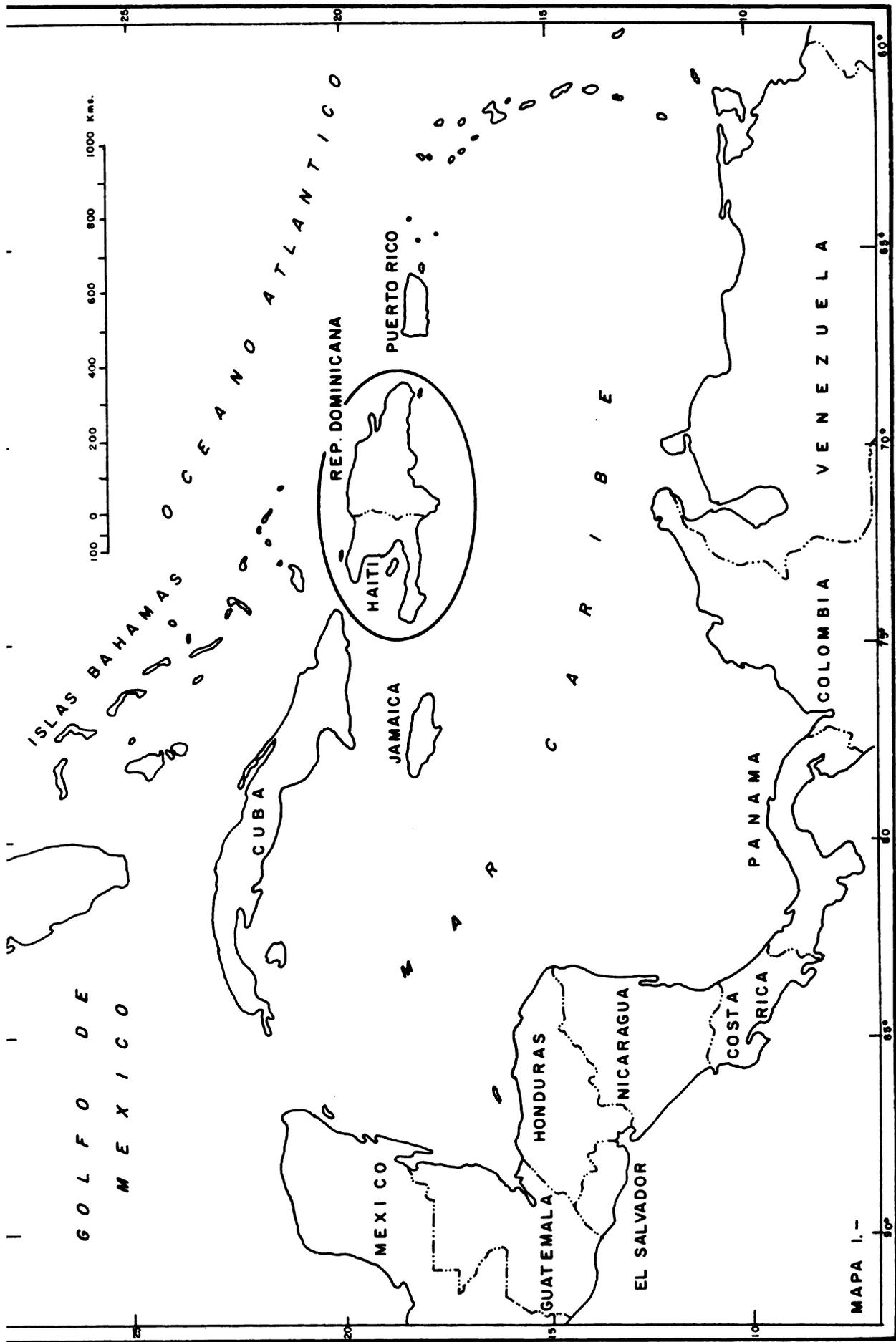
Para el estudio de las diferentes situaciones del macrotiempo y sus características básicas (frecuencia, secuencia y manifestaciones locales) se utilizó la metodología aplicada por Trojer (69), con las modificaciones que el mismo autor propuso para zonas tropicales (70).

La información básica para la realización de esta parte del trabajo la constituyó los mapas sinópticos diarios del hemisferio Norte durante el año 1960 (84), así como los datos de precipitación diaria en las estaciones meteorológicas de la República Dominicana y Haití, compilados de las publicaciones del Weather Bureau (86).

3.1.1. La dirección del flujo

Siendo la dirección del flujo una de las características principales del estado del macrotiempo (69) se procedió a su determinación con base en los mapas sinópticos mencionados.

El curso de las trayectorias en la mitad inferior de la tropósfera, está dado por la ley del viento bórico en las capas libres de rozamiento, según la distribución de las presiones a nivel del suelo. En consecuencia, el curso de las isobaras y la corriente están mutuamente entrelazadas. A su vez las distribuciones de la presión a ras del suelo son gobernadas la mayoría de las veces por su distribución en la estratósfera. De esta



manera, también esta última puede ejercer un influjo codeterminante para la inversión de los campos de presión troposféricos. No obstante, el curso de la corriente a unos 5000 metros caracteriza el movimiento ulterior de las imágenes dinámicas (dominios de presión ascendente y descendente, frentes y cuerpos atmosféricos). Esto sugiere que con base en la topografía absoluta de la superficie de 500 mb. se puede establecer con seguridad la dirección de la corriente para todos los estados del macro-tiempo (69).

3.1.2. Dificultades en el uso de los mapas sinópticos

En los trópicos las circulaciones locales son las determinantes del flujo a nivel del suelo, y por lo tanto las observaciones de los vientos de superficie no indican el flujo general (69); esto unido a que los analistas hacen desaparecer los frentes (74) al no encontrar los notables contrastes térmicos de las latitudes medias, indujo a dar mayor importancia a los vientos superiores, sin embargo, siempre se intentó la deducción del flujo general de la superficie a partir de las isobaras, para fines de comprobación y referencia.

En resumen, la determinación de la dirección de los vientos superiores se hizo en su mayor parte con base en los mapas sinópticos a 500 mb. (84). En ciertos casos se procedió a dar una nueva interpretación, que coincidía mejor con la secuencia de flujos y las manifestaciones locales.

3.1.3. Definición de situaciones ciclónicas y anticiclónicas

La permanencia de los macrotiempos ciclónicos o anticiclónicos, se manifiesta según la sucesión de las situaciones.

Así, durante los estados de macrotiempo anticiclónicos, la dirección del flujo, y por ende las situaciones, siguen un transcurso en el sentido de las manecillas del reloj (N-NE-E-SE-S-SW-W-NW), que corresponde al flujo de los vientos de una célula de alta presión (A) en el Hemisferio Norte. Durante los estados ciclónicos, la secuencia es inversa (NW-W-SW-S-SE-E-NE-N)



Durante el cambio de una situación a otra (anticiclónica a ciclónica ó viceversa), ocurre un tiempo de transición; dado el carácter primario de este estudio, no se trató de separar estas situaciones intermedias, sino que para estos casos se atribuyó el carácter del macrotiempo según las manifestaciones locales; a este respecto los datos de precipitación constituyeron una ayuda muy valiosa.

Los datos de precipitación se utilizaron además para verificar la acción de las células anticiclónicas de la rama sur de la ITC (Fig. 1), ya que durante su actuación, el flujo de vientos correspondiente, sigue una secuencia en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj (sinistrorsum); la ausencia de precipitaciones (aún con circulación ciclónica para el Hemisferio Norte) fue la clave utilizada para identificar su presencia.

3.1.4. Compilación y análisis

Finalmente, en formularios para cada mes (Cuadro 6) se compilaron

3.2. Elementos meteorológicos

Para cumplir con los postulados de la Climatología Dinámica, se planteó la utilización e interpretación de los datos de todos los elementos meteorológicos que hubieren sido medidos en la isla de Santo Domingo, sin importar la longitud del período de registro. Asimismo, del interés en la actualización surgió la necesidad de proceder a una compilación de los datos disponibles en el Servicio Meteorológico desde el inicio de las mediciones hasta diciembre de 1968.

También se efectuó la búsqueda de otros datos inéditos, en particular los correspondientes a la nutrida y antigua red del Central Romana (63 estaciones), los registros de las estaciones pluviográficas y pluviométricas del INDRHI, y los correspondientes a los pluviómetros de los Centrales Azucareros, recibidos en el Servicio Meteorológico. Los datos de Haití, fueron compilados en la biblioteca del IICA.

A continuación se resume la procedencia de los datos meteorológicos: Servicio Meteorológico Nacional*, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos*, Central Romana**, Unidad de Recursos Naturales de la OEA***, y Biblioteca Orton (25,45,46,47,48,49,50,51,52,86,93).

* La labor de compilación y búsqueda de datos aún no publicados fue llevada a cabo en Santo Domingo por los Ings. Nelson Julio Morales Valentín y Flavio Terrero R., el señor Diógenes Vargas y el Ing. Tabaré Rosario Mustafá.

** El envío de los datos del Central Romana se logró con la ayuda del Lic. Eduardo Fernández P.

*** Los datos de la URN/OEA fueron facilitados por el Dr. Kirk Rodgers.

3.2.1. Base cartográfica

La base cartográfica para el estudio de la distribución espacial de los elementos meteorológicos la constituye un mapa de la isla de Santo Domingo a escala 1:1.000.000. Este mapa se confeccionó a partir de dos ejemplares de la colección USAF Operational Navigation Chart (70,71). En el mapa base se indica la localización de las estaciones meteorológicas, el sistema fluvial y las crestas o divisorias de agua más importantes.

Para la definición de la topografía meteorológicamente activa (74) se utilizaron adicionalmente un mapa de la República Dominicana (83) y otro de toda la isla de Santo Domingo (27).

Para la localización de las estaciones meteorológicas se utilizaron las siguientes fuentes de información: mapa Esso de la República Dominicana y Haití (16), mapas provinciales de la República Dominicana (Distrito Nacional y provincias : Seybo, Altagracia, San Pedro de Macoris) (59,60,61,62), mapa del Central Romana con la localización de las estaciones meteorológicas (8), mapa de la cuenca del Yaque del Norte (53), y los mapas base preparados por la Unidad de Recursos de la OEA (40); referencias bibliográficas (32,57,85,86,92) y comunicaciones personales*.

3.2.1.1. Breve descripción orográfica de la isla

La estrecha relación existente entre las formas de relieve y las modificaciones de los procesos atmosféricos, obliga a describir los sistemas

* Los datos de localización de los pluviógrafos del INDRHI fueron suministrados por los Ings. Flavio Terrero y Nelson Morales.

montañosos más importantes de la isla, a los cuales se hará continua referencia a lo largo de la descripción del clima regional.

En el Mapa 2 se puede apreciar la Cordillera Central, que ocupa el centro de la isla y corre en dirección NW-SE. Las cumbres más altas de las Antillas se encuentran en esta Cordillera: Pico Duarte (3175m.) y Pico Yaque (3125m.). Al norte de la Cordillera Central, se extiende la Cordillera Septentrional de menos altitud e importancia. De sus varios picos el más alto es el Monte Diego de Ocampo (1220m.).

En el suroeste se encuentra una tercera cadena montañosa, llamada por los dominicanos Sierra de Neiba con altitudes máximas entre 1300 y 1450 m. y que al cruzar la parte central de Haití se bifurca en el Massif des Montagnes Noires y las Montagnes Trou d'Eau.

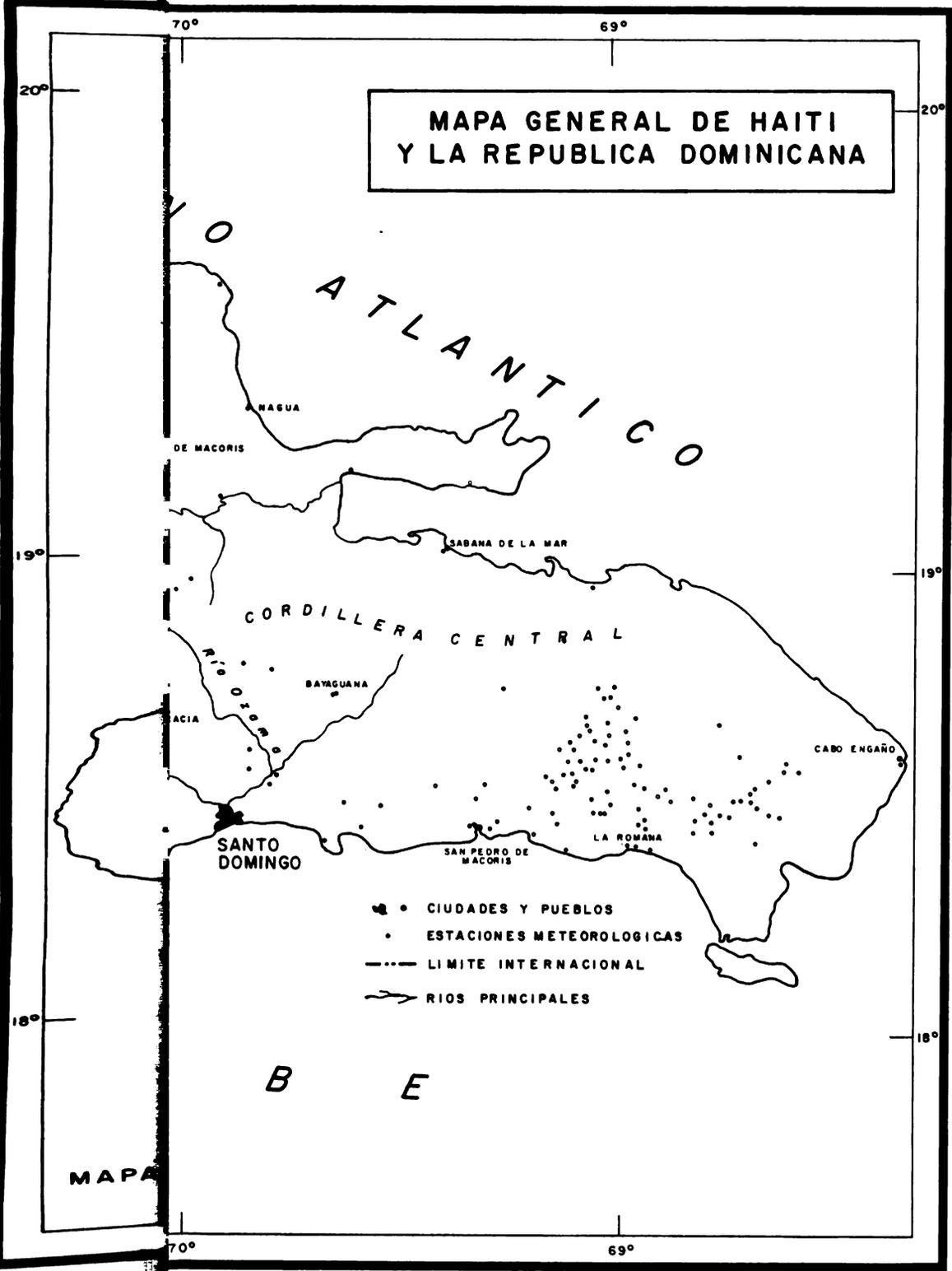
El extremo sur de Haití está prácticamente constituido por el Massif de La Hotte y el Massif de La Selle, que alcanzan elevaciones entre 2300 y 2680 m. La prolongación de esta cadena montañosa en territorio dominicano recibe el nombre de Sierra de Bahoruco.

En el Mapa 2, también se han localizado las estaciones meteorológicas utilizadas en el estudio.

3.2.2. Estudio de la temperatura

Al considerar la temperatura cabe recordar la forma empleada en su medición. En todas las estaciones (a excepción de Santo Domingo y Port-au-Prince y otras con aparatos automáticos) los valores diarios de temperatura observados corresponden a las temperatura máxima y mínima registradas en los termómetros respectivos. Las fórmulas utilizadas para la estimación de las medias, son las usuales.

MAPA GENERAL DE HAITI
Y LA REPUBLICA DOMINICANA



montañosos

rencia a

En el

centro de

las Antillas

co Yaque (

Cordillera

picos el m

En el

por los de

1450 m. y

des Montag

El ex

de La Hott

y 2680 m.

cano recib

En el

cas utiliz

3.2.2. Es

Al col

medición.

au-Prince :

ratura obs

das en los

mación de :

media mensual de las temperaturas máximas diarias: $\bar{t}_{\max.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} t_i \max.$

media mensual de las temperaturas mínimas diarias: $\bar{t}_{\min.} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} t_i \min.$

$$\text{temperatura media mensual: } t_m = \frac{\bar{t}_{\max.} + \bar{t}_{\min.}}{2}$$

El estudio clásico de la temperatura (promedios anuales, etc.) no revela muchas de las características importantes de las manifestaciones térmicas, tales como sus variaciones durante determinados tipos de tiempo y el transcurso estacional de los valores extremos. Pero, la organización adecuada de los datos y su análisis dinámico pone de manifiesto las desviaciones de los valores teóricos y sus relaciones con diversos factores físicos de la superficie terrestre, explicando de esta manera las llamadas "anomalías", o el conocimiento incompleto que se tiene del transcurso del tiempo.

El procedimiento utilizado para el estudio de la temperatura fue el siguiente:

1. Cálculo de los promedios mensuales y anuales de la temperatura media de 69 estaciones de la República Dominicana y 16 estaciones de Haití (compilación y revisión)
2. Análisis de la influencia del tipo de tiempo (ciclónico ó anticiclónico) y de la forma topográfica sobre las variaciones diarias de la temperatura y los gradientes de $t_{\max.}$ y $t_{\min.}$ Para este fin se preparó una sección transversal de la isla (Puerto Plata - Azua) a partir del mapa topográfico de la República Dominicana (83) haciéndose ajustes para mostrar los principales valles intra

montañosos de la Cordillera Central, y se utilizaron los datos (86) de t_{max} . y t_{min} . en 8 estaciones a lo largo de dicho perfil, para 8 días ciclónicos y anticiclónicos del año 1960 (la diferencia de días ciclónicos y anticiclónicos corresponde a la del estudio del macrotiempo).

3. Estudio del cambio temporal de los gradientes de las medias mensuales y anuales de t_{max} , t_{min} . y t_m . a lo largo de 9 estaciones situadas en el perfil anterior, lo cual abarcó el cálculo de los promedios mensuales y anuales de t_{max} . y t_{min} . de las 9 estaciones y la determinación de los gradientes respectivos.
4. Como en las zonas subtropicales las temperaturas extremas (máximas en niveles inferiores y mínimas en niveles superiores) son las que limitan el desarrollo de los cultivos en cada franja altimétrica, a la cual corresponde una temperatura media anual según la siguiente ecuación:

$$t_m = f(\varphi, h) + c$$

Donde:

φ = latitud

h = altura

c = pequeña corrección por la forma topográfica

y cuyos niveles han sido determinados por Trojer para el trópico americano (73), se hizo el estudio de las desviaciones de las medias mensuales de las temperaturas máxima y mínima con respecto a la anual en las 9 estaciones a lo largo del perfil.

3.2.3. Estudio de la presión

La presión atmosférica que se mide en la superficie terrestre es la suma de los pesos de los volúmenes de aire sobre el punto de observación; por lo tanto, cualquier cambio en la estructura vertical de las masas de aire se refleja en la presión.

Los conceptos anteriores explican el ciclo diario de la presión en forma de onda doble, señalado ya en estudio del SMN (58), que constituye la característica más notoria de este elemento en los trópicos donde los cambios de presión debidos a las diversas masas actuantes son más pequeños que el cambio que provocan las circulaciones locales.

Para la presión se estudió solamente el transcurso de las desviaciones de los promedios mensuales con respecto al anual. Este método obvia el error que introduce la corrección de la presión al nivel del mar, sobre todo en los trópicos, donde la estructura de las masas de aire es muy variable.

Se compilaron los registros de 9 estaciones, siete de ellas con elevaciones menores de 15,0 mts. y dos (San Cristóbal y Port-au-Prince) con elevaciones de 43,0 y 41,0 m. respectivamente.

3.2.4. Estudio de la precipitación

La precipitación es el elemento más influenciado por las condiciones del tiempo reinante. Pone de manifiesto si se expresa en forma relativa las variaciones del tiempo reinante con todos los procesos que lo originan.

Para llevar a cabo el estudio de la precipitación se contó con la información resumida en el cuadro siguiente:

Cuadro 7. Fuentes de información de los datos de precipitaciones

Procedencia	Institución	número de estaciones con:		
		datos mensuales	datos anuales	totales
Rep. Dom.	Serv. Meteo. Nac.	72		
Rep. Dom.	INDRHI	18		
Rep. Dom.	Est. cooperativas	5	2	
Rep. Dom.	Centrales Azucareros	22		
Rep. Dom.	Central Romana	6	67	192
Haití	Serv. Météo. Nac.			
	Dép. Trav. Pub.	76		<u>76</u>
				268

De acuerdo con la metodología desarrollada por Trojer, se utilizaron los modelos de precipitación y sus modificaciones por el macrotiempo, descritos en el capítulo anterior (párrs. 2.2.2.5) para la preparación de los siguientes mapas:

3.2.4.1. Mapa de precipitación anual

Se procedió al trazado de las isoyetas de 500 hasta 2500 mm, con un intervalo de 250 mm. entre 500 y 2000 mm., y de 500 mm. entre 2000 y 2500 mm.

3.2.4.2. Mapas de precipitación en porcentaje para cada mes

Trojer ha utilizado los promedios de precipitación mensual como porcentaje de la suma anual para eliminar los efectos locales y reconocer mejor los procesos que suceden en escala mayor. De esta manera es posible reconocer en los mapas isoporcentuales la posición promedio de los sistemas que activan las precipitaciones de cada mes, constituyendo una alternativa para

para el estudio del transcurso del macro tiempo en regiones tropicales donde la interpretación sinóptica actual deja mucho que desear (29).

Con base en lo anterior se llevaron a cabo los siguientes trabajos:

- Conversión de los promedios mensuales de precipitación en porcentaje de la precipitación anual para los datos de 199 estaciones. Estos porcentajes fueron corregidos (para las estaciones de RD) por el número variable de días:

$$\text{meses de 31 días} \quad \frac{P}{\Sigma P} \frac{31 \times 12 \times 100}{365,25}$$

$$\text{meses de 30 días} \quad \frac{P}{\Sigma P} \frac{30 \times 12 \times 100}{365,25}$$

$$\text{mes de febrero} \quad \frac{P}{\Sigma P} \frac{28,25 \times 12 \times 100}{365,25}$$

Los valores transformados fueron pasados a mapas (1 por mes), y se trazaron las isolíneas siguientes: 0,5-1,0-2,5-5,0-8,3-10,5-12,5-15,0,20,0 %, de acuerdo con los modelos ya descritos. Finalmente de los mapas isoporcentuales se dedujo la posición promedio de los sistemas frontales actuantes (frentes climatológicos), pues es obvio que las zonas de aumento o disminución de la precipitación corresponderán respectivamente a las áreas de convergencia o divergencia del modelo ciclónico o de predominio de los efectos aerodinámicos (estancamiento y foehn) debidos al relieve de la isla.

3.2.5. Clasificación y zonificación climática

La cartografía de zonas de iguales características meteorológicas (de

la nubosidad, de las precipitaciones y de los demás elementos), representa en forma regional las manifestaciones complejas del tiempo y constituye el objetivo final de las zonificaciones (71).

De acuerdo con estos objetivos se agruparon las zonas de transcurso análogo relativo de la precipitación, que según la sistematización propuesta por Trojer (76), representa también el transcurso del tiempo reinante. Este método se adapta especialmente para nuestras condiciones, ya que sólo se necesitan los valores relativos de la precipitación mensual para la definición del tiempo reinante, en la forma siguiente:

0,0 - 1,0 %	- intensamente seco
1,0 - 2,5 %	- muy seco
2,5 - 5,0 %	- seco
5,0 - 8,3 %	- seco variable
8,3 - 12,0 %	- lluvioso variable
12,0 - 15,0 %	- lluvioso
15,0 - 25,0 %	- muy lluvioso

Entonces, la distribución pluvial relativa presentada en forma de climadiagrama representa la sucesión de los períodos secos y lluviosos. Su catalogación según la forma, en transcurros de onda simple doble y múltiple (que está de acuerdo con la influencia de los sistemas de circulación) comprende 10 tipos: 0-9 (76). Diferenciándose además los transcurros del tipo N ó S si el principal período seco se presenta a principios de año (enero-febrero) ó a mediados (julio-agosto) respectivamente.

Los climadiagramas se complementan con los transcurros relativos de otros elementos y se establecen 5 jerarquías que definen las características generales del clima local, a saber:

1. Tipo de transcurso (0-9)
2. Nivel pluviométrico o coeficiente P/B
3. Nivel térmico
4. Los valores correspondientes a la humedad relativa.
5. La evaporación o el déficit de saturación

Para las estaciones que sólo tienen observaciones de uno o dos elementos, los climadiagramas constituyen una ayuda valiosa para la inferencia del comportamiento dinámico de los demás elementos meteorológicos a partir de sus características implícitas en el tiempo reinante (76).

Con base en lo anterior se realizaron los siguientes trabajos:

1. Confección de 199 climadiagramas, que incluyó la representación gráfica de los valores de la precipitación mensual como porcentaje de la anual; las desviaciones de la temperatura media mensual con respecto a la t media anual; las desviaciones de la HR con respecto a su promedio anual; las desviaciones de la evaporación o del déficit de saturación y el coeficiente P/B.
2. Clasificación de los niveles anuales de la precipitación, temperatura media, HR, evaporación o déficit de saturación de acuerdo con los límites de la clasificación de Trojer.
3. Cartografía de los tipos de transcurso en una escala de 1:1,000,000
4. Trazo de isolíneas para delimitar las zonas de igual tipo de transcurso.

3.2.6. Otros elementos

Además de la precipitación y la temperatura, se observan algunos otros

elementos meteorológicos (humedad relativa, evaporación, brillo solar) en unas pocas estaciones, los cuales podrían ser utilizados por medio de los climadiagramas para la descripción del clima local (75). Sin embargo el mapa de zonas con análogo transcurso del tiempo reinante, hará posible ampliar geográficamente las observaciones locales dentro de una zona dada, pues los transcurros relativos del conjunto de elementos (relacionados por leyes físicas) reaccionan en forma característica bajo cada tipo del tiempo reinante.

3.2.6.1. Humedad Relativa

La humedad relativa no tiene ninguna relación latitudinal o altimétrica puesto que depende tanto del contenido del vapor de agua como de la temperatura del aire (76), como puede derivarse de la siguiente fórmula:

$$HR = \frac{e}{e \text{ max.}} \times 100$$

$$e = \rho_v R_v T$$

Donde:

e= tensión del vapor

R_v= constante específica del vapor de agua

ρ_v= humedad absoluta

T= temperatura absoluta (°K)

De ahí que un calentamiento o enfriamiento y el cambio de masas de aire influyen sobre la humedad relativa. Su ciclo diario es inverso al de la temperatura (76) y su transcurso relativo diferencia las épocas secas y húmedas (79).

Para el estudio de este elemento se contó con datos de 11 estaciones de

la República Dominicana, los que fueron analizados de la siguiente manera: cálculo de los promedios mensuales y anuales, y de las desviaciones de los promedios mensuales con respecto al promedio anual.

3.2.6.2. Déficit de saturación

El déficit de saturación, o sea, la diferencia entre la presión parcial del vapor de agua que satura el aire ($e_{max.}$) a una temperatura dada, y la presión parcial del vapor de agua presente en el aire (e) se calculó con base en la humedad relativa (HR) de 5 estaciones, utilizando la fórmula (9):

$$\begin{aligned}\Delta e &= (e_{max} - e) = e_{max.} - \frac{HR}{100} e_{max.} \\ &= \left(1 - \frac{HR}{100}\right) e_{max.}\end{aligned}$$

Los pasos seguidos para la estimación fueron: cálculo del déficit de saturación de cada mes, cálculo de los promedios mensuales y anual, y de las desviaciones de los promedios mensuales con respecto al anual.

3.2.6.3. Evaporación

La cantidad de evaporación de una superficie de agua libre es de principal importancia en la determinación del balance hídrico de lagos, embalses, mares, etc.

Para el estudio de la evaporación se utilizaron los datos de 8 estaciones meteorológicas de la República Dominicana y Haití, que se indican en el Cuadro 8:

Cuadro 8. Estaciones que suministraron datos de evaporación.

Estación	Tipo de tanque	Período
Santo Domingo	tanque tipo A	enero 1958 - abril 1968
Moca	tanque tipo A	sept. 1956 - abril 1968
Dajabón	evaporígrafo (báscula)	enero 1959 - dic. 1968
Constanza	tanque A (?)	mayo 1966 - dic. 1968
Valverde	tanque A (?)	oct. 1964 - dic. 1968
Central Romana	tanque A (?)	enero 1961 - dic. 1968
Puerto Príncipe	evaporígrafo	oct. 1938 - sept. 1939
Desronville	tanque A	enero 1965 - dic. 1966

El análisis de la evaporación se concretó al cálculo de los promedios mensuales y anuales de la evaporación y de las desviaciones de dichos promedios mensuales con respecto al anual. Además se investigó la influencia del tipo de tiempo en la evaporación, utilizando para ello los datos diarios de Santo Domingo, Moca y Dajabón de 8 días ciclónicos y anticiclónicos del año 1960 (86).

También se estudió la correlación existente entre la evaporación medida en tanque y el déficit de saturación. Este estudio se realizó conjuntamente con el estudio de la correlación entre la evaporación del tanque y la fórmulas empíricas utilizadas para estimar la evapotranspiración. El procedimiento estadístico se detalla más adelante.

3.2.6.4. Estudio de la radiación

La energía solar que recibe la superficie terrestre (radiación) es un elemento meteorológico que tiene mucha influencia sobre los demás. De la radiación depende la periodicidad de los procesos atmosféricos (76). La radiación es el elemento fundamental de la climatología física, y se de

be considerar tanto sus aspectos cuantitativos (intensidad, duración) como sus aspectos cualitativos (composición) (31).

La suma del flujo radiante al nivel de la superficie de la tierra corrientemente llamada radiación total resultante ó balance de radiación se puede expresar de la siguiente manera:

Según la notación de Budyko (5)

$$R = (Q+q) (1-\alpha) - I$$

Donde:

R = flujo radiante a nivel de la superficie terrestre

Q = radiación directa

q = radiación solar difusa

α = albedo

I = irradiación efectiva ó radiación terrestre resultante

Según la notación de Flohn (19)

$$Q = (S+H) (1-\alpha) - (E-G)$$

Donde:

Q = balance de radiación en la superficie terrestre

S = radiación solar

H = radiación solar difusa

$(S+H) (1-\alpha)$ = radiación global efectiva

E = radiación terrestre de ondas largas

G = contra-radiación celeste de ondas largas

$(E-G)$ = radiación terrestre resultante

La estimación de los componentes de la radiación para la estación de Santo Domingo se hizo mediante los siguientes métodos:

3.2.6.4.1. Estimación de la radiación global

Método de Budyko

Tomando los valores mensuales de la radiación global para un cielo sin nubes, se estimó la radiación reducida de acuerdo con los datos de nubosidad observada para Santo Domingo, tomados de la publicación del SMN (43). Para este fin se utilizó la fórmula de Sabino-Angstrom (5).

$$(Q+q)=(Q_0+q_0) [1-(1-K)n]$$

Donde:

(Q_0+q_0) = radiación global en un cielo sin nubes

n = cantidad promedio de nubes en décimos

K = coeficiente que toma en cuenta el efecto de la nubosidad sobre la radiación

Método de Penman

Utilizando las tablas de McCulloch se estimó la radiación solar para $18,5^{\circ}N$ sobre una superficie horizontal en el tope de la atmósfera y se calculó la radiación de acuerdo con el procedimiento propuesto originalmente por Penman y modificado por McCulloch (37).

$$R_c=R_a (0,29 \cos\varphi + 0,52 n/N)$$

Donde:

$R_c \approx (Q+q)$

R_a = radiación extraterrestre en el límite exterior de la atmósfera

φ = latitud

$$\frac{n}{N} = \frac{\text{horas sol observadas}}{\text{horas sol astronómicamente posibles}}$$

3.2.6.4.2. Estimación de la radiación global efectiva

Método de Budyko (5)

$$\begin{aligned} \text{radiación global efectiva} &= (Q+q) - (Q+q)\alpha \\ &= (Q+q) (1-\alpha) \end{aligned}$$

Fueron utilizados dos valores del albedo

$$\alpha = 0,25 \text{ sabana (época seca)}$$

$$\alpha = 0,18 \text{ sabana (época húmeda)}$$

3.2.6.4.3. Estimación de la radiación terrestre resultante $I=(E-G)$

Método de Budyko (5)

$$I = I_0 (1-cn)$$

$$I_0 = S_0 T_{\omega}^4 (0,39 - 0,058 \sqrt{e})$$

Donde:

n = cantidad promedio de nubes de décimos

c = coeficiente

e = tensión del vapor en mm Hg

σ = constante de Stefan-Boltzman

T_{ω} = temperatura de la superficie en $^{\circ}K$

3.2.6.5. Brillo solar

En la medición del brillo solar (insolación), los heliográficos regis-

tran información sobre la duración de la radiación directa (Q), su distribución horaria y su variabilidad (interrupción por nubes densas). Solamente en las estaciones de Santo Domingo y La Romana se dispone de datos de brillo solar para República Dominicana. En el estudio de FAO (21) se reportan mediciones en Desronville y Port-au-Prince.

En vista de la escasa información disponible de este elemento, el estudio se limitó a comprobar lo expuesto por Trojer (76) de que en una zona de transcurso similar hay un marcado paralelismo entre el coeficiente P/B y la precipitación porcentual (P %), el cual permite la estimación del brillo solar a partir de mediciones de la precipitación. Con base en dicha premisa se calcularon para la estación de Santo Domingo el coeficiente P/B mensual (precipitación en mm/horas de sol) para el período enero 1960-abril 1968 y la correlación entre P % y P/B.

3.2.7. Balances hidrológico y calerífico

El cálculo del balance hidrológico es una pieza fundamental en todos los estudios de recursos hidráulicos. Siguiendo la nomenclatura de Budyke (6) se establece la siguiente ecuación:

$$r = E+f+\Delta$$

Donde:

r = precipitación

E = evaporación o condensación

f = escorrentía total (escorrentía superficial + flujo total de humedad en el tiempo x)

Δ = variación del contenido de agua en el tiempo x

Los problemas que plantea la medición de la escorrentía, han dirigido la atención hacia la solución de la ecuación del balance hídrico a través del conocimiento de la evaporación bajo condiciones naturales. Sin embargo, la falta de mediciones de la evaporación bajo condiciones naturales ha dado lugar a diferentes enfoques para su estimación, que se pueden resumir de la manera siguiente:

- 1) Utilización de datos climáticos fácilmente asequibles para estimar mediante fórmulas empíricas, la evapotranspiración de un campo de cultivo sin restricciones de agua (evapotranspiración potencial), ó el uso consuntivo (3) que incluye además de la evaporación y la transpiración, el agua utilizada para la construcción de tejidos y el agua interceptada por el follaje. Este procedimiento es de frecuente aplicación en la ingeniería de riego.
- 2) Otro enfoque consiste en la estimación de la evaporación a partir del balance calórico. De acuerdo con Budyko (5), en el proceso de evaporación natural las tasas de evaporación aparecen tanto en la ecuación del balance hidrológico como en la del balance calórico. En esa forma se establece un eslabón directo entre los procesos de intercambio de calor y agua que permite la estimación de sus componentes.

$$r = E+f+\Delta \quad (5)$$

$$R = L E + P \quad (5)$$

Donde:

R = flujo radiante al nivel de la superficie
de la tierra (balance de radiación)

L = calor latente de evaporación

P = corriente turbulenta de calor entre la superficie subyacente y la atmósfera

Así, dentro de los alcances y limitaciones de este trabajo, se estimó oportuno estudiar mediante procedimientos estadísticos las correlaciones entre diversos métodos para la estimación de la evapotranspiración potencial, y comparar los resultados del cálculo del balance hidrológico según las proposiciones de Budyko con el coeficiente P/B de Trojer.

Para el estudio de las correlaciones entre los métodos de estimación de la evapotranspiración se utilizaron los datos de las dos estaciones, anotadas y descritas se dan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Estaciones utilizadas para el estudio de la evapotranspiración y período de los datos

Estación	Latitud	Longitud	Altura	Período de datos
Moca	19° 24'	70° 31'	196,0 m	ix-1960/iv-1968
Santo Domingo	18° 28'	69° 51'	14,0 m	I-1958/iv-1968

Los métodos de determinación de la evapotranspiración utilizados fueron Thornthwaite, Holdridge, Blaney Criddle y Blaney-Morin cuyas fórmulas se presentan más adelante. Se buscó la correlación entre los resultados del cálculo (evapotranspiración mensual) con la evaporación medida en un tanque tipo A.

Ecuación de Thorntwaite

Este método está basado en una relación exponencial entre la temperatura media mensual y la evapotranspiración potencial (90).

$$U = 1,6 \left(\frac{10 t_i}{TE} \right)^a$$

Donde:

$$a = \frac{675}{10^9} TE^3 - \frac{771}{10^8} TE^2 + \frac{1792}{10^5} TE + \frac{49239}{10^5}$$

$$TE = \sum_{i=1}^{i=12} \left(\frac{t_i}{5} \right)^{1,514}$$

U = evapotranspiración potencial en cm

t_i = temperatura media mensual en °C

TE = índice de eficiencia de la temperatura, que debe ser corregido para los diferentes meses por un coeficiente que es función del mes y la latitud.

Para el cálculo de U = ETP-PET se usaron las tablas de Thornthwaite (68).

Ecuación de Holdridge (27)

Evapotranspiración potencial en mm

$$= 58,93 \frac{\text{período unitario de tiempo}}{\text{número de unidades de tiempo en 1 año}}$$

[temperatura media del crecimiento de la planta en °C]

Ecuación de Blaney-Morin (90)

$$U = kp \frac{45,7t + 813}{100} \quad (114,0\text{-HR})$$

Donde:

p = porcentaje mensual de las horas luz del año

HR = humedad relativa media mensual

t = temperatura media mensual en °C

k = coeficiente empírico que varía con el tipo de vegetación.

También varía con el mes y la localidad.

Ecuación de Blaney Criddle (4)

$$U = kp \frac{(45,7t + 813)}{100}$$

3.2.7.1. Procedimiento estadístico

Para verificar la coincidencia o divergencia entre los diferentes métodos de estimación de la evapotranspiración y la medida en tanque, así como entre algunos índices climáticos se utilizó el método de correlaciones que se describe a continuación

Si llamamos x_{1i} la evaporación medida en tanque para el mes i

x_{ki} la evapotranspiración calculada según el método k

(k=2,3, ...k) para el mes i(i=1,2, ...n)

se puede escribir la matriz del modelo en la siguiente manera:

$$\begin{bmatrix}
 (x_{11} - \bar{x}_1) & (x_{21} - \bar{x}_2) & (x_{31} - \bar{x}_3) & \dots & (x_{k1} - \bar{x}_k) \\
 (x_{12} - \bar{x}_1) & (x_{22} - \bar{x}_2) & (x_{32} - \bar{x}_3) & \dots & (x_{k2} - \bar{x}_k) \\
 (x_{13} - \bar{x}_1) & (x_{23} - \bar{x}_2) & (x_{33} - \bar{x}_3) & \dots & (x_{k3} - \bar{x}_k) \\
 \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\
 (x_{1n} - \bar{x}_1) & (x_{2n} - \bar{x}_2) & (x_{3n} - \bar{x}_3) & \dots & (x_{kn} - \bar{x}_k)
 \end{bmatrix}$$

ó en forma vectorial:

$$\left[X = \underline{X_1}, \underline{X_2}, \underline{X_3} \dots \underline{X_k} \right]$$

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_{1i} \cdot x_{2i}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_{1i}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n x_{2i}^2}} = \frac{\sum (x_{1i} - \bar{x}_1) (x_{2i} - \bar{x}_2)}{\left[\sum (x_{1i} - \bar{x}_1)^2 \right]^{1/2} \left[\sum (x_{2i} - \bar{x}_2)^2 \right]^{1/2}} = r_{12}$$

$$\Delta_{x_k x_k}^{-1/2} X' X \Delta_{x_k x_k}^{-1/2} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_1 \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_1 & \dots & \dots & r \end{bmatrix} = R$$

Donde:

r_{jl} = coeficiente de correlación lineal

El cálculo de esta matriz se realizó en una computadora IBM-1620, de la Universidad de Costa Rica.

3.2.7.2. Balance hidrológico a partir del balance calorífico

Para la determinación del balance hidrológico a partir de los datos de la estación de Santo Domingo, la evaporación se estimó de acuerdo con los coeficientes de Budyko (5) para la solución de la ecuación:

$$\frac{r}{R} = f \left(\frac{E}{Lr} \right)$$

Finalmente se comparó la clasificación de Budyko con base en sus coeficientes: $R, \frac{r}{R}$, con el coeficiente P/B (precipitación / brillo solar) propuesto por Trojer para la clasificación del tiempo reinante, que se resume en el Cuadro siguiente:

Cuadro 10. Amplitud de P/B y tiempo reinante (76)

Intervalo de P/B	Tiempo reinante
0 - 0,33	muy seco
0,33 - 0,66	seco
0,66 - 1,33	seco variable
1,33 - 2,00	lluvioso variable
2,00 - 3,00	siempre lluvioso
3,00 - 5,00	períodos muy lluviosos
> 5,00	lapsos altamente lluviosos

3.3. Patrones de precipitación de huracanes

Para esta parte del trabajo se reunieron los datos correspondientes a las precipitaciones habidas sobre la República Dominicana durante el paso de 19 huracanes en el período 1943-1964. Las fuentes principales de información fueron los archivos del Departamento de Meteorología de la Secretaría de Agricultura de la República Dominicana* y las publicaciones del Weather Bureau (86). Además se compilaron las precipitaciones diarias sobre Haití al paso del huracán Flora (24) y la tempestad Florence (86).

Del conjunto de ciclones catalogados, se seleccionaron los huracanes Flora y Ella, ambos con trayectoria al sur de la isla, y que están considerados entre los principales que la han afectado (41). Por otra parte, se consideró la tempestad tropical Florence, tanto por haberse desplazado en dirección oeste, a unos 110 km al norte de la República Dominicana, como

* oficio no. 33 del 10 de marzo de 1969 del Encargado de la División de Ciclonología y Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura, República Dominicana.

porque además se disponía de mapas sinópticos y de los datos de precipitación diaria en Haití (84,86).

Para tomar en consideración el rápido desplazamiento de los huracanes y correlacionar las modificaciones de los modelos de precipitación con sus trayectorias ya conocidas (24,84,88) se prepararon mapas diarios con las precipitaciones observadas en las diferentes estaciones meteorológicas. En el Cuadro 11 se enumeran las fechas de los mapas de precipitación que se prepararon.

Cuadro 11. Huracanes y tempestades tropicales estudiados en el área de la isla de Santo Domingo.

Huracán	Tempestad	Fechas	Año
Flora	2,3,4,5, octubre	1963
Ella	31 ago. y 1º set.	1968
	Florence ...	18-19 set.	1960

Para el trazado de las isoyetas se utilizaron (por indicación de Trojer), los mismos conceptos dinámicos que se tuvieron en cuenta para los mapas de precipitación.

Con base en los datos de precipitación se interpretaron los procesos dinámicos de convergencia y divergencia y sus modificaciones por el relieve (estancamiento y foehn). Seguidamente se ajustó un modelo hidrodinámico de una circulación perturbada y se interpretó el flujo general que acompañaba el desplazamiento del ciclón, y finalmente, se trazaron isoyetas de: 15,25, 50,75,100,150,200,250,300,400, mm que se extendieron aún a las zonas sin in formación, en estricto acuerdo con el modelo hidrodinámico.

3.4. Estudio de la estructura de las series de precipitación

Para este estudio se seleccionaron los registros mensuales de precipitación de las estaciones de Puerto Plata y Santo Domingo entre los años 1918 y 1967.

Un requisito esencial para un análisis cronológico es que las series sean temporalmente homogéneas; descartando por el momento los errores introducidos a lo largo del proceso de medición, habrá que separar las series en sub-series que abarquen los períodos correspondientes a la actuación de cada sistema de circulación (TF, STN, ITC), que tiene un nivel de agua precipitable característico, debido a las propiedades de las masas de aire actuantes (humedad absoluta, temperatura, densidad) (66).

Como no es fácil determinar con precisión los días donde comienza y termina la actividad de cada sistema durante cada año, se hizo un análisis separado de los valores de precipitación de cada mes, correspondiente al transcurso 1918-1967, apoyándose en el estudio de la precipitación (parr. 3.2.4.2.) que determinó la posición promedio de los sistemas actuantes con base en los mapas isoporcentuales.

El análisis de las series cronológicas de precipitación mensual se llevó a cabo por medio de un análisis armónico, basado en la serie de Fourier (12,42), que a continuación se expresa simbólicamente:

$$y_{kt} = \bar{y}_k + \sum_{i=1}^{i=n/2} \left[A_i \left(\text{sen } \frac{360\Omega}{P} it \right) + B_i \cos \left(\frac{360\Omega}{P} it \right) \right]$$

Donde:

y_{kt} = precipitación del mes (k) del año (t)

$$\bar{y}_k = \frac{1}{N} \sum y_{kt}$$

N = número de observaciones

t = tiempo en años ($t = 1 = 1918, \dots, t = 50 = 1967$)

i = orden del armónico ($i = 1, \dots, \frac{N}{2}$)

P = período fundamental ó período total de la función periódica

($P = 50$ años)

Los coeficientes A_i, B_i se determinan resolviendo el sistema de ecuaciones cuya expresión matricial es la que sigue:

$$\begin{bmatrix}
 \text{sen}\left(\frac{360^\circ}{T} 1 \cdot 1\right) \dots \text{sen}\left(\frac{360^\circ}{T} i \cdot 1\right) \dots \text{cos}\left(\frac{360^\circ}{T} 1 \cdot 1\right) \dots \text{cos}\left(\frac{360^\circ}{T} i \cdot 1\right) \dots \\
 \vdots \\
 \text{sen}\left(\frac{360^\circ}{T} 1 \cdot N\right) \dots \text{sen}\left(\frac{360^\circ}{T} i \cdot N\right) \dots \text{cos}\left(\frac{360^\circ}{T} 1 \cdot N\right) \dots \text{cos}\left(\frac{360^\circ}{T} i \cdot N\right) \dots
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 A_1 \\
 \vdots \\
 A_i \\
 \vdots \\
 B_1 \\
 \vdots \\
 B_i \\
 \vdots \\
 B_{\frac{N}{2}}
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 Y_{k1} \\
 \vdots \\
 Y_{kN}
 \end{bmatrix}$$

que en la notación simplificada se puede expresar en la siguiente forma:

$$X \underline{\varphi} = \underline{Y}$$

Donde:

X = matriz del modelo

φ = parámetro vector cuyos componentes son A_i, B_i

Y = vector aleatorio que respresenta la precipitación cuya $E(\underline{Y}) = X\varphi$

La solución de esta ecuación es relativamente simple ya que la matriz del modelo es completamente ortogonal (42), por consiguiente:

$$(X'X) \underline{\varphi} = X' \underline{Y}$$

Donde los coeficientes de las ecuaciones normales integran una matriz diagonal, haciendo posible su determinación separada

$$\underline{\hat{\varphi}} = (X'X)^{-1} X' \underline{Y}$$

o sea

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ \vdots \\ A_{\frac{n}{2}} \\ B_1 \\ \vdots \\ B_{\frac{n}{2}} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{2}{N} & & & & & \\ & 0 & & & & \\ & & \frac{2}{N} & & & \\ & & & \frac{2}{N} & & \\ & & & & 0 & \\ & & & & & \frac{1}{N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sum y_{k1} \operatorname{sen} \left(\frac{360^\circ}{T} 1 t \right) \\ \vdots \\ \sum y_{kN} \operatorname{cos} \left(\frac{360^\circ}{T} \frac{N}{2} t \right) \end{bmatrix}$$

Este cálculo de los coeficientes A_i , B_i es similar a una regresión lineal múltiple en la cual los armónicos intervienen como variables independientes. En resumen, se calcularon 12 pares de coeficientes (A_i , B_i); la confiabilidad la da por el coeficiente de determinación R^2 .

A partir de los coeficientes A_i y B_i , se calcularon (40):

$$C_i = \sqrt{A_i^2 + B_i^2}$$

$$t_i = \frac{P}{360 i} \operatorname{arc} \operatorname{tg} A_i / B_i$$

Donde:

C_i = amplitud del armónico i

t_i = tiempo al cual el armónico i presenta un máximo

Esto permite obtener una forma simplificada de la serie de Fourier:

$$y_{kt} = f(t) = \bar{y}_k + \sum_{i=1}^{i=n/2} C_i \cos \frac{360}{P} i (t - t_i)$$

Finalmente, para el estudio de la estructura de las series, se calcularon las contribuciones del armónico (i) a la variancia espectral:

$$\frac{C_i^2}{2} = \frac{A_i^2 + B_i^2}{2}$$

y se trazaron los espectros correspondientes de $C_i^2/2$ como función de i (42)

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Macrotiempo

En el Cuadro 12 se pueden apreciar las frecuencias relativas de las diversas situaciones ciclónicas y anticiclónicas que corresponden a la actuación de los diferentes sistemas que rigen en gran escala, el desarrollo del tiempo sobre la isla de Santo Domingo.

Aunque el estudio abarca las situaciones de un año solamente, su expresión porcentual resalta las características más sobresalientes, siendo posible observar el cambio de situaciones NW y S, a inicios de año, a situaciones SE y NE de alta frecuencia entre junio y septiembre, y nuevamente el predominio de situaciones NW y S desde octubre en adelante. Obviamente, esto es consecuencia de la actuación secuencial de los diferentes sistemas frontales (TF, STN, ITC) que se movilizan simultáneamente con el transcurso estacional del sol, desde una posición meridional a inicios de año hasta una máxima septentrional a mediados, mientras que durante los últimos meses se produce el regreso de todos los sistemas hacia el sur.

Cuadro 12. Frecuencias relativas de las situaciones del macrotiempo sobre la isla de Santo Domingo durante el año 1960

Macrotiempos: Situaciones	Ciclónicos				Anticiclónicos			
	NW	S	SE	NE	NW	S	SE	NE
Enero	12,8	22,6		6,50	12,9	22,6	6,5	16,1
Febrero	6,9	13,8			34,5	20,7	17,2	6,9
Marzo		38,7			38,7	12,9	9,7	
Abril	33,3	26,7			23,3	6,7	3,3	6,7
Mayo	25,8	25,8			19,4	29,0		
Junio	3,3	16,7	13,3	26,7	3,3	16,7	10,0	10,0
Julio	3,2	6,5	16,1	29,0	3,2	3,2	22,6	16,1
Agosto	3,2		25,8	25,8	9,7	6,5	12,8	16,1
Septiembre	10,0	16,7	13,3	26,7	3,3	6,7	6,7	16,7
Octubre	3,2	12,9	6,5	6,5	22,6	32,3	6,5	9,7
Noviembre	30,0	13,3			16,7	6,7	10,0	23,3
Diciembre	25,8	9,7	3,2	3,2	38,7	6,5	6,5	6,5

4.1.1. Masas de aire actuantes para la isla de Santo Domingo

El estudio de los mapas sinópticos del Hemisferio Norte (84) acompañado de un breve examen de mapas más detallados de los E.U. (89) permitió diferenciar durante el transcurso, las masas más importantes que participan en el desarrollo del macro tiempo y su fuente de origen(59); de esta manera, aunque no se cuenta con datos de sus características, es posible indicar sus principales diferencias con base en sus condiciones originales.

Las masas más importantes en relación con la isla de Santo Domingo son las originadas en el cinturón septentrional de altas presiones 30-40°N (zonas de convergencia de las latitudes medias) y en las zonas de alta presión de los subtrópicos. Por carecer de valores absolutos para la diferenciación de su estado calórico y del contenido de humedad, haremos su denominación (w:caliente; k: fría) en términos relativos, tanto con respecto a la posición geográfica como al través del año. Esto permite diferenciar:

La m Sk (marítima subtropical fría) derramada por el centro de alta presión del Atlántico Norte.

La cP + mT (continental polar + marítima tropical), según el Weather Bureau (89), derramada por el Centro de alta presión del Golfo de México.

La mSw que es para Colombia mSk y corresponde a la Tw para las latitudes medias en agosto (71), derramada por el centro de alta presión del Mar Caribe.

4.1.2. Frentes en los trópicos

El concepto de sub-circulaciones opuestas dentro de la circulación general y el concepto de masas de aire requieren que exista algún límite entre corrientes y masas de aire con propiedades opuestas. Estos límites o zonas de transición se denominan frentes.

En un frente las dos masas de aire con propiedades diferentes alcanzan el equilibrio bajo una superficie de contacto inclinada. Esto es debido a que además de la gravedad actúan otras fuerzas como la de Coriolis y la fricción. Según Margules (74) la pendiente del frente está dada por la ecuación:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2w \operatorname{sen} \varphi}{g} \frac{v_1 t_2 - v_2 t_1}{t_2 - t_1}$$

Donde:

w = velocidad angular de rotación

φ = latitud

v_1 y t_1 = velocidad y temperatura de la masa fría

v_2 y t_2 = velocidad y temperatura de la masa caliente

g = aceleración de la gravedad

En los trópicos los contrastes térmicos son muy pequeños, sin embargo es posible considerar la formación de frentes ya que aún con pequeñas diferencias b́aricas, el contraste de velocidades ($v_1 - v_2$) es mayor que en las zonas de latitudes medias.

De acuerdo con la ecuación del viento geostrófico, cuando $\Sigma \bar{F} = \bar{G} + \bar{C} = 0$ tomando el valor del gradiente por unidad de masa, se ilustra simbólicamente este hecho:

$$\begin{aligned} |\bar{G}| &= |\bar{C}| \\ \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dn} &= v \, 2w \operatorname{sen} \varphi \\ v &= \frac{1}{\rho \, 2w \operatorname{sen} \varphi} \cdot \frac{dp}{dn} \\ \frac{\delta v}{\delta \varphi} &= \frac{dp}{2w \operatorname{sen}^2 \varphi} \end{aligned}$$

para $\varphi = 45^\circ$

$$\frac{\cos \varphi}{\sin^2 \varphi} = \frac{0,707}{0,50} = 1,42$$

para $\varphi = 15^\circ$

$$= \frac{0,966}{(0,259)^2} = 14,40$$

De esta manera se puede compensar el menor contraste de las temperaturas.

4.1.3. Situaciones típicas correspondientes a los meses de diciembre, enero y febrero

Sobre el territorio de E.U. el aire continental polar (cP) forma con el aire tropical (mT) el frente polar; las continuas irrupciones polares (polar outbreak) empujan la masa transformada (cP + mT) hacia el sur, a través del Golfo de México, formándose así, con la masa subtropical y la derramada por el anticiclón del Atlántico Norte que está muy activo, un frente que es reconocido muchas veces en los mapas sinópticos y que denominaremos TF. Las situaciones que se ilustran a continuación caracterizan a los meses arriba mencionados:

NW: Predomina en diciembre y principios de enero y produce tiempo de chubascos en todo el país

NE: Produce estancamiento con llovizna ligera, y prolongada; este tiempo recibe el nombre de "norte"

SW: Produce estancamiento y foehn

A fines de febrero tiene lugar la posición más meridional de las masas frías, ocurriendo en la costa norte el mes más frío. Siendo el aire frío inestable sobre la tierra caliente, se producen circulaciones locales, pero éstas alcanzan poco desarrollo debido a la inversión que se produce al sobrepasar la cuña de aire frío.

4.1.4. Situaciones típicas correspondientes a los meses de abril y mayo

Es posible observar en el Cuadro 13 la secuencia de situaciones correspondientes a la actividad del frente STN (sub-tropical norte).

Sobre el Golfo de México se ha constituido una zona de alta presión y en el sur está activo el anticiclón del Mar Caribe que derrama la mSw, mientras que el anticiclón casi estacionario del Atlántico empuja la mSk, con dirección NE. De este modo, inmediatamente después de las situaciones anticiclónicas SW y NW aparecen las situaciones ciclónicas del frente STN.

Cuadro 13. Secuencia de situaciones correspondientes al predominio del sistema sub-tropical norte

Día	Abril	Mayo
1		B NW
2		B W
3		B SW
4		A SW
5		A NW
6		B W
7	A SW	B W
8	A NW	B W
9	B SW	B W
10	B SW	B SW
11	B SW	A SW
12	B SW	A SW
13	B SW	A SW
14	A W	A SW
15	A NW	A SW
16	B NW	A NW
17	B NW	B W
18	B NW	B SW
19	B W	B SW
20	B W	B S
21	B W	A SW
22	B NW	
23	B W	
24	B W	
25	B SW	
26	B SW	
27	B SW	
28	A W	
29	A NW	
30	A NW	

Este hecho concuerda con lo previsto por Trojer (29), es decir el frente STN tiene su posición promedio sobre la latitud de la isla de Santo Domingo y a partir de esta posición parten paulatinamente las traslocaciones de sur a norte y viceversa, de acuerdo con las causas extraterrestres que determinan la posición momentánea de los sistemas para todo el globo.

El STN constituye el sistema frontal más importante para el país, por cuanto determina el comienzo de la época de lluvias entre abril y mayo (traslación S-N), y el aumento de las mismas entre octubre-noviembre (traslación N-S).

La existencia de este frente se evidencia en forma inequívoca a través de los diferentes capítulos de este trabajo.

4.1.5. Situaciones típicas correspondientes al paso del sistema intertropical

La secuencia y frecuencia de situaciones correspondientes a los meses de junio, julio y agosto ajustaron perfectamente al modelo de circulación intertropical propuesto por Trojer (Fig.1). Este modelo está de acuerdo con las observaciones de la ITC sobre América Central y África (Physics Laboratory. John Hopkins University) (74) y supone también para el trópico, de acuerdo con la teoría de la ciclogénesis, la formación de frentes involucrados en solenoides béricos, los cuales están en permanente formación y destrucción. En todas las zonas de convergencia se presenta una actividad pluvial aumentada y en zonas de divergencia es notoria la disminución.

Cabe puntualizar que desde el mes de junio hasta mediados de julio de 1960 estuvo activa la rama norte del sistema de la ITC predominando las situaciones ciclónicas del SE-NE. En el mes de agosto (Cuadro 14) comienzan

Cuadro 14. Secuencia de situaciones correspondientes al paso de la ITC sobre la isla de Santo Domingo

Fecha	Macro tiempo	Situación	Tiempo presente	Circulación
Agosto 4	A	SE		
5	A	SE		
6		E		
7	B	NE	R	
8	B	SE		
9		E		
10	A	NW		
11	A	NW		
12	B	N	R	
13	B	NE		
14	B	SE		
15	B	NE		
16	A	SW		
17	A	SE	despejado	célula sur
18	A	NE		
19	B	SE		
20	B	E	R	
21	B	NE		
22	B	SE		
23	A	SW		
24	A	SE		
25	A	E	despejado	célula sur
26	A	E		
27	A	E		
28	B	NE	R	
29	B	SE	R	
30	B	SE		
31	A	NW		
Sept. 1*	A	NE	despejado	célula norte
2	A	SE		
3	A	SW		

R: **Tempestades**

* **Se inicia el descenso de los sistemas**



Zonas de convergencia de la ITC (Fig. 1)

las oscilaciones alrededor de la línea de convergencia, predominando las situaciones de convergencia NE-SE, acompañadas de tempestades, tal como los describió Trojer (74).

Los períodos sin precipitaciones del 16 al 18 de agosto y del 27, en los que predomina un flujo de vientos ciclónicos para el hemisferio norte, son la prueba de que la célula anticiclónica sur de la ITC está activa, la cual tiene circulaciones en sentido contrario.

Después del paso de la temporada de huracanes, se inicia el traslado de todos los sistemas hacia el sur. Por eso, en el mes de noviembre, en que aparecen de nuevo las altas frecuencias de situaciones NW-SW se presenta el regreso del frente STN, y en diciembre predominan los sistemas fríos del norte (TF), que como se ha visto, llegan a su posición más meridional en febrero.

4.1.6. Diferenciación regional

El predominio durante el año de situaciones: NW-SW entre abril-mayo y octubre-noviembre (sistema STN), y de situaciones NE-SE entre junio-septiembre (sistema intertropical), correspondientes a los sistemas con mayor cantidad de agua precipitable, y las modificaciones permanentes que imprimen los potentes sistemas montañosos que se reflejan en efectos hidrodinámicos (estancamiento y foehn) conducen a una diferenciación regional de la isla, que se hace evidente en forma gráfica en el mapa anual de lluvias.

4.2. Elementos meteorológicos

A continuación se presentan los resultados de esta parte del estudio:

4.2.1. Estudio de la temperatura

El análisis de las temperaturas máximas y mínimas durante 8 días del año 1960 del conjunto de estaciones situadas a lo largo de un perfil NS de la isla (Fig. 6) revela, en forma clara, la influencia del tipo de tiempo, así como la influencia de las características de la superficie sobre las variaciones y gradientes de la temperatura.

Durante días de buen tiempo, las variaciones ($t_{\max.} - t_{\min.}$) son más elevadas en los valles interiores, donde alcanzan 15-16°C, mientras que en las costas y laderas las oscilaciones son más atenuadas (< 10°C). Cabe observar que el calentamiento del foehn, que actúa de acuerdo con la dirección del flujo general, sobre la región norte o la sur, aumenta las oscilaciones térmicas principalmente en laderas y costas (Yásica, Azua) y que la diferente conversión de la radiación en zonas áridas y húmedas provoca oscilaciones menores en las últimas. Así, durante los días estudiados las oscilaciones en Azua fueron entre 3 ó 4°C superiores a las de Puerto Plata.

Durante días ciclónicos (mal tiempo) la variación de la temperatura es, en general, menor. Aún los valles mantienen variaciones relativamente altas (cerca de 10°C); la actuación de las circulaciones locales establece diferencias que explican las menores variaciones sobre las franjas intermedias (p.e. Jarabacoa), donde se superponen la nubosidad diurna y nocturna, mientras que en los niveles bajos y altos (Santiago, Constanza) la variación térmica es mayor.

Estudiando los gradientes de algunas estaciones del perfil, teniendo en cuenta que estos valores máximos y mínimos no son simultáneos, y la importante modificación que como hemos visto impone la topografía a la distribución vertical de la temperatura, puede destacarse que durante días

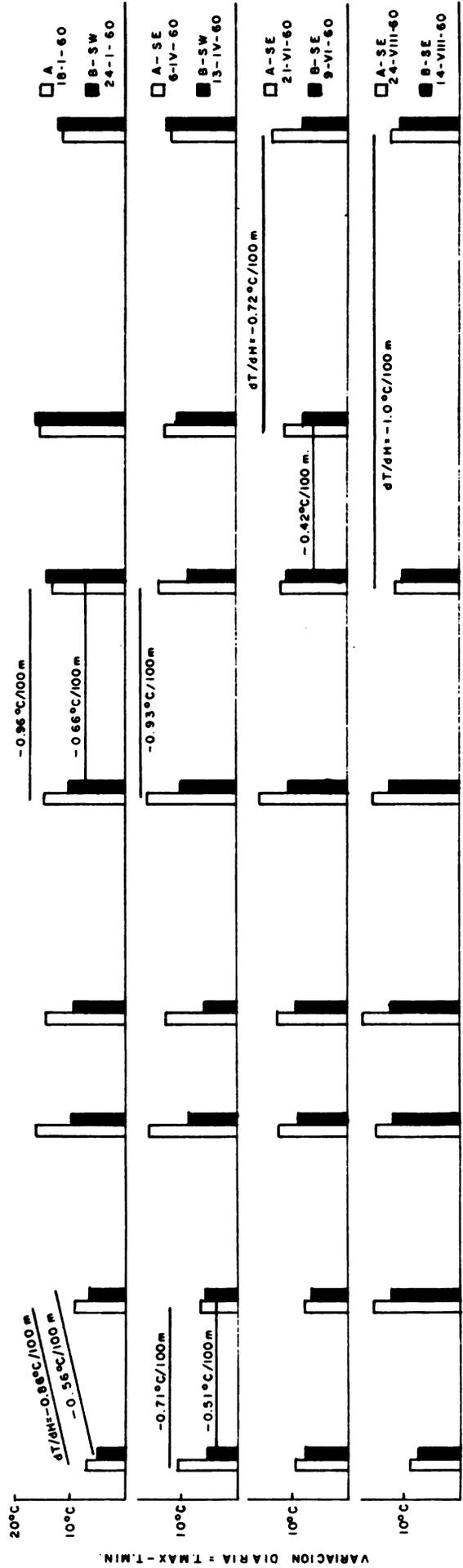
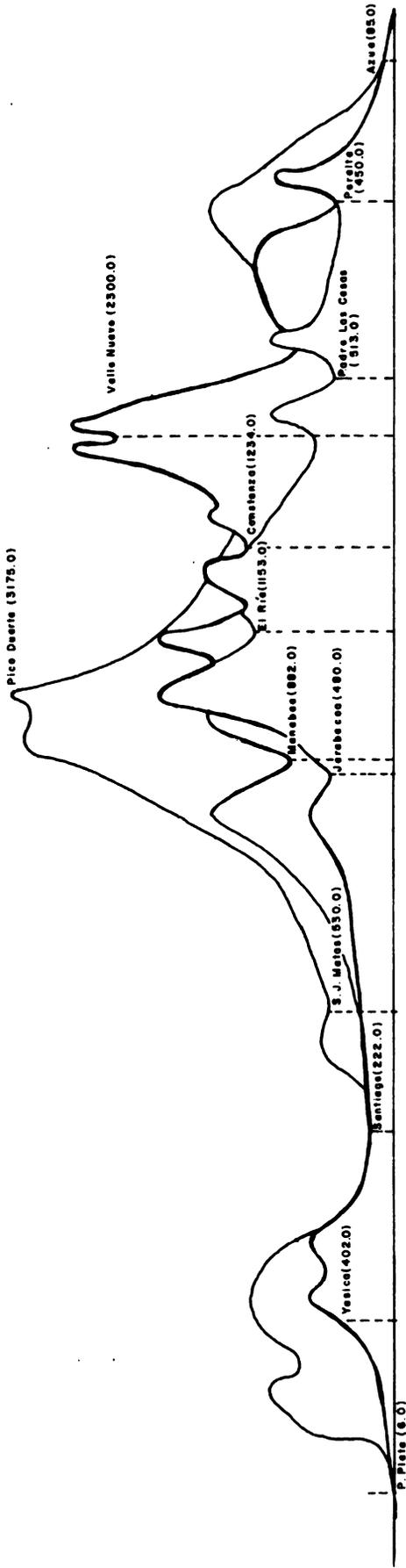


FIG. 6.--VARIACIONES DE LA TEMPERATURA (T.MAX.-T.MIN.) Y GRADIENTES TERMICOS ($\frac{dT}{dH}$) DURANTE DIAS ANTICICLONICOS Y CICLONICOS A LO LARGO DE UN PERFIL N-S DE LA ISLA DE SANTO DOMINGO

anticiclónicos el gradiente de t_{\max} . se aproxima al adiabático seco (0,70-1,00°C/100 m), mientras que durante días ciclónicos el gradiente de t_{\min} . se acerca al adiabático húmedo (0,40-0,60°C/100 m).

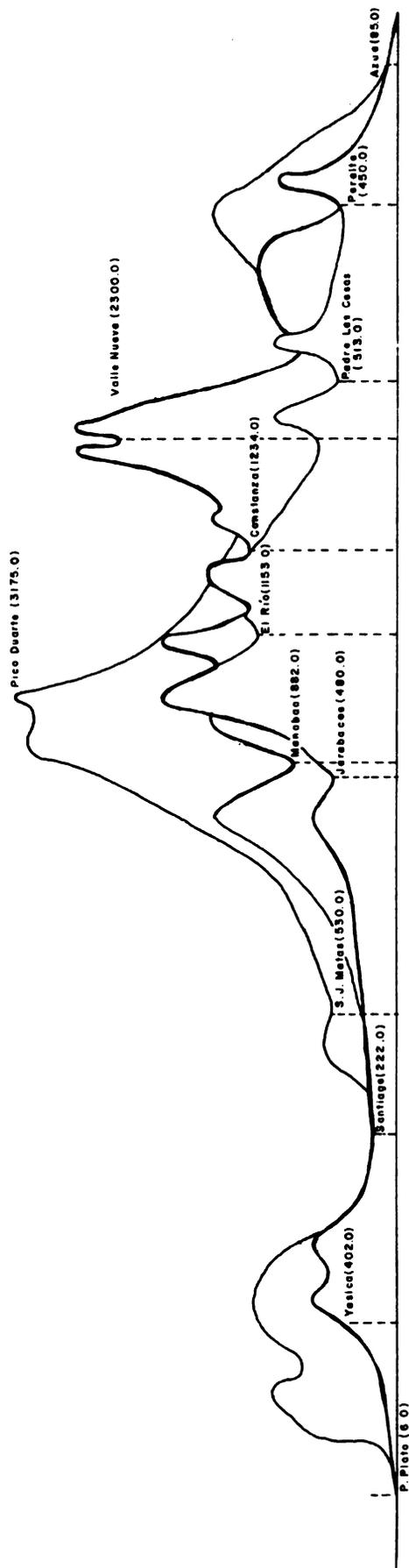
4.2.1.1. Temperatura media

A lo largo del perfil (Fig.7) se observa la variación altitudinal de la temperatura media. Los gradientes más bajos de la temperatura media anual se alcanzan entre las llanuras costeras y las primeras elevaciones (Puerto Plata-Yásica: 0,48°C/100 m ; Azua-Padre Las Casas: 0,32°C/100 m .) En las zonas de ascenso aparecen gradientes más elevados que alcanzan en promedio 0,72°C/100 m sobre la vertiente norte de la Cordillera Central, y 0,69°C/100 m sobre la vertiente sur.

El pronunciado gradiente Santiago-Jarabacoa (1,7°C/100 m) se debe al mayor calentamiento del valle del Cibao y a la rápida disminución de la temperatura que produce la nubosidad diurna en la zona de Jarabacoa.

En los niveles altos (Jarabacoa-Constanza-Valle Nuevo) el gradiente de la temperatura media anual se aproxima al adiabático húmedo.

Los cambios mensuales que presentan los gradientes de la temperatura media se explican por el transcurso anual del macrotiempo, y la diferenciación regional que produce la gran cordillera que se opone al flujo general , junto con las circulaciones locales en los grandes valles bajos y en los valles intramontanos de la isla. Así durante los meses de junio a septiembre, que corresponden al predominio de las situaciones del sistema intertropical (flujo predominante del SE), el gradiente Constanza-Valle Nuevo-Padre las Casas, alcanza sus valores más bajos (0,42-0,64°C/100 m) mientras que en la vertiente norte (Jarabacoa) son relativamente más altos que los del resto del año.



	$\frac{dT}{dH}$																
PROMEDIO ANUAL	25.3°	0.48	23.4°	26.1°	0.72	23.9°	1.67	21.8°	0.58	17.4°	0.44	12.1°	0.69	24.9°	25.7	0.32	26.9
ENERO	23.0	0.43	21.3	23.5	0.72	21.3	19.4	0.53	15.4	0.52	9.9	.68	25.0	24.2	25.1		
FEBRERO	22.9	0.58	20.2	24.1	0.75	21.8	19.8	0.54	15.7	0.31	10.3	.70	22.8	24.6	25.2		
MARZO	23.7	0.50	21.7	25.2	0.72	23.0	20.8	0.53	16.8	0.54	11.0	.71	23.7	25.5	26.0		
ABRIL	24.6	0.40	22.8	26.1	0.68	24.0	21.9	0.60	17.4	0.34	11.7	.74	24.8	24.9	26.8		
MAYO	25.4	0.60	23.0	26.6	0.72	24.4	22.5	0.58	18.1	0.58	11.9	.76	25.5	25.4	27.1		
JUNIO	26.8	0.53	24.7	27.6	0.65	25.0	23.2	0.66	18.2	0.51	12.8	.69	25.2	26.0	27.5		
JULIO	26.9	0.43	25.2	27.6	0.65	25.7	23.2	0.61	18.6	0.44	13.9	.65	25.6	27.7	28.1		
AGOSTO	27.2	0.53	25.1	27.8	0.55	26.1	23.8	0.69	18.6	0.43	14.0	.66	25.8	27.9	28.5		
SEPT.	27.2	0.35	25.8	27.8	0.68	25.7	23.3	0.64	18.5	0.42	14.0	.64	25.5	26.5	28.2		
OCTUBRE	26.8	0.30	25.6	27.1	0.72	24.9	22.6	0.64	17.8	0.42	13.3	.64	24.8	26.0	27.5		
NOV	25.2	0.40	23.6	25.6	0.78	23.2	21.7	0.58	17.3	0.53	11.7	.71	24.4	25.4	26.7		
DIC.	23.8	0.43	22.1	24.1	0.94	21.2	19.9	0.52	16.0	0.49	10.8	.70	23.4	23.8	25.6		

FIG. 7.- TEMPERATURAS MEDIAS Y GRADIENTES TERMICOS A LO LARGO DE UN PERFIL N-S DE LA ISLA DE SANTO DOMINGO.

Durante los primeros meses del año, con predominio de situaciones del N, que producen foehn sobre la vertiente sur, los gradientes de esta última región son los más elevados.

4.2.1.2. Gradientes de la temperatura máxima

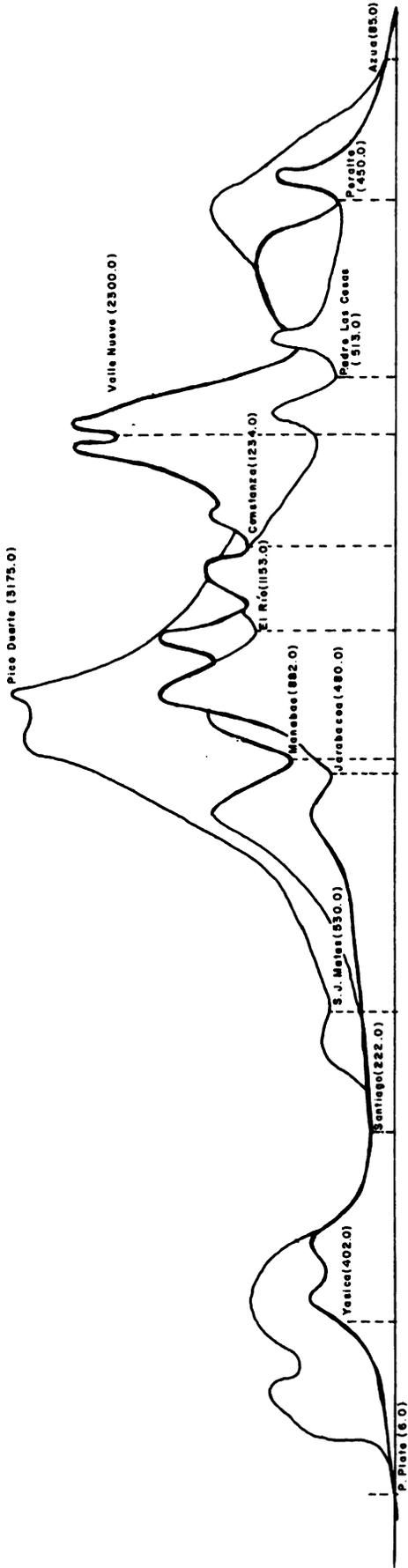
De la relación ya mencionada entre las temperaturas media mensual y las medias mensuales de las temperaturas máximas y mínimas, es evidente que las temperaturas máximas revelan aún mejor que las medias, los fenómenos asociados con el aumento de la temperatura (posición central, descenso adiabático, disolución de la nubosidad diurna, foehn) ó con la disminución de las máximas (nubosidad, etc.).

$$t_m = \frac{\bar{t} \text{ max.} + \bar{t} \text{ min.}}{2}$$

Para facilitar la interpretación de los gradientes, los valores observados se descomponen, mediante una simple transformación, en valores teóricos (t^*) y efectos locales (Δt) en la siguiente forma:

$$t = t^* + \Delta t$$
$$\frac{dt}{dh} = \frac{t_2 - t_1}{h_1 - h_2}$$
$$= \frac{(t_2^* - t_1^*) + (\Delta t_2 - \Delta t_1)}{h_1 - h_2}$$

Esto sugiere que un aumento relativo en valles ($\Delta t_2 > 0$) y una disminución relativa en zonas frecuentemente cubiertas por la nubosidad diurna ($\Delta t_1 < 0$), conlleva a valores muy altos del gradiente, como es el caso entre



	$\frac{dT}{dH} = -\frac{^{\circ}C}{100m}$		$\frac{dT}{dH}$												
PROMEDIO ANUAL	29.4°	0.48	27.5°	31.1°	0.38	29.3°	1.36	27.6°	0.40	24.6°	0.53	19.0°	64 30.4°	0.43	32.0°
ENERO	27.1	0.50	25.1	28.5	0.62	26.6		25.1	0.36	22.4	0.48	17.3	.65 29.0		30.6
FEBRERO	27.1	0.40	25.5	29.5	0.88	26.8		25.7	0.33	23.2	0.50	17.9	.64 29.3		30.6
MARZO	28.0	0.28	26.9	30.8	0.71	28.6		27.0	0.36	24.3	0.57	18.2	.66 30.0		31.3
ABRIL	28.6	0.28	27.5	31.6	0.68	29.5		27.7	0.38	24.8	0.54	19.1	.64 30.6		32.0
MAYO	29.4	0.45	27.6	31.0	0.52	29.4		27.7	0.38	24.8	0.60	18.4	.69 30.7		31.8
JUNIO	30.7	0.45	28.9	32.5	0.68	30.4		28.9	0.45	25.5	0.60	19.1	.64 30.6		32.4
JULIO	30.6	+0.05	30.8	32.5	0.42	31.2		29.3	0.46	25.8	0.52	20.3	.62 31.4		33.4
AGOSTO	31.2	0.30	30.0	32.8	0.29	31.9		29.7	0.50	25.9	0.50	20.6	.62 31.7		33.8
SEPT.	31.5	+0.05	31.7	32.9	0.49	31.4		29.3	0.46	25.8	0.48	20.7	.58 31.1		33.2
OCT.	31.1	0.20	30.3	31.9	0.45	30.5		28.4	0.41	25.3	0.57	19.6	.58 29.9		32.3
NOV.	29.4	0.28	28.3	30.4	0.35	28.7		26.9	0.37	24.1	0.56	18.1	.68 30.3		31.9
DIC.	28.0	0.53	25.9	28.4	0.52	26.8		25.1	0.28	23.0	0.46	18.1	.66 29.9		30.9

FIG. 8.- TEMPERATURAS MAXIMAS (PROMEDIO MENSUAL) Y GRADIENTES TERMICOS A LO LARGO DE UN PERFIL N-S DE LA ISLA DE SANTO DOMINGO

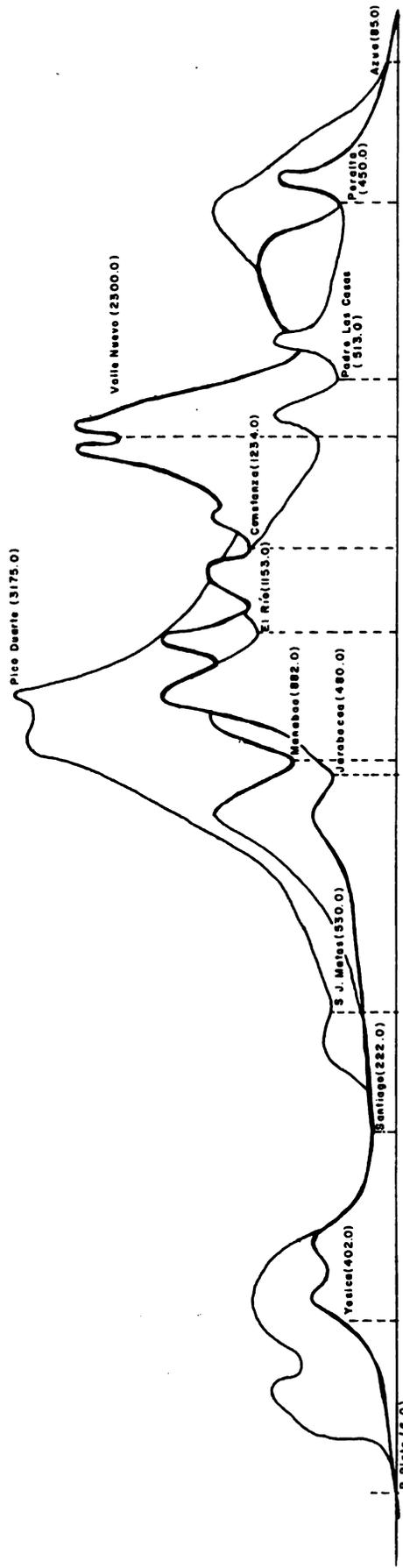
Jarabacoa y Santiago ($1,36^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) (Fig.8). Asimismo el fuerte calentamiento en altitudes menores de 500 m da por resultado gradientes bajos (Puerto Plata-Yásica: $0,48$; Santiago-Las Matas: $0,58$; Azua-Padre Las Casas: $0,43$).

En el transcurso de los gradientes de t_{max} , lo más notable son los gradientes en los meses de julio-agosto-septiembre en la costa norte y en el valle del Cibao. De nuevo esto se explica por el fuerte calentamiento debido al predominio de tiempo seco en esta región, y a la alta posición solar que regulan el comportamiento de los gradientes los cuales apenas llegan a $0,3^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$.

4.2.1.3. Gradientes de la temperatura mínima

La Fig. 9 presenta en forma análoga a las anteriores las variaciones altimétricas y regionales de la temperatura mínima. Los gradientes del promedio anual de las mínimas alcanzan $0,33$ en la costa atlántica y se elevan desde $0,81$ hasta $1,9^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ a lo largo de la vertiente norte de la Cordillera Central, disminuyendo en altitud (Jarabacoa-Constanza: $0,60^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$). Sobre la vertiente sur, el gradiente de t_{min} anual varía de $0,47$ a $0,75^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Los valores inferiores (coincidentes con el gradiente adiabático húmedo) corresponden al tramo Constanza-Valle Nuevo. Los más elevados, al ascenso Padre Las Casas-Valle Nuevo.

Los elevados gradientes de t_{min} . (Santiago-Jarabacoa: $1,9^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$) están asociados con el predominio de fuertes enfriamientos nocturnos ($\Delta t_1 < 0$) en los valles intramontanos, los cuales se registran después de noches lluviosas y despejamiento rápido en las horas de la madrugada.



	P. Plata (6.0)	Santiago (222.0)	S. J. Mateo (530.0)	Manabaco (882.0)	El Rio (1133.0)	Cmetsara (1234.0)	Pico Los Coques (513.0)	Pico (450.0)	Azuar (850)					
	$\frac{dT}{dH} = -^{\circ}C/100m$	$\frac{dT}{dH}$	$\frac{dT}{dH}$ (SANTIAGO JARABACOA)	$\frac{dT}{dH}$	$\frac{dT}{dH}$	$\frac{dT}{dH}$	$\frac{dT}{dH}$	$\frac{dT}{dH}$	$\frac{dT}{dH}$					
	$^{\circ}$	$^{\circ}$	$^{\circ}$	$^{\circ}$	$^{\circ}$	$^{\circ}$	$^{\circ}$	$^{\circ}$	$^{\circ}$					
PROMEDIO ANUAL	21.2°	19.9°	21.1°	0.81	18.6°	1.9	16.1°	0.69	10.9°	0.47	5.4°	18.7°	0.68	21.6°
ENERO	18.8	16.7	18.6	0.84	16.0	1.86	13.8	0.80	7.8	0.46	2.5	14.9	1.07	19.5
FEBRERO	18.9	17.1	18.7	0.71	16.5	1.90	13.8	0.74	8.2	0.46	2.8	15.7	0.91	19.6
MARZO	19.4	18.0	19.5	0.71	17.3	1.94	14.5	0.70	9.2	0.46	3.8	17.0	0.84	20.6
ABRIL	20.6	19.5	21.1	0.75	18.8	1.90	16.2	0.73	10.7	0.54	4.4	19.0	0.63	21.7
MAYO	21.5	20.7	21.7	0.75	19.4	1.78	17.1	0.66	12.1	0.51	6.2	20.3	0.49	22.4
JUNIO	22.8	21.1	22.6	0.94	19.7	2.02	17.4	0.66	12.4	0.49	6.7	20.1	0.61	22.7
JULIO	23.2	21.4	22.7	0.81	20.2	2.06	17.4	0.64	12.6	0.44	7.5	20.0	0.72	23.1
AGOSTO	23.2	21.5	23.3	0.88	20.6	2.18	17.7	0.66	12.7	0.42	7.8	20.2	0.70	23.2
SEPT.	22.9	20.1	23.0	0.91	20.2	2.10	17.6	0.66	12.6	0.46	7.2	20.2	0.63	22.9
OCT.	22.3	20.1	22.2	0.84	19.6	1.94	17.2	0.66	12.2	0.45	7.0	19.9	0.58	22.4
NOV.	21.2	18.8	20.7	0.78	18.3	1.75	16.2	0.70	10.9	0.48	5.3	18.6	0.68	22.5
DIC.	19.6	17.8	19.4	0.91	16.6	1.86	14.6	0.73	9.1	0.47	3.6	17.0	0.68	19.9

FIG. 9.- TEMPERATURAS MINIMAS (PROMEDIO MENSUAL) Y GRADIENTES TERMICOS A LO LARGO DE UN PERFIL N-S DE LA ISLA DE SANTO DOMINGO.

4.2.1.4. Variación mensual y anual de la temperatura

En los subtrópicos, las temperaturas extremas gobiernan el comportamiento de los cultivos en cada nivel altimétrico; por esto, se ha considerado conveniente incluir un primer estudio de las desviaciones de las temperaturas máximas y mínimas con respecto a la media anual, en las estaciones situadas a lo largo del perfil utilizado para el estudio de la temperatura. La fórmula siguiente define la variación térmica:

$$v_t = \left| \bar{t}_{\max} - t_m \right| + \left| \bar{t}_{\min} - t_m \right| = \bar{t}_{\max} - \bar{t}_{\min}.$$

En el Cuadro 1 del anexo, se puede apreciar la gran variación anual de la temperatura, la cual es mayor en los valles intramontanos (18,2°C) que en los bajos (14,3°C). Las desviaciones de las mínimas con respecto a la temperatura media anual, por lo general superan en 1°C las de las máximas.

En la costa norte, los meses de mayor variación térmica son los últimos del año, coincidiendo con el estancamiento que produce la traslación del sistema STN hacia el sur. Por el contrario, en el valle del Cibao, las mayores variaciones corresponden a los meses de transición, a principios de año, entre la actuación de los sistemas TF y STN. En la costa sur (Azua), las mayores variaciones se registran a la entrada del sistema STN, en el mes de abril.

4.2.2. Estudio de la presión

Se utilizaron los climadiagramas (Figs. 10-18) para presentar las desviaciones de los promedios mensuales con respecto al promedio anual, que en todas las estaciones estudiadas se transforma en una onda doble con

dos máximas (principal y secundario), y dos mínimos (principal y secundario). Tales desviaciones son muy pequeñas; la del máximo principal, en enero, varía entre 1,20 y 2,50 mb, mientras que las del mínimo principal, en octubre, varía entre 1,70 y 3,00 mb. Estas desviaciones son del mismo orden que las variaciones diarias registradas en el observatorio de Santo Domingo (58).

El máximo principal de enero que se presenta en todas las estaciones, con excepción de Barahona (Fig. 10), parece estar asociado con las irrupciones de masas frías de las latitudes medias.

4.2.3. Estudio de la precipitación

El Mapa 3 elaborado con base en las consideraciones sobre los sistemas dinámicos, presenta la distribución de la precipitación media anual sobre la isla en forma de isoyetas que van desde los 500 a los 2500 mm de lluvia anual.

El mapa de precipitación anual muestra en primer lugar la influencia de la topografía, pues la acción permanente de las circulaciones locales que evolucionan en la capa inferior de la atmósfera de acuerdo con el relieve, es tan marcada, que resultan diferencias en los niveles bajos, altos e intermedios.

Los grandes valles interiores, Neiba-Cul de Sac, Plaine de L'Artibonite, Azua, Plateau Central, San Juan de la Maguana y Yaque del Norte, son los más secos, con precipitaciones desde 500 mm hasta 1000 mm. En estos valles se pueden observar muchas más horas sol, y el calentamiento mantiene la circulación del aire del valle a las montañas. La mayor insolación sobre los fondos reduce la efectividad de las precipitaciones nocturnas, y por esta razón estas regiones son las más secas. A

70°

69°

REPUBLICA DOMINICANA Y HAITI

PRECIPITACION ANUAL EN MILIMETROS

20°

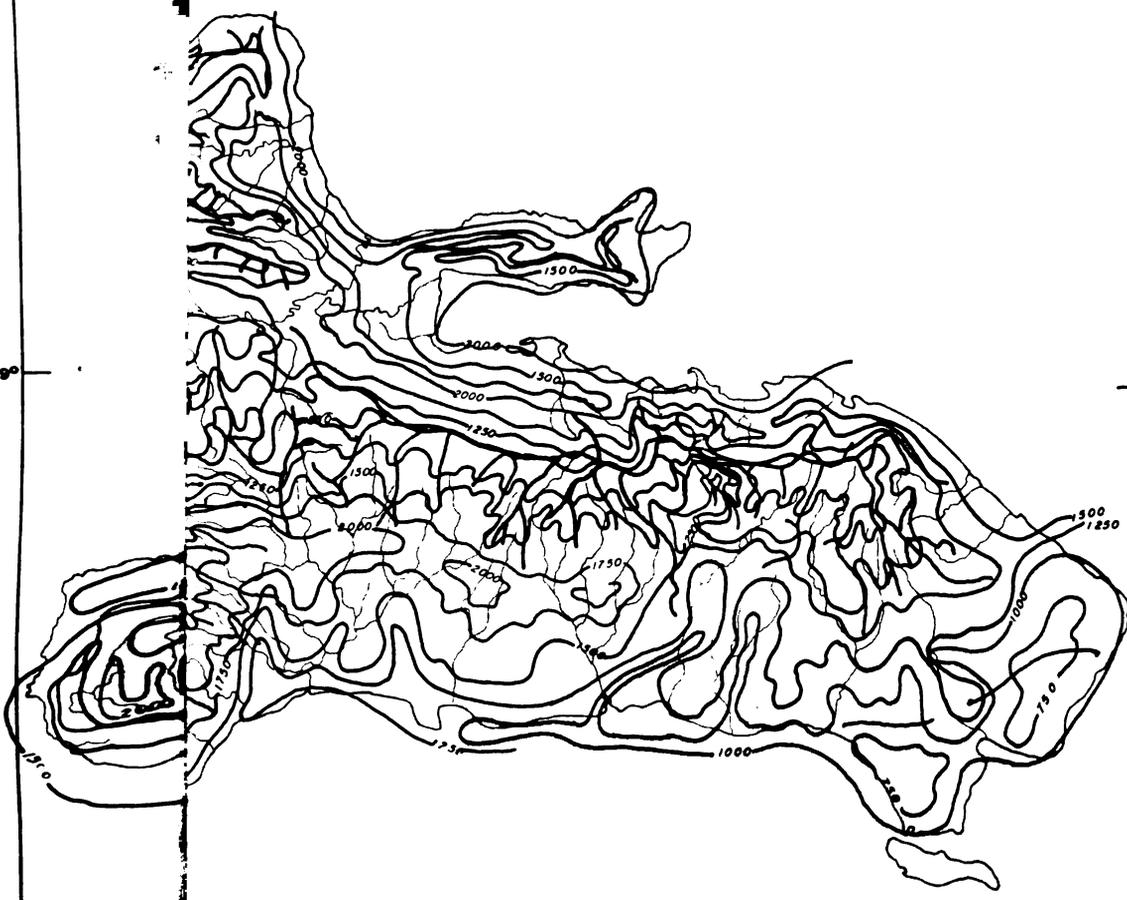
20°

19°

19°

18°

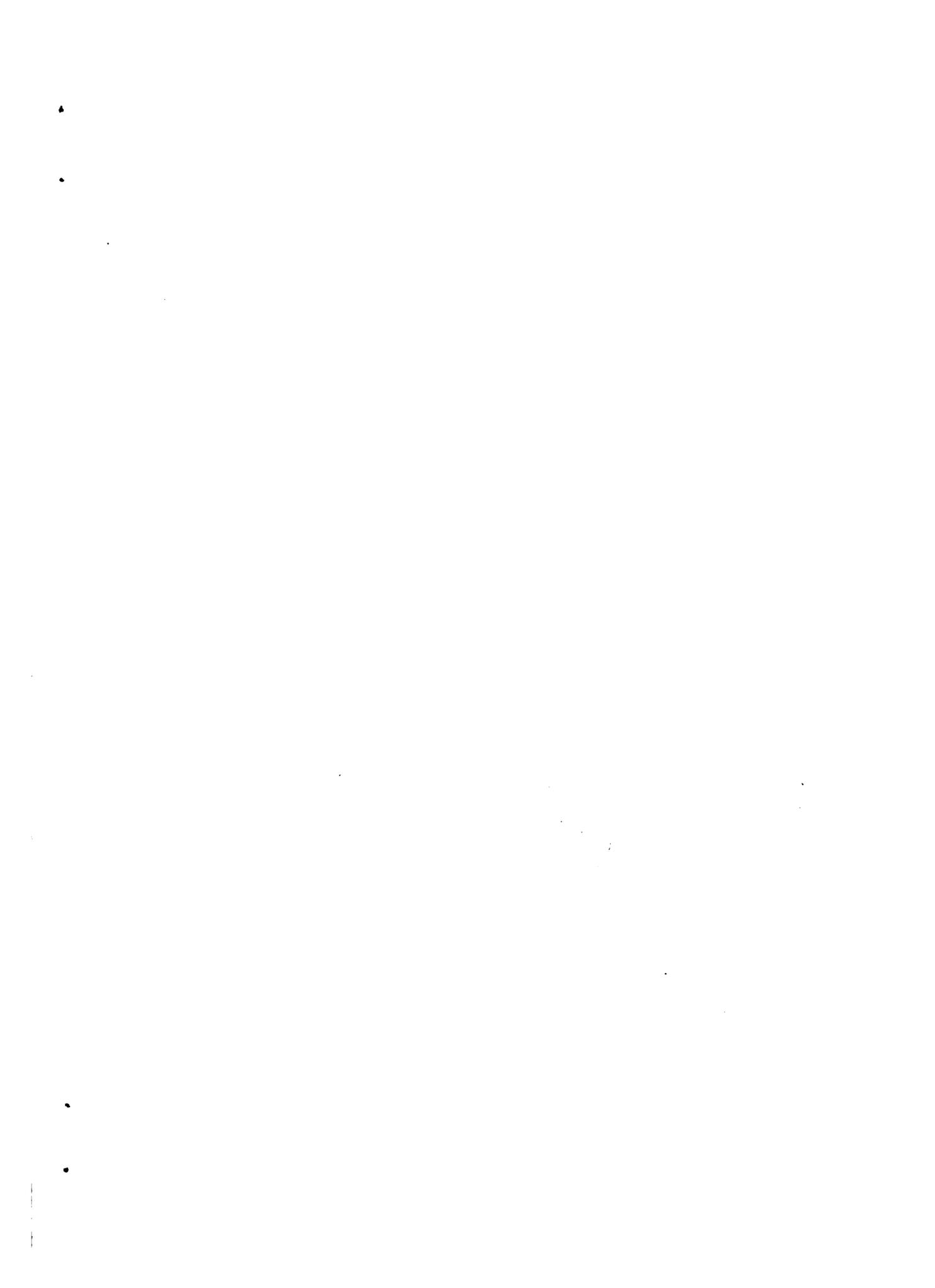
18°



MAPA 3.

70°

69°



consecuencia de la circulación mar-tierra, se observa en el interior de las llanuras costeras (Cabo Engaño, Baní, Azua, Oviedo-Pedernales, La Isabela, Monte Cristi) una disminución de las cantidades pluviales hasta el pié de las primeras estribaciones. El nivel pluviométrico es mayor en la estrecha llanura de la costa norte (1250 mm) que en el llano costero del sur (750 mm). La explicación la proporciona el ascenso brusco de la Cordillera Septentrional que refuerza el estancamiento.

La disminución de la cantidad pluvial en las zonas altas de las cordilleras (Cord. Central, Septentrional, Bahoruco, La Selle, La Hotte) y sus estribaciones, la puede explicar el predominio de la circulación diurna sobre ambas vertientes, formando sobre las cimas una zona de divergencia que disminuye la pluviosidad. El nivel pluviométrico medio de las cimas de las cordilleras es de 1250 mm. Sobre las zonas más elevadas de la Cordillera Central (superiores a los 1500 m) y la Sierra de Bahoruco, la precipitación anual desciende a los 1000 mm .

En las zonas intermedias donde se superpone el efecto de las circulaciones locales, se produce un aumento de la pluviosidad, que se aprecia en los núcleos de 1500-1750-2000 m de precipitación, generalmente entre 300-400 m sobre los fondos de valle. Estos núcleos delimitan la franjas de nubosidad diurna y por consiguiente de menor evaporación. Fuera de esta franjas se registra un aumento de la insolación, de vientos locales, y por tanto de evaporación.

4.2.3.1. Transcurso estacional de la precipitación y del tiempo reinante

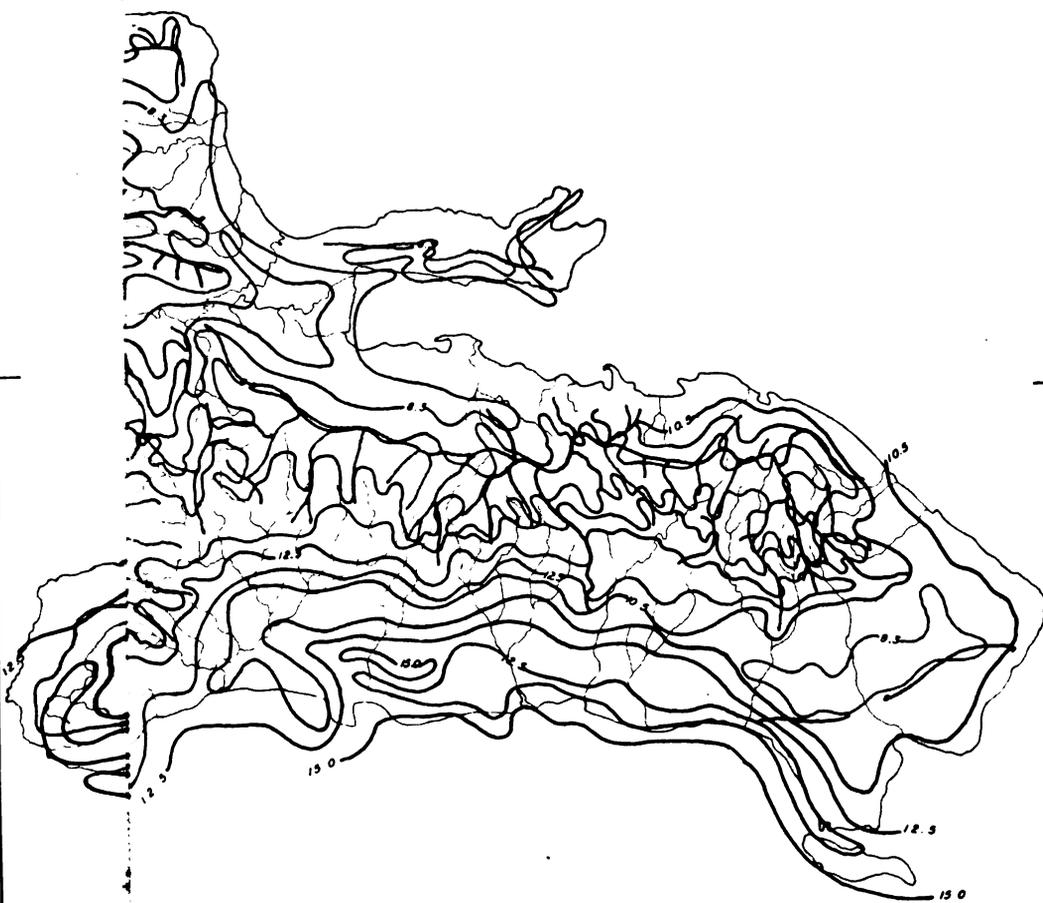
Siendo la precipitación el elemento más influenciado por el tiempo reinante, su expresión relativa permite conocer las variaciones regionales del tiempo reinante, junto con los procesos que lo originan, los cuales se

70° 69°

REPUBLICA DOMINICANA Y HAITI

20° 20°

PRECIPITACION EN PORCIENTOS DE LA MEDIA ANUAL
OCTUBRE



MAPA

18° 19° 20°

70° 69°

.

.

.

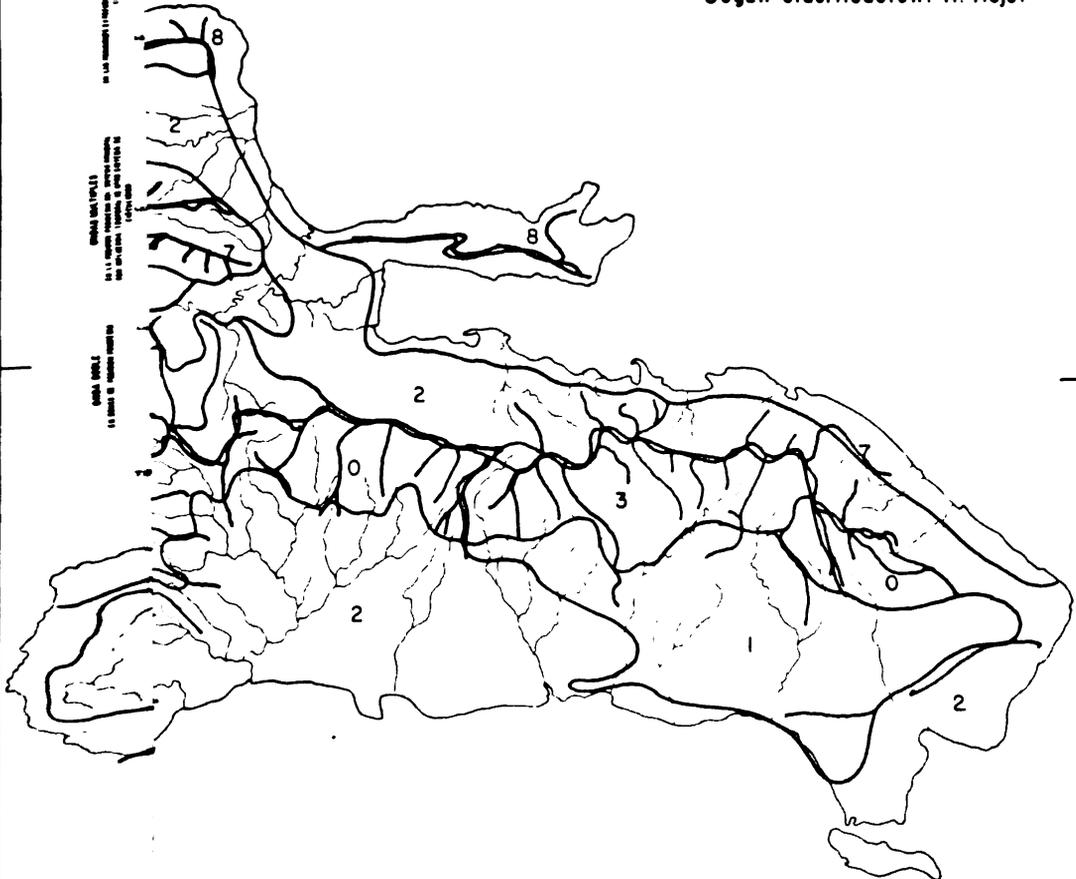
.

REPUBLICA DOMINICANA Y HAITI

TIPOS DE TRANCURSOS PLUVIALES RELATIVOS

N - PERIODO SECO PRINCIPAL: ENE.-FEB.
S - PERIODO SECO PRINCIPAL: JUL.-AGO.

Según clasificación: H. Trojer



SECCION NORT-EST
EN LOS MONTAÑAS (1) Y (2) EN LA COSTA DEL N. Y (3) EN LA COSTA DEL S.
SECCION NORT-EST
EN LA COSTA DEL N. Y (4) EN LA COSTA DEL S.
SECCION NORT-EST
EN LA COSTA DEL N. Y (5) EN LA COSTA DEL S.

•

•

•

•

ción y las modificaciones que impone el relieve.

El hecho más resaltante que se aprecia en el Mapa 16, es el cambio del tipo de transcurso N a S a lo largo de la Cordillera Septentrional y sobre los valles intramontanos a mediana elevación en la vertiente norte de la Cordillera Central; los transcurros del tipo N (con la principal época seca al inicio del año) se separan nítidamente de los transcurros del tipo S (con la principal época seca a mediados de año).

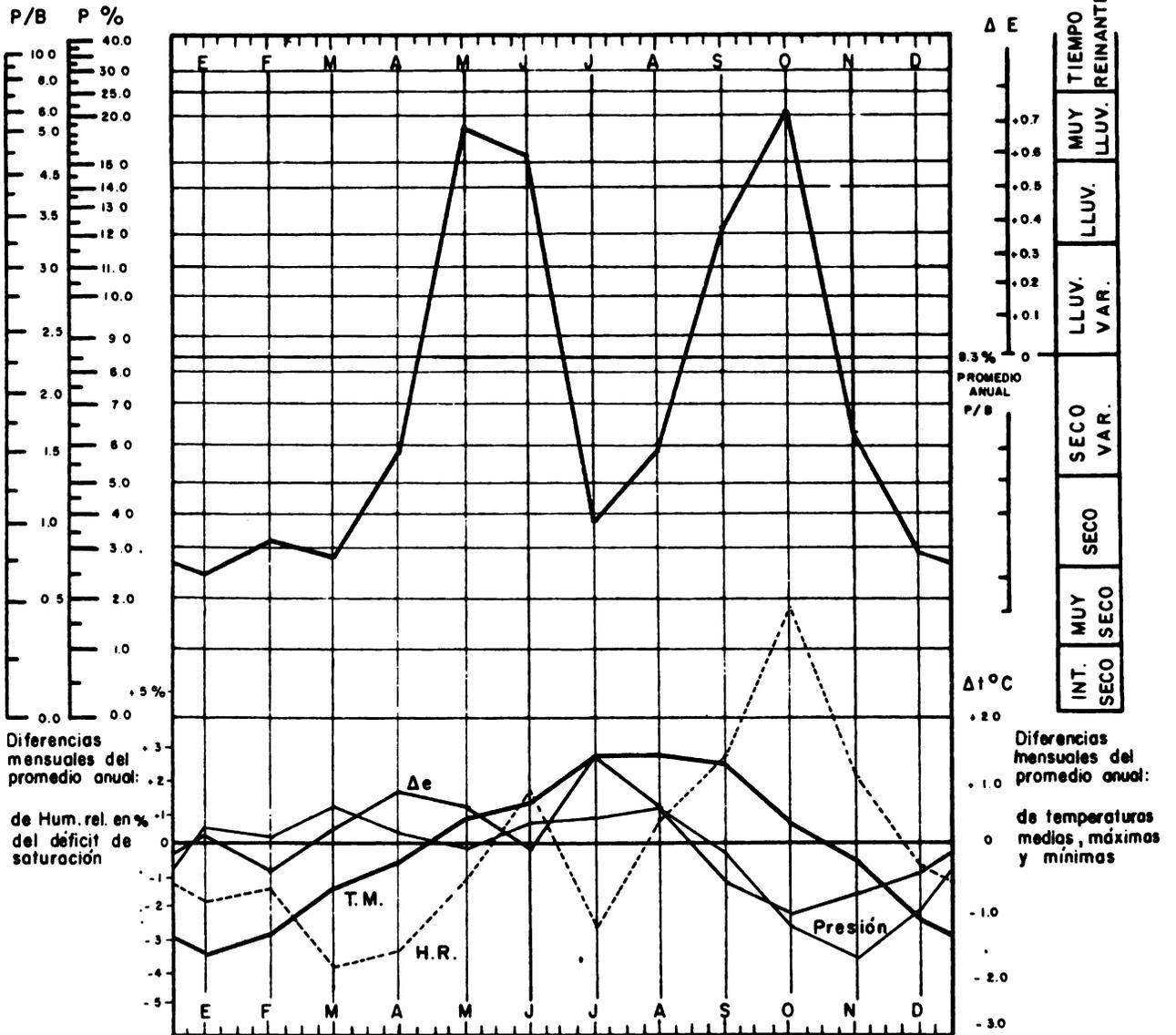
Al sur de la Cordillera Central, predominan los transcurros de onda simple (0,1,2) N que constan, en general, de un período seco a principios de año y una estación lluviosa que alcanza su clímax a mediados de año.

Al norte de la Cordillera Central, en particular a lo largo del valle del Cibao y en el NE haitiano predominan los transcurso de onda múltiple (3-4-5-6) N, en los cuales la época lluviosa está interrumpida por un período seco a mediados de año; la diferenciación entre números pares e impares está dada por la exposición de las vertientes, que determinan si el mayor aumento pluvial corresponde a la primera parte de la estación lluviosa (3-5) N, o a la segunda (4-6) N; la intensidad del período seco intermedio es menor en los transcurros (3-4) N que en los (5-6) donde el nivel pluviométrico desciende hasta un 5% del anual.

En la zona de cambio de transcurros N a S, predominan los de onda doble: 7-8. Sobre la costa del Atlántico se presentan nuevamente los transcurros de onda simple (0-2) S, pero con el ya mencionado desplazamiento de 6 meses con respecto a sus análogos al sur de la Cordillera Central.

Para ilustrar este punto, se presentan climadiagramas (Figs. 10-18) correspondientes a algunas estaciones: Barahona (4N), Cap-Haitien (7S), Hinche (1N), Moca (5N), Petite Riviere de L'Artibonite (0N), Port-au-Prince (3N), Puerto Plata (3S), Sabana de la Mar (2-7N) y Santo Domingo (2N).

Estación: BARAHONA Latitud: 18° 46' Longitud: 71° 06' Altura: 10.0



Según H. Trojer

A Tipo de transcurso 4

C Rango Temp. ° C. media 26.2 I
 máxima
 mínima

Norte: Período seco clim. principal
 Ens. Feb. Mar. Abr. N

D Rango Hum. rel. 73.0 V

Sur: Período seco clim. principal
 Jul, Ag. Set.

E Rango Déficit de saturación
 o evaporación 7.27 VII

B Rango Precipitación 1030.1 IV

Duración de periodos climáticos:

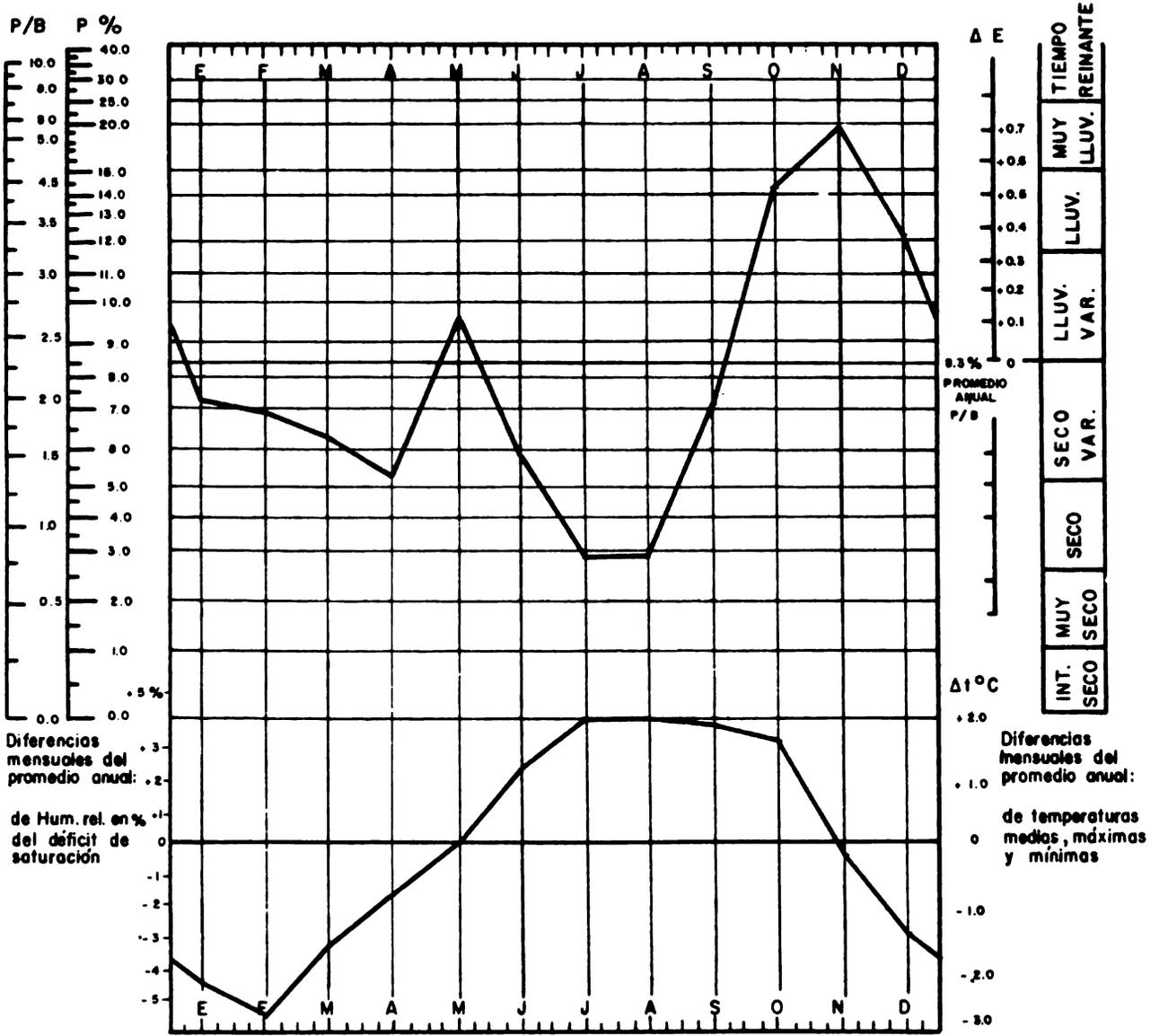
Seco principal

Lluvioso principal

Cociente P/B

FIG. 10.- CLIMADIAGRAMA DE LA ESTACION DE BARAHONA.-

Estación: CAP HAITIEN Latitud: 10° 46' Longitud: 72° 14' Altura: 15.00



A Tipo de transcurso 7

C Rango Temp. ° C. media 25.2 I
 máxima
 mínima

Norte: Período seco clim. principal
 Ene. Feb. Mar. Abr.

D Rango Hum. rel.

Sur: Período seco clim. principal
 Jul, Ag. Set. S

E Rango Déficit de saturación
 o evaporación

B Rango Precipitación 1528.5 VI

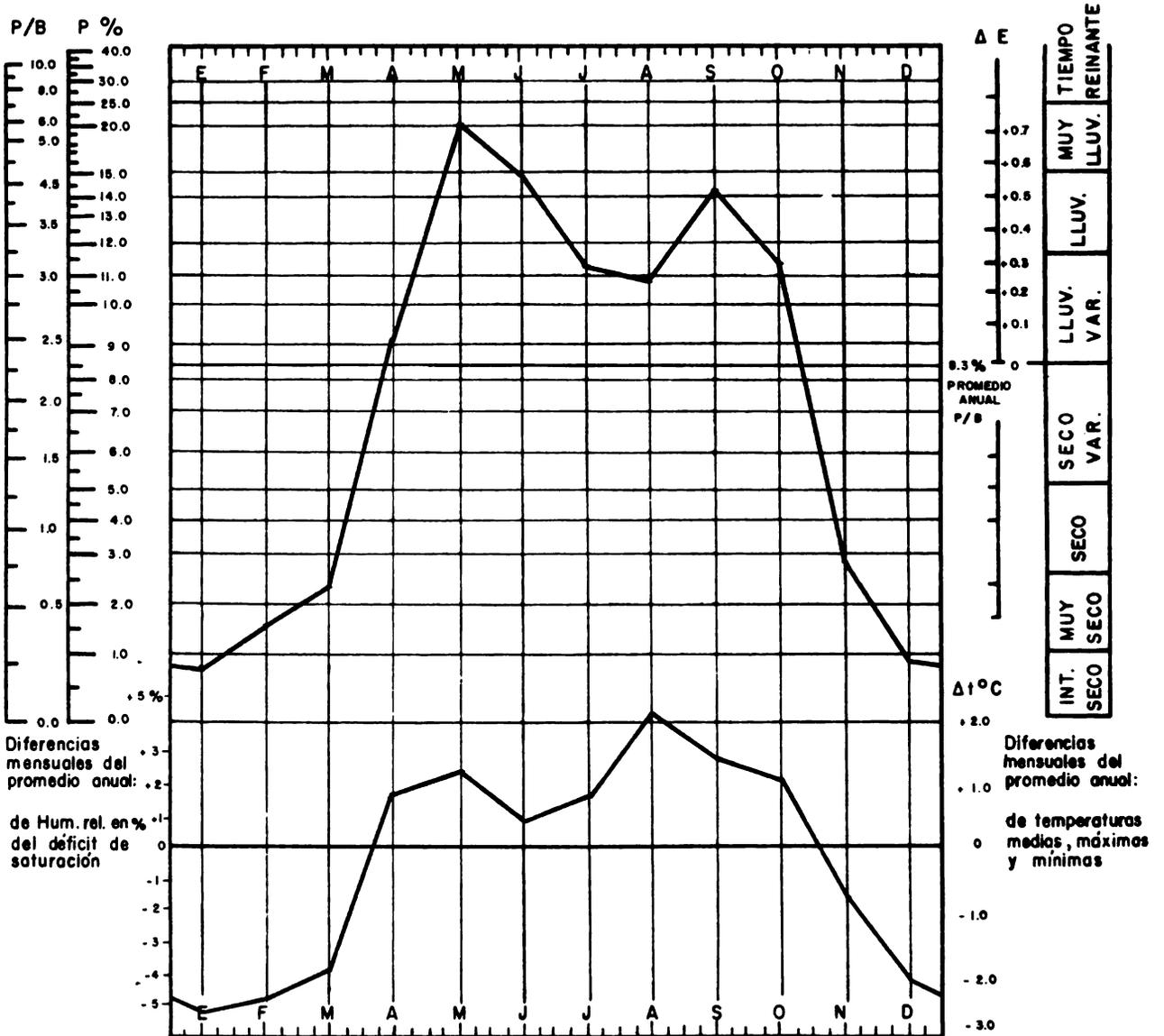
Duración de periodos climáticos:

Seco principal

Lluvioso principal

Cociente P/B

FIG. II.- CLIMADIAGRAMA DE LA ESTACION DE CAP HAITIEN.



A Tipo de transcurso I

C Rango Temp. ° C. media 23.4 II
 máxima
 mínima

Norte: Período seco clim. principal
 Ene. Feb. Mar. Abr. N

Sur: Período seco clim. principal
 Jul, Ag. Set.

B Rango Precipitación ... 1484.7 V

Duración de períodos climáticos:

Seco principal

Lluvioso principal

Cociente P/B

FIG. 12.- CLIMADIAGRAMA DE LA ESTACION DE HINCHE.

4.2.3.3. Reacción de la vegetación

Es obvio que un cambio tan marcado en el transcurso del tiempo reinante como el que se verifica entre los transcurros del tipo N y S, debe provocar cambios semejantes en el ciclo fenológico de las plantas.

En vista de los hallazgos anteriores, se realizó una rápida encuesta* en la República Dominicana, que puso en evidencia un desplazamiento de 6 meses en el ciclo de los cultivos entre las zonas de transcurso del tiempo N y S.

Mientras en el Central Esperanza, próximo a Valverde (transcurso 5 N), la cosecha de la caña de azúcar (zafra) se inicia en diciembre y termina en junio, en los ingenios del litoral norte, Amistad (en Imbert) y Montellano, ambos dentro de la zona de tipo de transcurso 3 S, la cosecha comienza en junio y termina en diciembre. Aunque no indica causa, también el estudio de la OEA (41) señala un desplazamiento de 6 meses en la cosecha de algodón entre las plantaciones del Consorcio Algodonero situadas en Oviedo y Enriquillo, península de Barahona (transcurso 1-4 N) y las plantaciones de La Isabela (costa norte), con transcurso OS.

Con el café, se presenta una situación similar a la descrita por Trojer en Colombia (77). La encuesta comprobó que en Juncalito (Jánico), dentro de la zona de transición de transcurros S a N, a mediada elevación en la vertiente norte de la Cordillera Central, hay dos cosechas: una principal que comienza en diciembre y termina en febrero y otra secundaria llamada "la media" que comienza en mayo y dura hasta julio. El paralelismo

* esta encuesta fue realizada por el señor Salvador Jorge Arias, entre com
pradores de café y en los ingenios Esperanza, Amistad y Monte Llano y
sus resultados fueron comunicados mediante carta del 29 de julio de 1969.

con Colombia es notable; en ese país, llaman "mitaca" a la cosecha secundaria que se produce en una zona de transición entre 4-5° N, la cual separa la región norte de Colombia donde la principal cosecha tiene lugar entre octubre y enero, de la región sur, donde el café se cosecha de abril a julio.

Trojer, denominó ecuador fenológico del café a esa línea que separa los transcurros N y S en Colombia y que es también el ecuador climático (77). Esta línea viene a ser la posición media del sistema intertropical (ITC), alrededor de la cual este sistema experimenta sus oscilaciones hacia el norte y hacia el sur, de acuerdo con el movimiento aparente del sol entre los solsticios.

En esta forma la reacción de la vegetación comprueba, la existencia de la posición media de un sistema de perturbación sobre la isla de Santo Domingo, que no es otro que el sistema subtropical norte (STN), ya identificado en el estudio del macrotiempo. Unas breves investigaciones y referencias (33) comprobaron que esta línea de separación entre los transcurros N y S se presenta también en la isla de Cuba.

4.2.3.4. Descripción del clima local

Los climadiagramas son una valiosa ayuda para el estudio del clima local ya que permiten la consideración del conjunto de elementos meteorológicos durante tipos definidos del tiempo reinante; evidencian además la posibilidad de la deducción física de otros elementos no medidos, y de la generalización del conjunto de observaciones meteorológicas en un punto a toda una zona de transcurso análogo.

Como ejemplo, describimos el climadiagrama de Santo Domingo (Fig.18):

el valor 8,3% de la lluvia anual, separa la época seca, que se inicia en noviembre y dura hasta fines de abril (disminuyendo las precipitaciones hasta 3% de la anual) de la época lluviosa con un máximo pluvial del 14% en mayo. Estas características corresponden al tipo transcurso 2, con nivel pluviométrico VI (1250-1500 mm) de acuerdo con la clasificación de Trojer (76). Por otra parte, las desviaciones negativas de la temperatura media mensual, separan la época relativamente fresca (noviembre-abril) de la caliente; el transcurso de las temperaturas sigue (con el correspondiente retraso térmico) el transcurso de la posición solar; las desviaciones de la forma sinusoidal son debidas a la alteración de los componentes del balance calorífico durante la época de fuertes precipitaciones. El climadiagrama también proporciona información sobre el nivel térmico: I(24-30°C), y sobre la variación de la temperatura (2,8°C) entre los meses más fríos (enero-febrero) y el más caliente.

Además, el transcurso de la humedad relativa se puede utilizar para caracterizar aún mejor la época seca a principio de año (desviaciones negativas del promedio anual) de la época húmeda (mayo-diciembre), con una variación máxima de 6,7% entre marzo y octubre. Observando la clasificación del tiempo reinante y el encadenamiento de las manifestaciones atmosféricas, se verifica que tanto los valores de la evaporación de una superficie de agua como el déficit de saturación son más elevados cuando predomina tiempo seco y seco variable a principios de año, y que disminuye progresivamente con el tiempo lluvioso, a partir de mayo.

Los datos del Cuadro 15, demuestran también que las tasas de evaporación son mayores durante los días de buen tiempo (anticiclónicos) que durante días de mal tiempo (ciclónicos):

Cuadro 15. Influencia de los tipos de tiempo en la evaporación diaria (mm)

Macrotiempos:	Anticiclónicos		Ciclónicos	
Día	18-I-1960	9-I-1960	14-I-1960	24-I-1960
Situación	A	B-NE	B-NW	B-SW
Santo Domingo	5,7	5,4	2,8	3,6
Moca	3,7	3,8	2,3	2,5
Dajabón	1,8	1,8	0,8	0,4
Día	6-IV-1960	B-IV-1960	18-IV-1960	
Situación	A-SE	B-SW	B-NW	
Santo Domingo	6,9	3,1	5,1	
Moca	6,4	2,9	4,4	
Dajabón	2,0	1,2	1,4	
Día	21-IV-1960	9-IV-1960	17-IV-1960	
Situación	A-SE	B-SE	B-SE	
Santo Domingo	5,0	4,9	3,4	
Moca	8,0	5,3	5,5	
Dajabón	2,8	0,6	1,2	

4.2.4. Correlaciones entre elementos meteorológicos

4.2.4.1. Evaporación y déficit de saturación

En la Fig. 19 se presenta el transcurso mensual de la relación funcional (coeficiente de correlación) entre los valores de la evaporación mensual medida en tanque y el déficit de saturación para las estaciones de Santo Domingo y Moca (los valores numéricos se presentan en el Cuadro 2 del Apéndice).

En general el grado de correlación es bajo ($r < 0,6$) y no permite la estimación de la evaporación de una superficie de agua a partir de la simple medida de humedad relativa; los valores de correlación mejoran en el caso

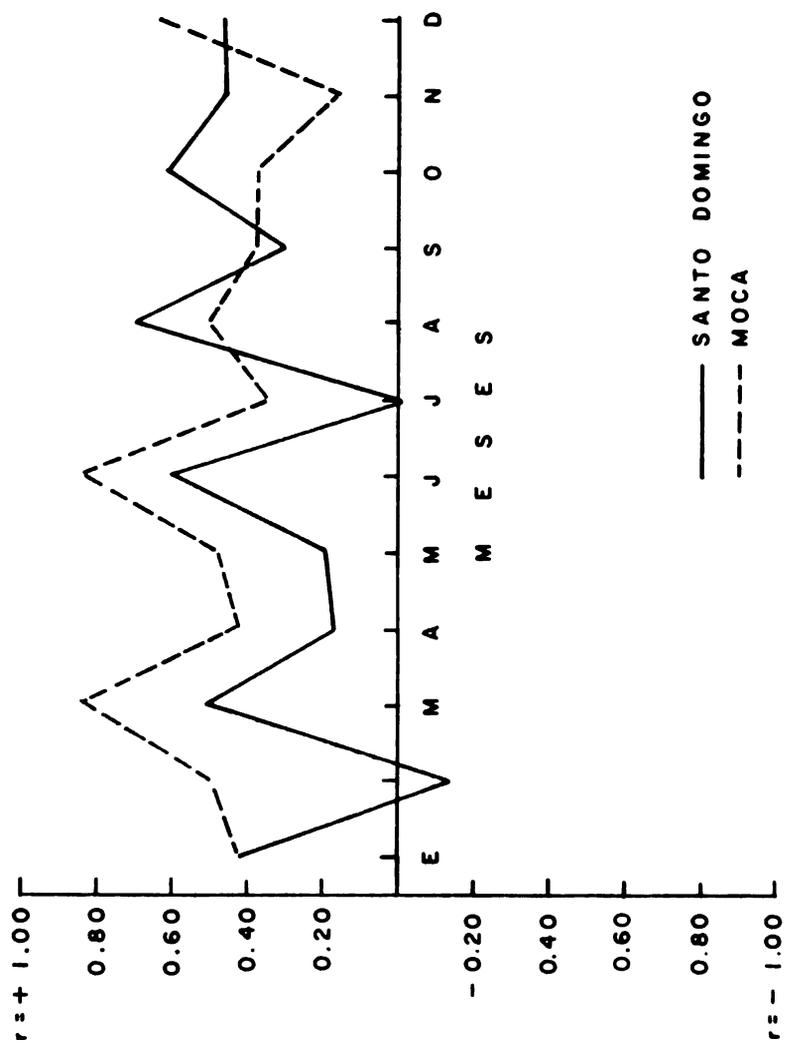


FIG. 19.- CURVAS DE CORRELACION ENTRE LA EVAPORACION MEDIDA EN TANQUE Y EL DEFICIT DE SATURACION DEL AIRE

de la estación de Moca. El hecho más notable es el marcado paralelismo entre los valores de correlación que proporcionan las observaciones en ambas estaciones, lo que se interpreta en el sentido de que el déficit de saturación está relacionado con la evaporación, pero que no es la única variable involucrada, y que su grado de influencia cambia con el transcurso del tiempo reinante.

4.2.4.2. Brillo solar y precipitación relativa

La correlación entre la precipitación mensual expresada como porcentaje de la anual y el coeficiente P/B (precipitación en mm/horas de sol) de los datos de la estación de Santo Domingo es alta, y es mayor en la época seca ($r > 0,90$) que en la lluviosa ($0,50 < r < 0,91$). Ello permitió establecer una ecuación de predicción del brillo solar (Fig. 20) a partir de los datos de precipitación, válida para el espacio geográfico con transcurso del tiempo reinante parecido al de Santo Domingo.

4.2.5. Componentes de la radiación

La estimación de los componentes de la radiación en la estación de Santo Domingo, que aparece en el Cuadro 16 muestra la estrecha coincidencia de los resultados obtenidos por los métodos de Penman y Budyko para la radiación global. De acuerdo con Budyko, la radiación global promedio por día es $392,91 \text{ gcal/cm}^2$, mientras que según Penman es $421,60 \text{ gcal/cm}^2/\text{día}$; una vez deducidas las reflexión y la radiación terrestre resultante, la radiación total resultante ó flujo radiante a nivel de la superficie terrestre (balance de radiación) es de $240,00 \text{ gcal/cm}^2/\text{día}$, que corresponde a un total anual de $87,66 \text{ kcal/cm}^2$ para la estación de Santo Domingo.

$$P/B = \frac{\text{PRECIPITACION mm}}{\text{HORAS DE SOL}}$$

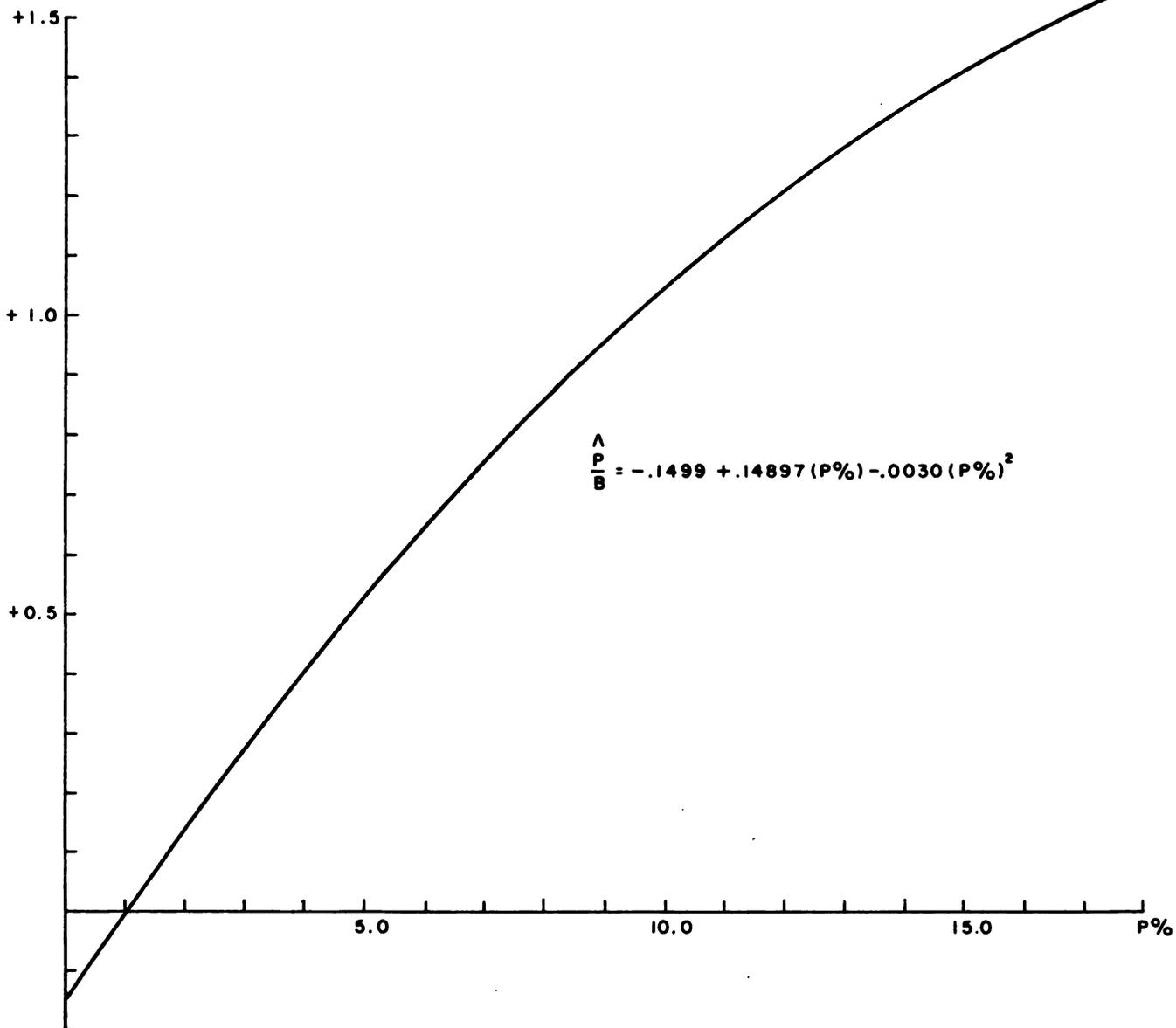


FIG. 20.- RELACION ENTRE EL COEFICIENTE P/B Y LA PRECIPITACION RELATIVA (P%) PARA LA ESTACION DE SANTO DOMINGO (VALORES MENSUALES)

Cuadro 16. Componentes de la radiación (gcal/cm²/día) para la estación de Santo Domingo (18° 28' N - 69° 54' W)

	Radiación global (directa + difusa)		Radiación global efectiva	Radiación terrestre resultante	Radiación total resultante
	s/Penman	s/Budyko			
	(Q+q)		(Q+q)(1-α)	I=(E-G)	R=Q
E	348,0	336,4	256,3	82,6	169,7
F	402,0	369,7	277,3	75,5	201,8
M	462,0	418,0	313,5	79,0	243,5
A	475,0	462,9	347,2	74,5	272,7
M	456,0	411,9	337,8	62,8	275,0
J	440,0	423,7	347,4	62,8	284,6
J	452,0	442,7	363,0	60,2	302,8
A	460,0	442,0	362,4	62,1	300,3
S	458,0	406,0	332,9	58,5	274,4
O	420,0	349,9	286,9	63,8	223,1
N	362,0	354,1	265,6	74,5	191,1
D	324,0	298,0	223,5	73,4	150,1
media	421,60	392,9			240,00
total	153,99	143,5			87,66

Los totales anuales están expresados en kcal/cm² .

4.2.6. Estudio del balance hidrológico

4.2.6.1. Correlaciones entre métodos de determinación de la evapotranspiración

En las Figs. 21 y 22 se presentan las curvas de los coeficientes de correlación (r_{1k}) entre la evaporación medida en tanques del tipo A y la evapotranspiración (o use consuntivo) calculada según las fórmulas de Thornthwaite, Holdridge, Blaney-Criddle y Blaney-Morin para las estaciones de Santo Domingo y Moca. (Los valores numéricos se presentan en el Cuadro 2 del Apéndice).

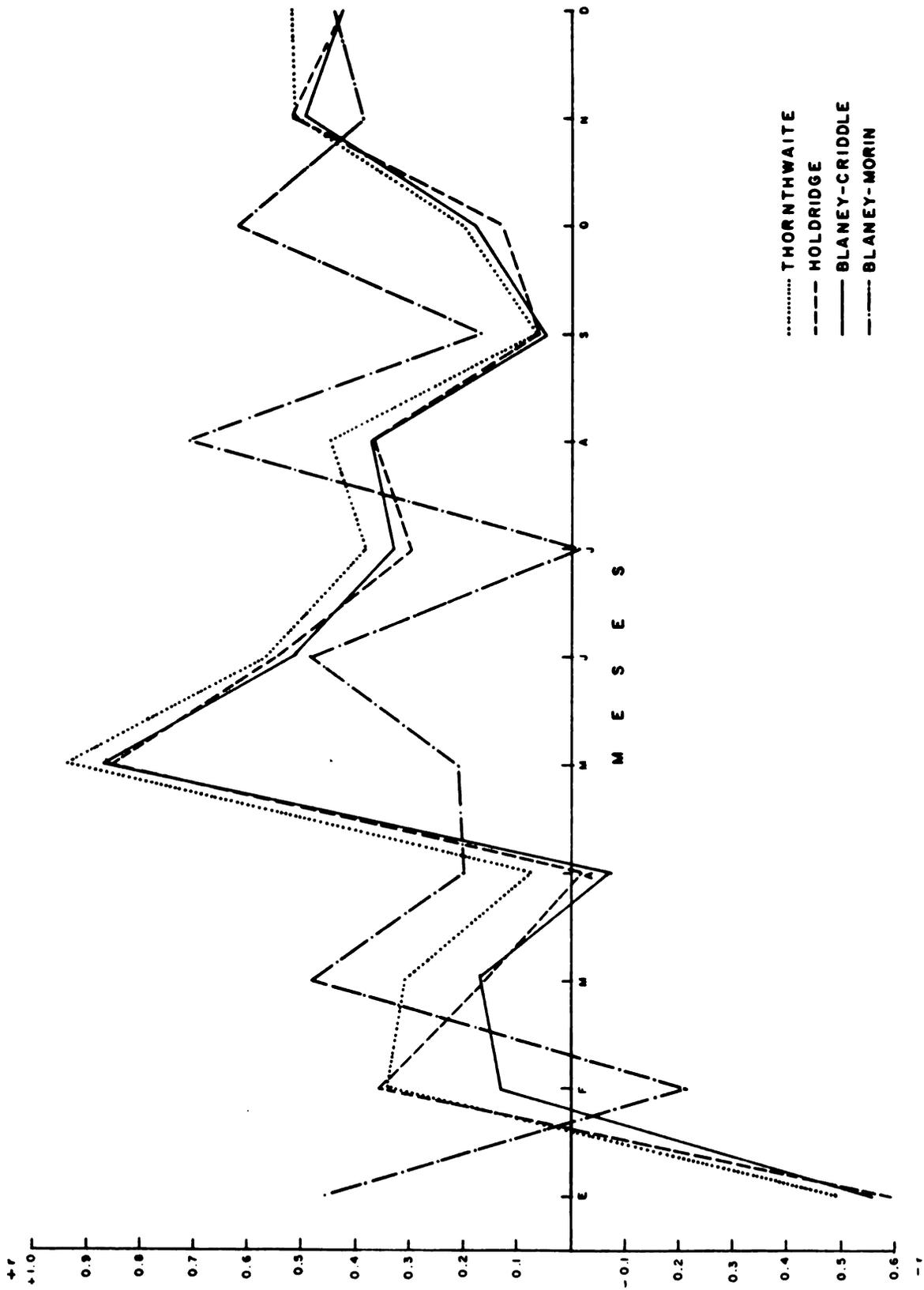


FIG.21.- CURVAS DE CORRELACION ENTRE LA EVAPORACION MENSUAL MEDIDA EN TANQUE Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (SANTO DOMINGO)

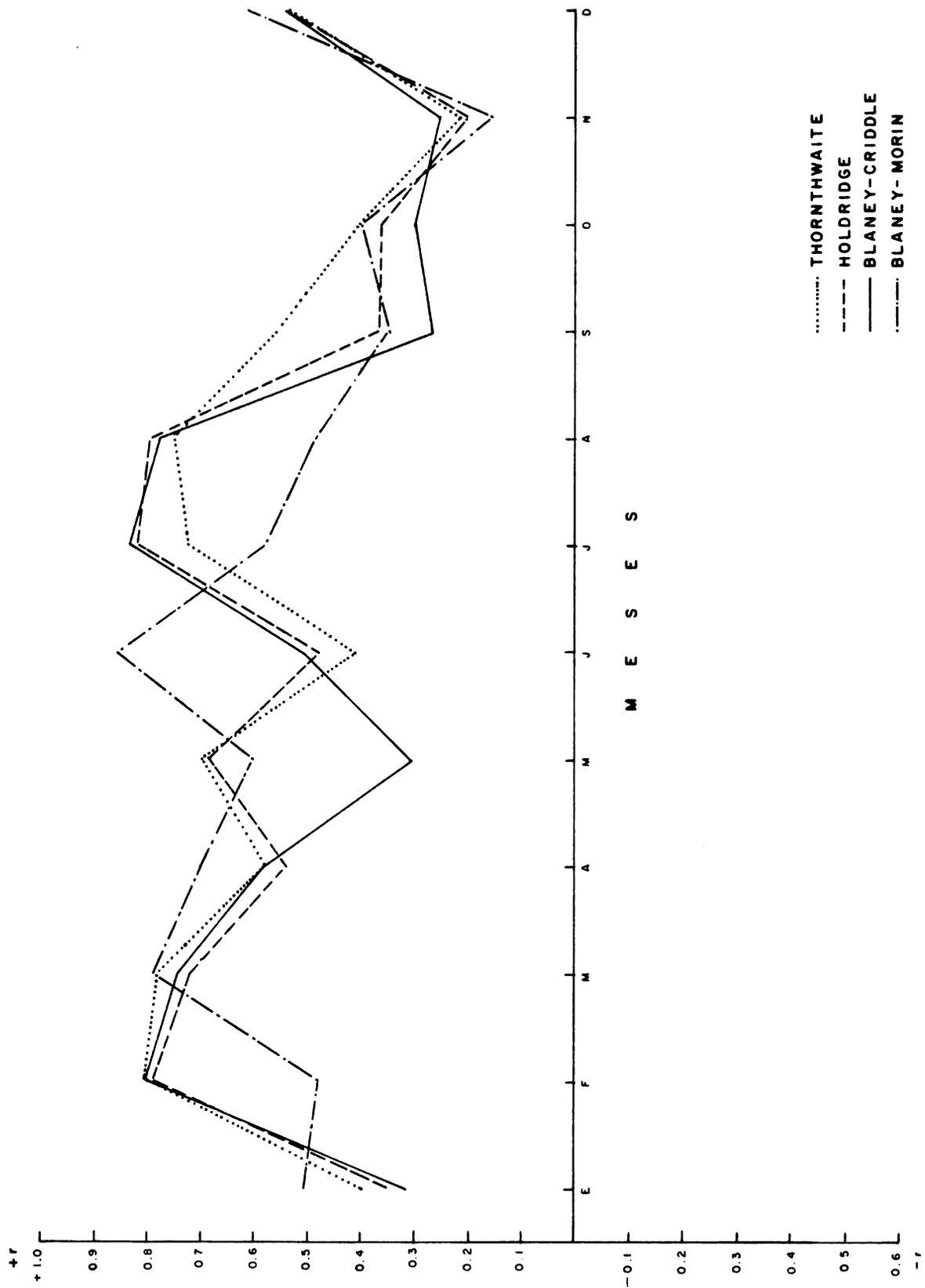


FIG. 22.-CURVAS DE CORRELACION ENTRE LA EVAPORACION MENSUAL MEDIDA EN TANQUE Y LA EVAPOTRANSPIRACION POTENCIAL (MOCA)

Los valores de correlación en la mayoría de los casos son bajos. El hecho más notable es el alto grado de asociación ($\pm 80\%$) entre las 3 fórmulas basadas principalmente en la temperatura media (Thorntwaite, Holdridge y Blaney-Criddle).

4.2.6.2. Cálculo del balance hidrológico. Comparación de los índices de Budyko y Trojer

En el Cuadro 17 se presenta el cálculo del balance hídrico para la estación de Santo Domingo según el método propuesto por Budyko, así como el coeficiente P/B de Trojer.

Cuadro 17. Balance hidrológico para la estación de Santo Domingo según Budyko y coeficiente P/B de Trojer

Precipitación mm	Radiación total resultante kcal/cm ² /mes	R/Lr	E/R	Evapotrans. real mm	Esco- rrentía mm	P/B
E 57,5	5,26	1,52	0,84	48,3	9,2	0,37
F 41,9	5,65	2,24	0,92	38,5	3,4	0,30
M 51,6	7,27	2,35	0,93	48,0	3,6	0,27
A 84,1	8,18	1,62	0,86	72,4	11,7	0,47
M 202,9	8,53	0,70	0,56	114,0	88,9	1,22
J 160,4	8,54	0,89	0,66	106,0	54,4	1,09
J 162,1	9,39	0,97	0,69	112,0	50,1	1,03
A 150,8	9,31	1,03	0,71	107,0	43,8	0,94
S 171,1	8,23	0,80	0,62	106,0	65,1	1,03
O 163,6	6,92	0,70	0,56	91,5	72,1	0,97
N 112,1	5,73	0,85	0,64	72,0	40,1	0,54
D 62,5	4,65	1,24	0,77	48,0	14,5	0,72
total anual 1420,6	87,66	1,24	0,678	963,7	456,9	0,72

La siguiente expresión resume el balance hídrico de la estación de Santo Domingo:

$$r = E + f$$

$$1420,6 = 963,7 + 456,9 \text{ (mm)}$$

$$100,0 = 67,8 + 32,2 \%$$

Donde:

r = precipitación

E = evaporación bajo condiciones naturales

(Evapotranspiración real)

f = escorrentía

De acuerdo con la correlación establecida por Budyko (5) entre la vegetación natural y los parámetros Ra y E/Lr, el clima local de Santo Domingo corresponde a la transición de sabana a sabana tropical húmeda. Por otra parte, el valor anual del coeficiente P/B = 0,72, que según Trojer (76) corresponde a las regiones que la ecología denomina sub-húmedas presenta una cierta analogía con la clasificación de Budyko.

4.3. Patrones de precipitación de huracanes

De los 8 mapas de precipitación diaria elaborados para los huracanes Flora y Ella y la tempestad Florence, sólo se presentan los Mapas 17 y 18, correspondientes al paso de Flora, los días 2 y 3 de octubre de 1963. Ellos son suficientes para ilustrar las situaciones típicas y los aspectos concernientes a esta parte del trabajo; además se ha preferido presentar los mapas de precipitación de Flora debido a su importancia, pues fué uno de los huracanes más fuertes que han azotado el Caribe desde 1780 (28,33)

4.3.1. Las precipitaciones del huracán Flora

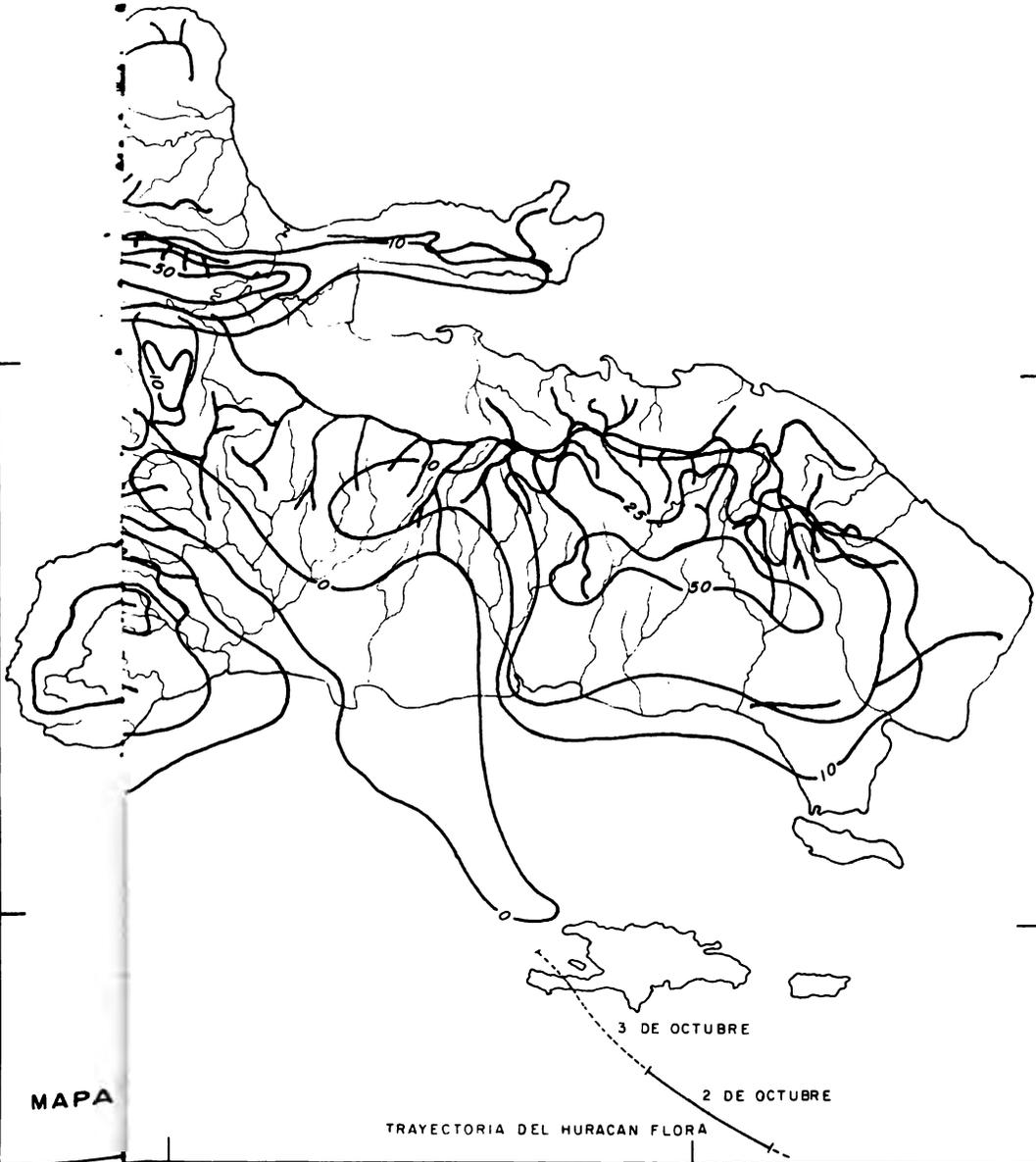
En la parte inferior del Mapa 17, otro mapa a menor escala, subraya el recorrido del huracán Flora el día 2 de octubre, para el cual se registraron

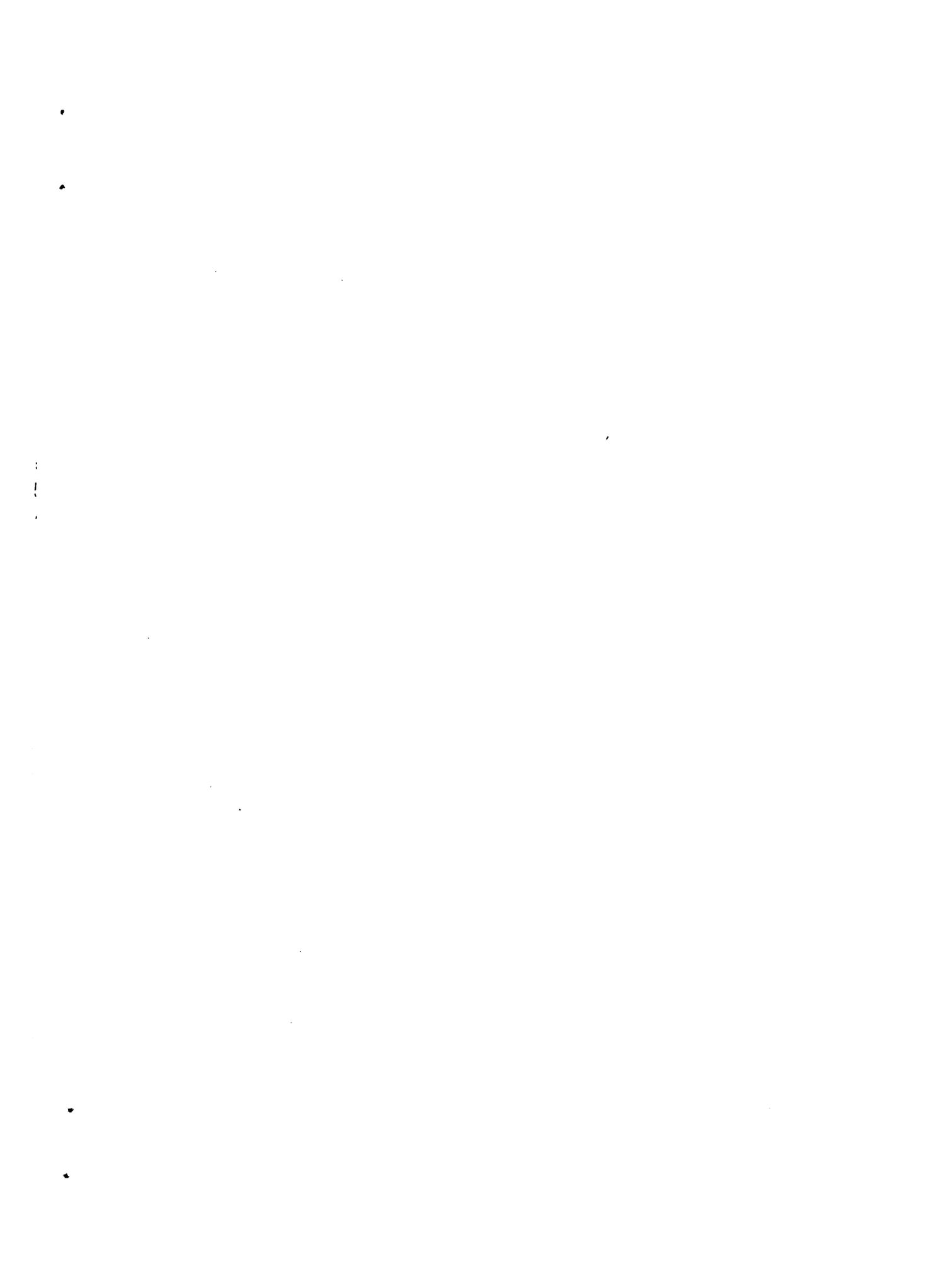
70° 69°

REPUBLICA DOMINICANA Y HAITI

20° 19° 18°

PRECIPITACION EN mm DURANTE EL HURACAN FLORA
2 DE OCTUBRE, 1963





las precipitaciones que sirvieron de base para confeccionar el mapa de isoyetas. Entre las 9:00 horas del 2 de octubre y las 7:00 horas del 3 de octubre, el Flora se desplazó desde los 14,82N - 69,52W a los 16,32N - 61,82W con rumbo NO, a una velocidad promedio de unos 15,0 km/hora, y vientos de 225 km/hora a una distancia de 80 km del centro del huracán (28).

Así resulta un flujo general ciclónico del SE que sufre perturbaciones al chocar con la isla y produce un patrón ondulatorio con remolinos de acuerdo con la forma de la costa y las cordilleras; estos remolinos son zonas de ascenso de aire por convergencia lo que unido a una fuerte inestabilidad vertical produce precipitaciones de importancia (hasta 100 mm diarios). La divergencia que provoca la desviación del flujo general por la Cordillera Central, explica la ausencia de precipitaciones en todo el NW de la isla.

A las 21:00 horas del 3 de octubre llegó el centro del huracán a la península sur de Haití; en el pueblo de Côtés de Fer, el barómetro descendió a 960 mb a las 18:00 horas y a las 20:00 fuertes ráfagas con velocidades estimadas en 250 km/hora, derribaron la mayoría de las casas del pueblo (28). Entre Côtés de Fer y Barahona se registraron precipitaciones superiores a los 200 mm (Mapa 18), pero sólo la interpretación dinámica explica las precipitaciones sobre la vertiente NE de la Cordillera Central, debido al estancamiento del flujo general ciclónico en las capas bajas con dirección E-NE hacia el vórtice del huracán. El foehn correspondiente, al sur de la cordillera, explica por qué no hubo precipitaciones a todo lo largo de los valles de San Juan y Plateau Central (Haití).

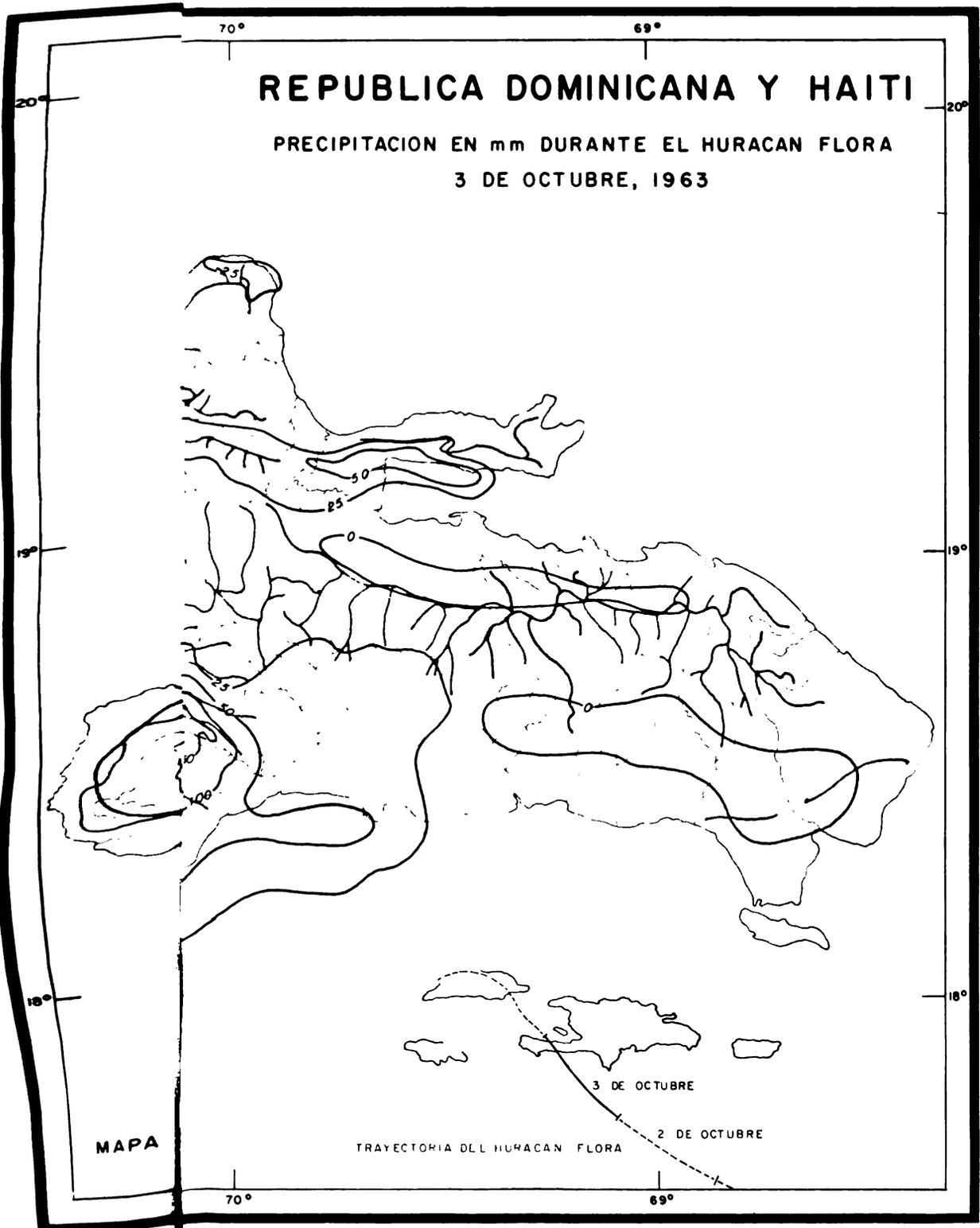
En forma análoga, la influencia de la topografía sobre el flujo general, explica mediante modelos hidrodinámicos, las precipitaciones que ocasionó la tempestad tropical Florence en toda la región sureste de la República Dominicana el 19 de septiembre de 1960 (con un máximo de 200 mm en

70°

15/5/51

REPUBLICA DOMINICANA Y HAITI

PRECIPITACION EN mm DURANTE EL HURACAN FLORA
3 DE OCTUBRE, 1963



,

;

.

.

Santo Domingo y Bayaguana) mientras se desplaza sobre el Océano Atlántico frente a la costa norte de la isla. Asimismo, el mapa de isoyetas del huracán Ella del 12 de septiembre de 1958, muestra precipitaciones en la cuenca del río Yuna y la región costera de Nagua en el extremo nordeste de la República Dominicana, mientras este huracán cruzaba el extremo sudoccidental de Haití, próximo a Cayes.

4.4. Estudio de la estructura de las series de precipitación

4.4.1. La serie de Fourier como modelo de ajuste de las series de precipitación

En los Cuadros 3 y 4 del Apéndice, se presentan los valores de C_i t_i correspondientes a los armónicos de la serie de Fourier que se ajustaron a los datos de precipitación de Puerto Plata y Santo Domingo. A título de ejemplo, se presentan en la Fig. 23, los valores de precipitación observados durante el mes de febrero en el período 1918-1967 en la estación de Puerto Plata, cuya esperanza matemática se da en la ecuación siguiente:

$$\begin{aligned} y_t &= \bar{y}_t + \sum \cos \frac{360}{P} i (t - t_i) \\ &= 157,64 + 49,09 \cos [7,2 (t-40,65)] + 31,25 \cos [14,4 (t-11,19)] \\ &\quad + 52,08 \cos [21,6 (t-4,17)] + 29,44 \cos [28,8 (t-1,63)] \\ &\quad + 16,44 \cos [36,0 (t-6,06)] + 18,55 \cos [43,2 (t-3,71)] \\ &\quad + 40,04 \cos [50,4 (t-3,46)] + 26,72 \cos [57,6 (t-0,28)] \\ &\quad + 21,22 \cos [64,8 (t-4,26)] + 44,36 \cos [72,0 (t-2,77)] \\ &\quad + 31,70 \cos [79,2 (t-3,25)] + 44,37 \cos [86,4 (t-4,07)] \end{aligned}$$

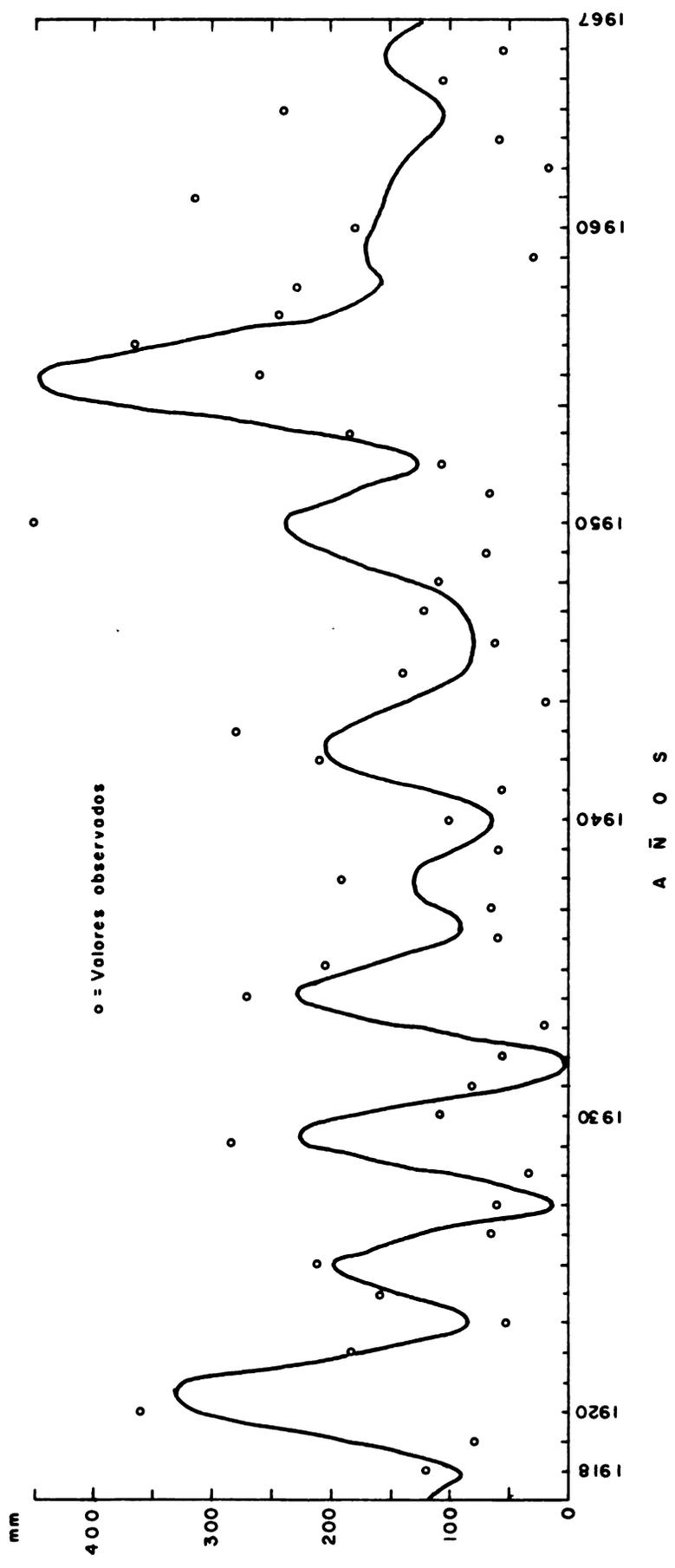


FIG. 23.- PRECIPITACION ESPERADA DURANTE EL MES DE FEBRERO EN PUERTO PLATA, AJUSTADA SEGUN UN DESARROLLO EN SERIE DE FOURIER ($R^2=0.53$)

Cuadro 18. Espectro de dispersión de la precipitación en Puerto Plata

Meses Armónico	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1	521,30	1204,72	19,97	346,64	350,89	458,15	30,51	25,39	15,47	925,01	1496,70	418,73
2	953,32	488,39	160,99	417,09	282,13	316,80	12,59	115,52	269,19	306,83	743,83	1603,16
3	608,61	1356,18	373,44	889,52	29,25	124,00	155,05	66,22	54,00	225,11	379,98	2656,60
4	47,03	433,33	384,10	1177,62	1246,33	548,71	146,73	108,93	67,19	14,98	3580,51	685,92
5	396,06	135,13	10,03	839,43	288,83	142,03	103,32	428,30	51,65	49,97	466,28	2633,42
6	480,21	172,06	328,05	1767,61	66,72	89,93	13,53	189,23	54,93	535,09	772,49	1469,26
7	197,18	801,62	366,57	125,78	502,25	29,49	54,17	45,33	3,25	1201,87	1020,87	2290,73
8	3,65	357,00	98,10	45,23	179,39	47,71	181,96	108,48	81,51	43,55	264,27	2357,53
9	537,49	224,24	572,86	78,77	782,76	15,92	54,21	376,10	154,20	127,03	219,12	884,65
10	1219,67	983,92	660,61	2445,70	356,72	40,30	152,08	257,06	39,39	168,77	1265,62	497,36
11	533,71	502,43	519,70	1098,56	750,29	89,28	20,59	606,51	350,00	558,51	490,67	530,36
12	109,16	984,22	402,69	581,16	1171,49	30,06	49,44	194,65	246,35	606,90	165,70	328,53

Para dicha ecuación, el grado de confiabilidad ó bondad de ajuste está dado por $R^2 = 0,52$. Dicho valor es ampliamente satisfactorio para nuestro propósito.

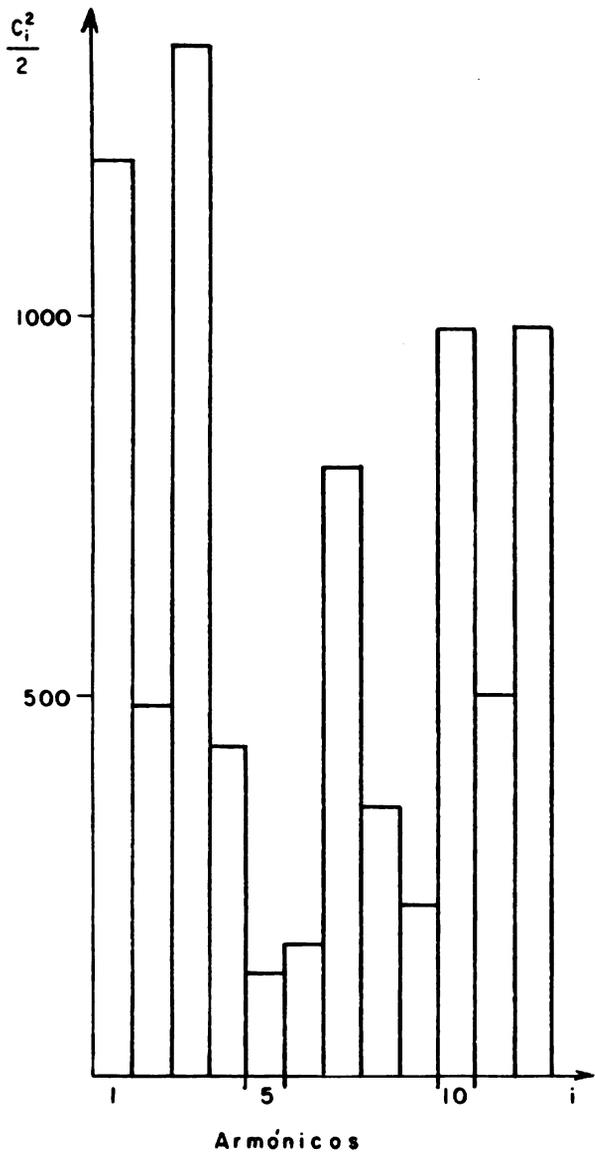
4.4.2. Estructura de las series

El ligero examen de la Fig. 23 permite apreciar la gran variabilidad de la precipitación, la cual presenta una serie de ondas donde las crestas y valles (mayor-menor precipitación) se distancian entre sí unos 5 años. Pero la estructura de la serie, ó sea, la forma en que sus valores sucedieron en el tiempo, se comprende mejor mediante la presentación de su espectro, el cual muestra la contribución de cada armónico a la variancia total. En el Cuadro 18 aparecen los valores numéricos de $C_i^2/2$ (contribución de cada armónico a la variancia) para las 12 sub-series en que se desglosó la precipitación registrada en Puerto Plata entre 1918-1967.

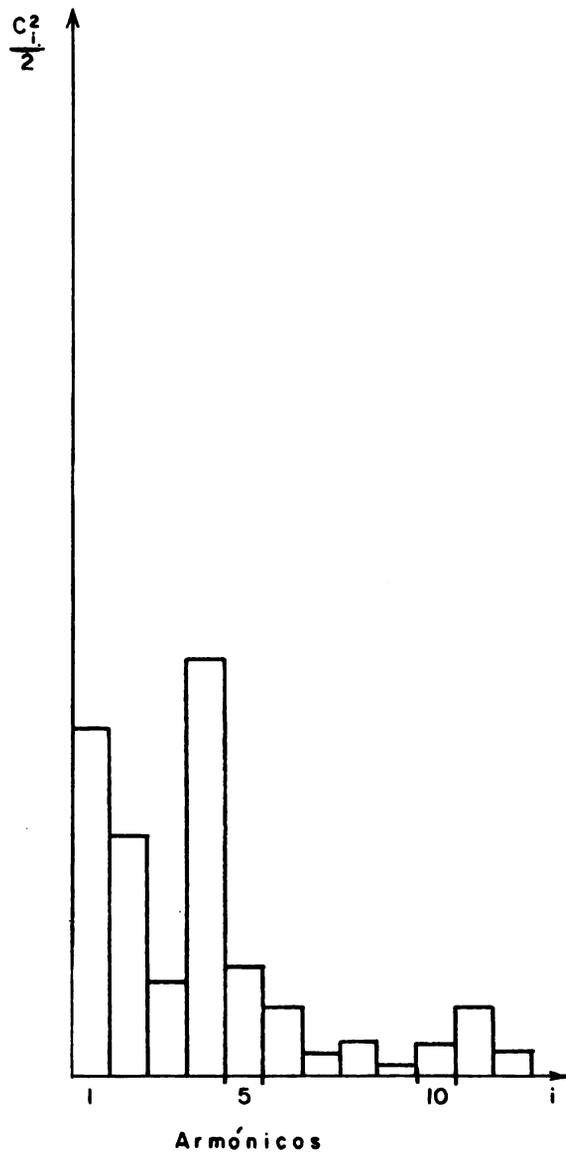
La Fig. 24 muestra parte de los resultados del Cuadro 18, de donde se deduce que los armónicos de la serie de Fourier de mayor importancia para el mes de febrero, son los de orden $i = 1,3,7,10$ y 12. Como el orden del armónico indica el número de ciclos durante el período fundamental, se comprende, que el armónico de orden 3, presenta tres ciclos en 50 años, ó sea, que dicho armónico tiene un período de 16,67 años.

Comparando los espectros de febrero y junio (Fig. 24) se aprecia que existen diferencias notorias entre las sub-series, lo cual afianza el criterio inicial de llevar a cabo el estudio por meses con base en la hipótesis de heterogenidad de la serie total, ya que la precipitación es el resultado de la actividad de masas de aire y sistemas frontales con diferente nivel de agua precipitable.

Finalmente en el Cuadro 19, aparecen los espectros de dispersión (variancia) correspondiente a las series de precipitación de Santo Domingo.



F E B R E R O



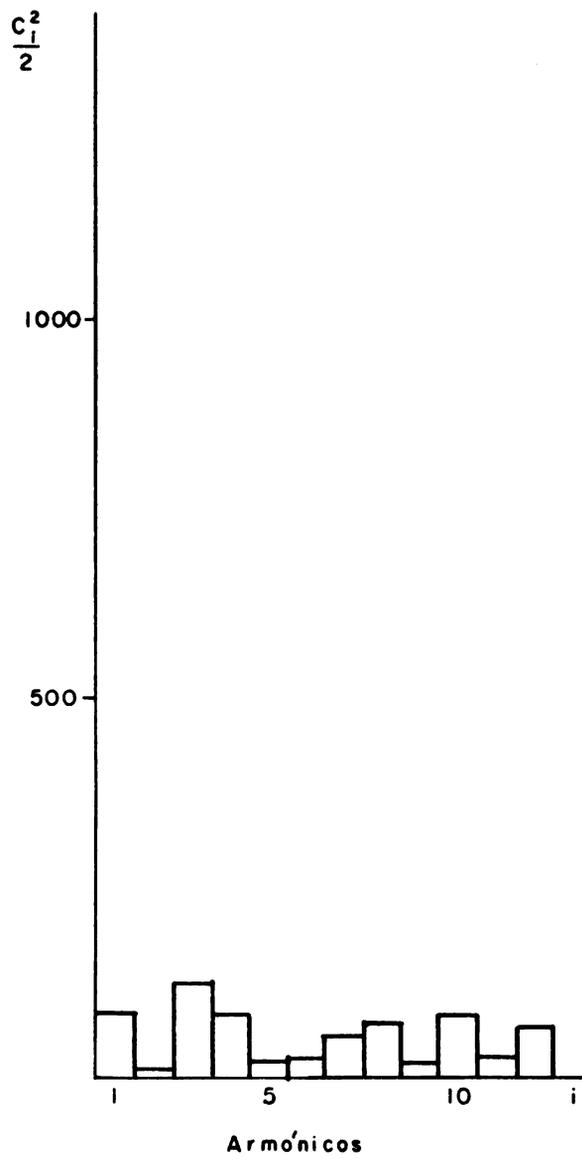
J U N I O

FIG. 24.- ESPECTROS DE LAS SERIES DE PRECIPITACION DE PUERTO PLATA (1918-1967)

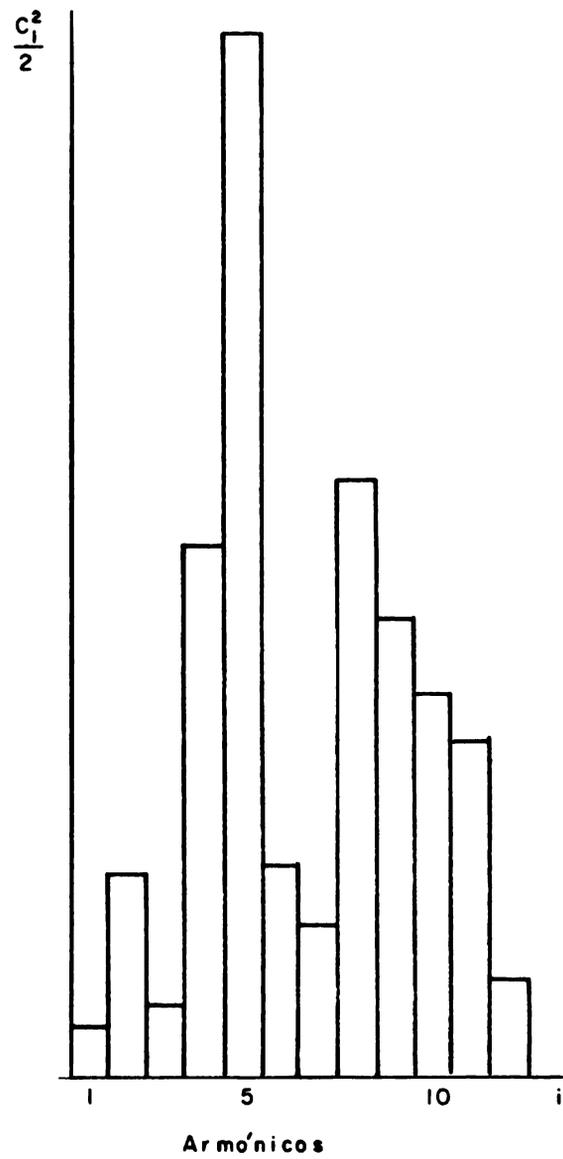
Cuadro 19. Espectro de dispersión de la precipitación en Santo Domingo

Meses Armónico	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
1	153,98	84,52	81,69	472,73	47,96	62,63	60,44	93,69	188,65	93,72	485,21	33,50
2	28,82	10,50	139,35	50,28	757,23	270,60	275,64	55,08	711,30	40,04	106,82	24,86
3	16,07	125,90	16,51	229,94	328,76	93,94	88,17	265,41	110,96	3,73	47,97	0,56
4	66,88	86,72	227,33	111,38	229,23	700,77	519,34	58,42	585,94	28,55	278,40	41,99
5	13,24	21,45	65,57	367,91	3,64	1376,77	145,01	214,22	270,70	26,08	302,15	40,58
6	107,89	27,70	102,23	124,77	8,48	281,43	103,83	366,96	434,75	3,37	88,50	31,19
7	318,29	53,80	71,33	241,00	2792,85	201,78	115,04	124,02	538,02	520,10	402,33	24,03
8	136,87	74,17	84,66	571,71	960,43	786,92	147,22	42,48	19,70	72,16	52,92	6,20
9	149,78	22,03	255,79	591,50	838,12	604,65	665,04	164,38	796,84	231,19	3,14	24,85
10	7,49	82,54	33,14	166,69	98,63	505,93	138,94	145,15	639,14	338,71	97,00	2,54
11	28,31	28,38	45,23	83,37	621,14	441,69	66,86	24,23	290,08	223,47	343,04	70,70
12	97,32	70,73	46,99	198,77	910,91	128,20	243,84	426,05	117,21	152,76	109,13	97,14

Una comparación de los espectros observados para Puerto Plata con los de Santo Domingo no mostró correlación de importancia, lo cual se hace bien manifiesto al comparar los espectros de variancia correspondientes a febrero y junio de esta última estación (Fig. 25) con aquellos de Puerto Plata (Fig. 24).



F E B R E R O



J U N I O

FIG.25.- ESPECTROS DE LAS SERIES DE PRECIPITACION EN SANTO DOMINGO (1918-1967)

5. CONCLUSIONES

- 5.1. El transcurso de las situaciones del macro tiempo sobre la isla de Santo Domingo, puede explicarse por la actividad de los sistemas de perturbación (TF, STN ó ITC) propuestos por Trojer para la descripción de la circulación general en el Trópico Americano.
- 5.2. Utilizando solamente los elementos meteorológicos de más frecuente observación (precipitación y temperatura), los métodos de la Climatología dinámica permiten detectar variaciones regionales en el transcurso del tiempo. La precipitación relativa discrimina el tiempo reinante y en consecuencia el ciclo fenológico de varios cultivos.
- 5.3. La influencia del relieve de la isla sobre el flujo general, explica los procesos dinámicos de convergencia y divergencia, estancamiento y foehn, que son los responsables de la distribución típica de las precipitaciones de huracanes.
- 5.4. El análisis armónico demostró que la variancia espectral es un parámetro dinámico que cambia en el tiempo (mes) y en el espacio (localización de estación).
- 5.5. El estudio dinámico de las manifestaciones atmosféricas es el punto de apoyo de las predicciones.
 - 1) el conocimiento de la secuencia de situaciones de cada sistema frontal hace posible el pronóstico del tiempo a corto plazo
 - 2) el conocimiento de la estructura de las series de precipitación ha de contribuir a la búsqueda de modelos para el pronóstico a largo plazo.

5.6. El conocimiento de la Climatología es el punto de partida para la utilización de los recursos hidráulicos. Siendo algunas de las conexiones entre ambas disciplinas las siguientes:

- 1) la estructura de las series de precipitación, es el soporte básico de la estimación de escorrentía y del conocimiento cronológico y geográfico del ciclo hidrológico.
- 2) el conocimiento de los patrones de precipitación de huracanes ayuda en el planeamiento de obras de control y de su posible aprovechamiento.
- 3) la descripción del clima por el conjunto de elementos sienta las bases fundamentales para estudios de selección de cultivos y de sus requerimientos hídricos en base a las exigencias climáticas.

6a. RESUMEN

La necesidad de una investigación del clima de la isla de Santo Domingo, que sirva de apoyo a proyectos de aprovechamiento, manejo y conservación de sus recursos de aguas y tierras, se hace evidente al considerar la estrecha relación que existe entre las manifestaciones atmosféricas con los procesos naturales involucrados en la transformación del agua y con la producción de materia vegetal.

Los objetivos del estudio fueron: 1) Estudiar los estados del macro tiempo y reconocer los sistemas de perturbación que rigen el desarrollo del tiempo sobre la isla de Santo Domingo. 2) Estudiar la diferenciación regional y temporal del conjunto de elementos meteorológicos básicos. 3) Esbozar patrones de precipitación asociados al paso de huracanes. 4) Estudiar la estructura de series de precipitación.

Los estudios climáticos de la isla realizados hasta la fecha, no logran explicar las causas y el desarrollo de las manifestaciones atmosféricas, limitándose a señalar aparentes anomalías en el régimen de las precipitaciones y escasas variaciones térmicas; estos trabajos ayudan poco en la solución de los problemas prácticos que se presentan en el manejo de recursos.

Se procuró utilizar los datos de todos los elementos meteorológicos medidos en la isla de Santo Domingo. Para el estudio del macro tiempo se utilizaron los mapas sinópticos diarios del Hemisferio Norte correspondientes al año 1960. Para la precipitación se usaron datos de doscientas sesenta y ocho estaciones. Además se compilaron datos de precipitación diaria durante el paso de diecinueve huracanes, ocurridos en el período 1943-1964, y de tales datos se emplearon los correspondientes a los huracanes Flora y

Ella y a la tempestad Florence para un estudio en detalle.

Los resultados más importantes del estudio se pueden resumir de la manera siguiente:

1) El estudio del macrotiempo reveló que las situaciones ciclónicas predominantes entre noviembre y mayo son del NW y S, mientras que en las que se presentan entre junio y setiembre predominan las del NE y SE. Se confirmó que los sistemas actuantes sobre la isla de Santo Domingo son: TF, STN e ITC. El sistema tropical (TF) está activo en los meses de diciembre, enero y febrero. La entrada del sistema subtropical norte (STN), a mediados de abril, determina la iniciación de la temporada de lluvias. Este sistema es el más importante para la isla; su regreso se produce entre octubre y noviembre y determina, por estancamiento, fuertes precipitaciones en el litoral norte. El sistema intertropical (ITC) está activo a mediados de año. Además, el modelo de circulación intertropical propuesto por Trojer, se ajustó a la secuencia de situaciones ciclónicas y anticiclónicas durante los meses de junio, julio y agosto.

2) En el estudio de la diferenciación temporal y regional del conjunto de elementos meteorológicos básicos, el análisis de las temperaturas máximas y mínimas diarias reveló claramente la influencia del tipo de tiempo y el efecto de las características de la superficie sobre las variaciones y gradientes de la temperatura. Se estudió la variación altitudinal de las temperaturas media, máxima y mínima (promedio mensual y anual) a lo largo de un perfil NS de la isla, encontrándose que: (a) Los gradientes más bajos de la temperatura media anual correspondían a la zona comprendida entre las llanuras costeras y las primeras elevaciones (0,32-0,48°C/100m). (b) Que los gradientes eran mayores en la zona de ascensos (0,72°C/100 m

sobre la vertiente norte de la Cordillera Central y $0,69^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ sobre la vertiente sur). En los niveles altos, el gradiente se aproxima al adiabático húmedo. La diferencia mensual de los gradientes de la temperatura la explica el transcurso anual del macrotiempo y la diferenciación regional de la gran cordillera que se opone al flujo general, junto con las circulaciones locales en los grandes valles bajos y en los valles intramontanos de la isla.

El transcurso relativo de la presión atmosférica presenta una onda doble; observándose el máximo principal a principios de año y el mínimo en octubre, con desviaciones entre 1,70 y 3,00 mb de la media anual.

El mapa de precipitación anual muestra la influencia de la topografía, que determina las circulaciones locales, cuyo efecto es tan marcado que resaltan diferencias en los niveles bajos, altos e intermedios. Los grandes valles interiores son los más secos, con precipitaciones desde 500 a 1000 mm. En las zonas intermedias donde se superpone el efecto de las circulaciones locales, aumenta la pluviosidad, alcanzando núcleos de 1500, 1750, y 2000 mm, generalmente entre 300 a 400 m sobre los fondos de valle. El nivel pluviométrico medio de las cimas de las cordilleras es de 1250 mm. Sobre las zonas más elevadas de la Cordillera Central y la sierra de Bahoruco, la precipitación anual desciende a 1000 mm.

Los mapas mensuales de precipitación relativa (% de la anual) además de describir la distribución de este elemento, revelan el transcurso temporal y regional del tiempo reinante (según la clasificación de Trojer basada en los valores de la precipitación relativa). Estos mapas presentan además la posición de los frentes climatológicos que activan las precipitaciones de cada mes.

La expansión geográfica de los tipos de transcurso pluvial, clasificados por el sistema Trojer, en forma de zonas de transcurso análogo del tiempo reinante, muestra el cambio de tipos de transcurso N a S a lo largo de la Cordillera Septentrional, el Noroeste de Haití y sobre los valles intramontanos a mediana elevación en la vertiente norte de la Cordillera Central; los transcurso de tipo N (época seca principal a inicios de año) se separan claramente de los transcurros de tipo S (época seca principal a mediados de año). Es obvio que un cambio tan marcado en el transcurso del tiempo reinante debe provocar cambios semejantes en el ciclo fenológico de las plantas. Una rápida encuesta puso en evidencia que existe un desplazamiento de seis meses en el ciclo de algunos cultivos entre las zonas de tipo de transcurso N y de tipo S. Al igual que en Colombia (con el sistema de la ITC) la reacción de la vegetación comprueba la existencia de la posición media de un sistema de perturbación sobre la Isla, identificado en el estudio del macrotiempo, como sistema subtropical norte (STN).

El análisis de relaciones comprobó altas asociaciones entre la precipitación relativa (P %) y el coeficiente P/B (precipitación/brillo solar), permitiendo construir una ecuación de predicción válida para el espacio geográfico con transcurso del tiempo semejante al de la estación de Santo Domingo.

Se estimaron los componentes de la radiación según los métodos de Budyko y Penman. De acuerdo con el primero, la radiación total resultante es de 240,01 gcal/cm²/día, que corresponde a un total anual de 87,66 kcal/cm² para la estación de Santo Domingo. La estimación del balance hídrico de esta misma estación es la siguiente:

$$r = E + f$$

$$1420,6 = 963,7 + 456,9 \text{ mm}$$

De acuerdo con Budyko, el clima local de Santo Domingo, corresponde a la transición de sabana a sabana tropical húmeda. Según Trojer, el valor del coeficiente $P/B = 0,72$, corresponde a regiones que la ecología denomina subhúmedas.

Las correlaciones entre la evaporación medida en tanque y los métodos corrientemente propuestos para la estimación de la evapotranspiración potencial (Thornthwaite, Holdridge, Blaney-Criddle y Blaney-Morin) dieron valores muy bajos. Por otra parte, se encontró un alto grado de asociación ($\pm 80\%$) entre los métodos de Thornthwaite, Holdridge y Blaney-Criddle, basados principalmente en el uso de la temperatura media.

3) Los mapas de precipitación relativos al paso del huracán Flora ilustran las situaciones típicas y los hallazgos concernientes al estudio de los patrones de precipitación asociados al paso de huracanes. La influencia de la topografía sobre el flujo general en forma de vórtice explica los procesos dinámicos de convergencia y divergencia, estancamiento y foehn, responsables de la distribución típica de las precipitaciones. Se explica por qué se producen altas precipitaciones sobre la vertiente norte de la Cordillera Central cuando los huracanes cruzan por el sur de la Isla, y también las fuertes precipitaciones en el llano costero sur al paso de huracanes a lo largo de la costa norte.

4) El análisis armónico permitió ajustar ecuaciones a las series cronológicas de precipitación correspondientes a cada mes, para las estaciones de Santo Domingo y Puerto Plata. Los espectros para cada serie en una estación particular fueron distintos, lo cual confirma la hipótesis de que la serie total de precipitación no es homogénea, ya que es el resultado de la actividad de sistemas frontales con diferente nivel de agua precipitable.

6b. SUMMARY

The need for research on the climate of the island of Santo Domingo, which can serve to give support to projects of development, management and conservation of the water and land resources, is evident when we consider the close relation that exists between the climate and the natural processes involved in the transformation of water and also with the plant production.

The objectives of this research were: 1) To study the overall weather pattern and to identify the systems of disturbance that affect the development of the climate of the island of Santo Domingo. 2) To study the regional and local differences of the basic meteorological elements. 3) To sketch patterns of precipitation associated with the passage of hurricanes; and finally. 4) To get some insight into the rainfall time series structure.

Weather studies of the island carried out previously do not explain the causes and development of the atmospheric disturbances since they are limited only to indicating apparent anomalies in the pattern of precipitation and small variations in temperature. These help little in the solution of the practical problems involved in the management of water resources.

The study tried to utilize data of all the meteorological elements measured on the Santo Domingo island. For the study of overall weather patterns, daily synoptic maps of the Northern Hemisphere during the year 1960 were used. For the precipitation, the study used data from 268 stations. In addition was compiled the daily precipitation during the passage of 19 hurricanes in the period 1943 to 1964. Part of such data was used for a more detailed study of the rainfall patterns of Flora and Ella hurricanes and the

tropical storm Florence.

The most important results of the study can be summarized in the following manner:

1) The study of the overall weather patterns reveal that the predominant cyclonic situations between November and May are from the NW and S, meanwhile those which occurred between June and September are predominantly from the NE and SE. It was confirmed that the systems acting over the island of Santo Domingo are: TF, STN and ITC. The tropical system (TF) is active in the months of December, January and February. The arrival of the north subtropical system (STN), at the middle of April, determines the beginning of the rainy season. This system is the most important for the island; its return between October and November causes by stagnation strong precipitations in the north coast. The inter-tropical system (ITC) is active in the middle of the year, and the model of the inter-tropical circulation proposed by Trojer is adjusted to the sequence of the cyclonic and anticyclonic situations during the months of June, July and August.

2) In the study of the local and regional differentiation of the basic meteorological elements, the analysis of the maximum and minimum daily temperatures revealed clearly the influence of type of weather and the effect of the earth surface characteristics upon the temperature range and gradients.

The study of the altitudinal variation of the maximum, minimum and mean temperatures (monthly and annual average) along a NS cross section of the island reveal that: a) The lowest gradients of the mean annual temperature correspond to the zone between the coastal plains and the first elevations (0,32-0,48°C/100 m). b) That the gradients were greatest in the zone of rise (0,72°C/100 m over the north slope of the Cordillera Central and

0,69°C/100 m over the south slope). In the higher elevations, the gradient approximated the wet adiabatic . The monthly difference of the temperature gradients is explained by the annual change of the long range weather pattern and the regional differentiation of the main mountain range which opposed itself to the general flow, together with the local circulations in the large low valleys and the intermountain valleys of the island.

The relative changes of atmospheric pressure show a double wave; the principal maximum occurs at the beginning of the year and the main minimum in October, with variations between 1,70 and 3,00 mb from the annual mean.

The map of annual precipitation shows the influence of the topography. The permanent effect of the local circulations is so marked that it results in differences at low, high and intermediate levels. The large interior valleys are the most dry, with precipitations between 500 mm and 1000 mm. In the intermediate zones, where the effect of local circulations overlap, there is an increase in the rainfall, in the form of 1500, 1750 and 2000 mm zones, generally between 300-400 m above the valley floor. The average rainfall on the tops of mountain ranges is 1250 mm. Over the most elevated areas of the Cordillera Central and Sierra de Bahoruco, the annual precipitation drop to 1000 mm .

The maps of relative monthly precipitation, in addition of providing a description, reveal the local and regional change of prevailing weather when the Trojer classification based on the values of relative precipitation is used. In addition, these maps show the position of the climatological fronts which active the precipitation of each month.

The geographic expansion of the relative rainfall types classified according the Trojer system, in form of zones of analogous course in the prevailing weather show the change from N to S types along the Cordillera

Septentrional and Northwest Haiti and over intermountain valleys at medium elevation on the north slope of the Cordillera Central; the type N relative rainfall courses (with main dry season in the beginning of the year) separates clearly from the type S (main dry season in middle of the year). It is obvious that such a marked change in the pattern of prevailing weather must make similar changes in the phenologic cycle of the plants. A quick survey gave evidence of a displacement of 6 months in the cycle of some crops between the zones of type N and S. Like in Colombia (with the ITC system), the reaction of the vegetation prove the existence of the average position of a disturbance on the island of Santo Domingo, which was identified in the study of long range weather pattern as north subtropical system (STN).

The analysis of relationships proved high correlations between relative precipitation (P %) and the coefficient P/B (precipitation/sunshine), permitting the construction of a prediction equation valid for the geographic space with weather patterns similar to Santo Domingo.

In the study, estimates of the components of radiation were made following the methods of Budyko and Penman. In accordance with the former the net radiation (radiation balance) is $240.01 \text{ gcal/cm}^2/\text{day}$ and corresponds to an annual total of 87.66 kcal/cm^2 for the station of Santo Domingo. The estimation of the water balance made at the same station is the following:

$$r = E + f$$

$$1420.6 = 963.7 + 456.9 \text{ mm}$$

According to Budyko, the local climate of Santo Domingo corresponds to the transition from savanna to wet tropical savanna. According to

Trojer, the value of the coefficient $P/B = 0,72$, corresponds to the ecological regions called sub-humid.

The correlations between the tank evaporation and the methods proposed for the estimation of the potential evapotranspiration (Thorntwaite, Holdridge, Blaney Criddle and Blaney-Morin) gave values very low. In addition it was found, a high degree of association ($\pm 80\%$) between the methods of Thorntwaite, Holdridge and Criddle, based principally in the mean temperature.

3) The isohetal maps for the passage of hurricane Flora illustrate the typical situations and the findings concerning to the study of rainfall associated with the passage of hurricanes. The influence of the topography over the general flow, in form of vortex, explain the dynamic processes of convergence and divergence, stagnation and foehn, responsible for the typical distribution of precipitation. This explains why high rainfall is registered over the northern slope of the Cordillera Central when the hurricanes cross to the south of the island and also the strong precipitations in the southern coastal plain related to the passage of hurricanes along the north coast.

4) The armonic analysis allowed the fitting of equations with rainfall as a function of time (years). This analysis was carried out permonth for Santo Domingo and Puerto Plata stations. The spectrums for each series at a particular station were quite different; such a result confirm the hypothesis of heterogeneity of the total series of rainfall, as a result of the frontal systems and air masses activity with different levels of precipitable water.

6c. RESUME

La nécessité d'une recherche sur le climat de l'Ile de Hispaniola qui servirait d'appui aux projets d'utilisation, aménagement et conservation de ses ressources des terres et eaux, ressort de façon évidente quand on considère la relation étroite qui existe entre les faits climatiques et les processus naturels de transformation des eaux et la production végétale.

Les objectifs de l'étude furent: 1) Etudier la circulation atmosphérique générale et reconnaître les systèmes de perturbation qui commandent l'évolution du climat de l'île Hispaniola. 2) Etudier la différenciation régionale et temporelle de l'ensemble des éléments météorologiques de base. 3) Esquisser les modèles de précipitation associés au passage des ouragans. 4) Etudier la structure de quelques séries de précipitation.

Les études climatiques de l'île réalisées jusqu'à la date ne parviennent pas à expliquer les causes et le développement des événements atmosphériques; elles se contentent de signaler des anomalies apparentes dans le régime des précipitations et quelques variations thermiques; ces travaux sont peu utiles en ce qui à trait à la recherche de la solution des problèmes pratiques qui surgissent dans la mise en valeur des ressources.

On s'est efforcé d'utiliser les données de tous les éléments météorologiques mesurés sur l'Ile Hispaniola. Au cours de l'étude du macro-temps on a employé les cartes synoptiques quotidiennes de l'Hémisphère Nord de 1960. En ce qui concerne les précipitations, on a utilisé les données de plus de 268 stations. De plus, on a compilé les données de précipitation quotidienne au cours du passage de 19 ouragans qui se produisirent entre 1943 et 1964. Les données des ouragans Flora et Ella et la tempête Florence furent étudiées en détail.

Les résultats de l'étude les plus importants peuvent être résumés ainsi:

1) L'étude du macro-temps révéla que les situations cycloniques prédominantes entre novembre et mai appartiennent au NW et au S, tandis que celles qui se présentent entre juin et septembre prédominent au NE et au SE.

On a pu confirmer que les systèmes en action sur l'Ile Hispañiola sont: TF, STN, et ITC. Le système tropical (TF) est actif au cours de décembre, janvier et février. L'arrivée du système sub-tropical nord (STN), au milieu d'avril, détermine le début de la saison des pluies. Ce système est le plus important pour l'Ile; son retour se produit entre octobre et novembre et détermine, par stagnation de fortes précipitations sur la Côte-Nord. Le système intertropical (ITC) est actif au milieu de l'année. De plus, le modèle de circulation intertropical proposé par Trojer s'ajuste à la séquence des situations cycloniques et anticycloniques des mois de juin, juillet et août.

2) Dans l'étude de la différenciation temporelle et régionale de l'ensemble des éléments météorologiques de base, l'analyse des températures quotidiennes maximales et minimales montra clairement l'influence du type et l'effet des caractéristiques de la surface sur les variations et les gradients de la température. On étudie la variation altitudinale des températures moyennes, maximales et minimales (moyenne mensuelle et annuelle) tout au long d'un profil NS de l'Ile, et l'on constata que: a) Les gradients les plus bas de la température moyenne annuelle correspondent à la zone comprise entre les plaines côtières et les premières élévations (0,32-0,48 °C/100 m). b) Que les gradients sont plus grands dans la zone d'ascendance (0,72°C/100 m sur le versant septentrional de la Cordillère Centrale et 0,69°C/100 m sur le versant méridional). Aux hautes altitudes, le gradient est voisin de l'adiabatique humide. La différence mensuelle des gradients

de la température s'explique par le cours de la circulation générale et la différenciation régionale de la grande cordillère qui s'oppose au courant général, lié aux circulations locales dans les grandes vallées basses et dans les vallées intermontagneuses de l'Ile.

Le cours relatif de la pression atmosphérique présente un mouvement double; on observe le maximum principal au début de l'année et le minimum en octobre, avec des écarts de 1,70 et 3,00mb par rapport à la moyenne annuelle.

La carte des précipitations annuelles montre l'influence de la topographie qui détermine les circulations locales dont l'effet est si marqué qu'il en résulte des différences aux niveaux inférieurs, élevés et intermédiaires. Les grandes vallées intérieures sont les plus sèches, avec des précipitations de 500 à 1000 mm. Dans les zones intermédiaires où se superposent les effets des circulations locales, la pluviosité augmente, atteignant 1500, 1750 et 2000 mm, généralement entre 300 et 400 m d'altitude par rapport aux fonds des vallées. Le niveau pluviométrique moyen des cimes des cordillères est de 1250 mm. Dans les zones plus élevées de la Cordillère Centrale et de la chaîne de montagnes de Bahoruco, la précipitation annuelle accuse une chute de 1000 mm.

Les cartes mensuelles de précipitation relative (% de la précipitation annuelle) en plus de décrire la distribution de cet élément, révèle le cours temporel et régional du temps (selon la classification de Trojer basée sur les valeurs de la précipitation relative). Ces cartes présentent en outre la position des fronts climatiques qui commandent les précipitations de chaque mois.

La répartition géographique des types de changement pluvial, classifiés par le système Trojer, sous forme de zones de changement analogue du

temps, montre le changement des types N a S au le long de la Cordillère Septentrionale, le nord-ouest d'Haiti et dans les vallées intermontagneuses, à des altitudes moyennes du versant nord de la Cordillère Centrale; les changements du type N (époque sèche principale du début de l'année) sont distincts nettement des changements de type S (époque sèche principale du milieu de l'année). Il est évident qu'un changement si marqué dans le cours du temps doit provoquer des changements semblables dans le cycle phénologique des plantes. Une enquête rapide démontra qu'il existe un décalage de six mois dans le cycle de quelques cultures entre les zones de cours de type N et celles de type S. A l'instar de ce qui se passe en Colombie (avec le système ITC), la réaction de la végétation atteste l'existence de la position moyenne d'un système de perturbation sur l'Ile Hispaniola identifié dans l'étude de la circulation générale comme étant le système subtropical nord (STN).

L'analyse des interrelations montre de fortes corrélations entre la précipitation relative (P%) et le coefficient P/B (précipitation/ensoleillement), et a permis de dresser une équation de prédiction valide pour l'espace géographique avec cours du temps semblable à celui de la station de Saint Domingue.

On estime les composantes de la radiation selon les méthodes de Budyko et Penman. Selon le premier, la radiation net est de 240,01 gcal/cm²/jour, qui correspond à un total annuel de 87,66 kcal/cm² pour la station de Saint Domingue. L'estimation du bilan hydrique de cette même station est la suivante:

$$r = E + f$$

$$1420,6 = 963,7 + 456,9 \text{ mm}$$

Selon Budyko, le climat local de Saint Domingue correspond à la transition savanne-savanne tropicale humide. Selon Trojer, la valeur du coefficient $P/B = 0,72$ correspond aux régions que l'écologie appelle sub-humides.

Les corrélations entre l'évapotranspiration mesurée en bac et les méthodes couramment proposées pour le calcul de l'évapotranspiration potentielle (Thornthwaite, Holdridge, Blaney-Criddle et Blaney-Morin) fournirent des valeurs inférieures. D'autre part, on a observé une relation étroite ($\pm 80\%$) entre les méthodes de Thornthwaite, Holdridge, Blaney et Criddle, basées principalement sur l'emploi de la température moyenne.

3) Les cartes de précipitation représentant le passage de l'ouragan Flora illustrent les situations typiques et les conclusions concernant les patrons de précipitation associés au passage des ouragans. L'influence de la topographie sur la circulation générale sous forme de tourbillon explique les processus dynamiques de convergence et divergence, stagnation et foehn, responsables de la distribution typique des précipitations. On explique pourquoi se produisent de fortes précipitations sur le versant nord de la Cordillère Centrale quand les ouragans traversent le sud de l'île, et aussi les fortes précipitations sur la plaine côtière méridionale au passage des ouragans le long de la Côte-Nord.

4) L'analyse harmonique permet d'ajuster des équations aux séries chronologiques de précipitation correspondant à chaque mois, pour les stations de Saint Domingue et de Puerto Plata. Les spectres pour chaque série dans une station particulière furent différents, ce qui corrobore l'hypothèse selon laquelle la série totale des précipitations n'est pas homogène, puisque c'est le résultat de l'activité de systèmes frontaux avec des niveaux différents d'eaux précipitées.

7. LITERATURA CITADA

1. ALPERT, L. Rainfall maps of Hispaniola. In American Scientific Congress, 8th, Washington, May 10-18, 1940. Proceedings. Washington, Department of State, 1942. v.9, pp.423-431.
2. _____. La répartition superficielle de la moyenne annuelle des pluies à travers la République d'Haiti. Revue Agricole d'Haiti 1(3):184-191. 1946.
3. BARRET, W.C. y MILLIGAN, C.H. Consumptive water use and requirements in the Colorado River of Utah. Utah Agricultural Experiment Station. Special Report no. 8. 1953. 28 p.
4. BLANEY, H.F. y CRIDDLE, W.D. Determining consumptive use and irrigation water requirements. U.S. Department of Agriculture. Technical Bulletin no. 1275. 59 p.
5. BUDYKO, M. The heat balance of earth surface. Trans. by Nina A. Stepanova. Washington, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, 1958. 259 p.
6. _____. Evaporation under natural conditions. Trans. from Russian. Jerusalem, Israel Program of Scientific Translations, 1963. 130 p.
7. CAMBIASO, J.B. A century of Dominican cyclonology. In Caribbean Hurricane Seminar, Santo Domingo, Feb. 16-25, 1956. Final Report. Santo Domingo, Government of Dominican Republic, 1956. pp. 105-108.
8. CENTRAL ROMANA CORPORATION. Plano general de caña, potrero y monte. La Romana, República Dominicana, 1962. 1:100.000.
9. CHEBOTAREV, N.P. Theory of stream runoff. Trans. from Russian. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, 1966. 464 p.
10. CHOW, V.T. Do climatic variations follow definite cycles? Civil Eng., 20(7):470. 1950.
11. CIEPS. República Dominicana; evaluación preliminar de las posibilidades de desarrollo eléctrico y de riego. México, 1962. p.iir.
12. CONRAD, V. y POLLACK, L.W. Methods in Climatology. 2nd.ed., rev. and enl. Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1950. 459 p.
13. CUCURULLO Junior, O. Informe sobre las deficiencias de agua en la región suroeste de Santo Domingo. Santo Domingo, s.e., 1967. 39 p.

14. DAWDY, D.R. y MATALAS, N.C. Statistical and probability analysis of hidrologic data. Analisis of variance, covariance, and time series. In Chow, V.T. ed. Handbook of applied Hidrology. New York, McGraw-Hill, 1964. Section 8-III, pp. 68-90.
15. DZERDZEEVSKI, B.L. Fluctuations of the general circulation of the atmosphere and climate in the twentieth century. In United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Changes of climate; proceedings of the Rome symposium. Paris, 1963. pp. 285-295.
16. ESSO STANDARD OIL (CARIBBEAN). Mapas de la República Dominicana y Haiti. New York, General Drafting Co., s.f. 1:800.000.
17. FELIZ D., A. Deficiencia y exceso de agua mensual según el método de C.W. Thornthwaite, calculado para varias localidades de República Dominicana. Santo Domingo, Instituto Agrario Dominicano, 1964. 3 p. (Mimeografiado).
18. _____. Podemos luchar contra la sequía. CODIA (República Dominicana) no. 12:35-43. 1968.
19. FLOHN, H. Theories of climatic change from the view pont of the global energy budget. In United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Changes of climate; proceedings of the Rome symposium. Paris, 1963. pp. 339-345.
20. _____. Ein klimagrafif durch die Sierra Nevada de Mérida (Venezuela). Wetter und Leben 20:181-191. 1968.
21. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Enquêtes sur les terres et les eaux dans la plaine des Gonaïves et le département du Nord-Ouest. Haiti. Rome, 1968. v.1, 173 p.
22. GARCIA B., J.U. Cyclones which caused damage on the Island of Hispaniola. In Caribbean Hurricane Seminar, Santo Domingo, Feb. 16-25, 1956. Final report. Santo Domingo, Government of Dominican Republic, 1956. pp. 243-251.
23. GEIGER, R. The climate near the ground. Trans. by M.N. Stewart and others. Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1950. 482 p.
24. GOUTIER, A. y FRERE, M.A. Aspects meteorologiques du passage de l'ouragan Flora. Port au Prince, Department de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et du Development Rural, 1964. 27 p.
25. HAITI. DEPARTMENT DES TRAVAUX PUBLICS. Les eaux de surface de la Republique d'Haiti. Bulletin Hidrographique (Haiti) no. 17. 1941. 94 p.
26. _____. SERVICE METEOROLOGIQUE NATIONAL. Hauter annuelle moyenne et distribution mensuelle des precipitations. 1952. 1:500.000

27. **HOLDRIDGE, L. R.** Simple method for determining potential evapotranspiration from temperature data. *Science* 130(3375):572. 1959.
28. **HURRICANE FLORA.** *WMO Bulletin* 13(3):139-142. 1964.
29. **INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS. PROGRAMA DE RECURSOS PARA EL DESARROLLO.** Informe técnico anual 1967-1968. s.n.t. 18 p. (Mecanografiado).
30. _____. Informe técnico anual 1967-1968. s.n.t. 16 p. (Mecanografiado).
31. _____. Informe final. s.n.t. 18 p. (Mimeografiado).
32. **INSTITUTO PANAMERICANO DE GEOGRAFIA E HISTORIA.** Los estudios sobre recursos naturales en las Américas; estudio preliminar en Cuba, Haití, República Dominicana y Puerto Rico. México, 1953. v.3, pp. 407-411.
33. **KESHISHEV, V.N.** The runoff in eastern Cuba. *Soviet Geography* 8(1):1-12. 1967.
34. **LEHR, P. E., BURNETT, R.W. y ZIM, H.S.** *Weather.* New York, Golden Press, 1957. 160 p.
35. **LES DEGATS du Cyclone Hazel.** *Bulletin Agricole (Haití)* 4(1):40-43. 1955.
36. **LOWRY, R. L. y JOHNSON, A.F.** Consumptive use of water for agriculture. *American Society of Civil Engineers. Transactions* no. 107:1243-1302. 1942.
37. **McCULLOCH, J.S.G.** Tables for the rapid computation of the Penman estimate of evaporation. *East African Agricultural and Forestry Journal* 30(3):286-295. 1965.
38. **MOYA, C.N.** de Mapa de la isla de Santo Domingo y Haití. Chicago, Rand McNally & Co., 1921. 1:400.000.
39. **OBIOLS, A. y PERDOMO, C.** Un enfoque para la planificación del desarrollo integral de la República Dominicana. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional, 1966. 71 p.
40. **PAN AMERICAN UNION.** Mapas base del Proyecto de Reconocimiento de Recursos Naturales República Dominicana/OEA. Santo Domingo, 1966. 1:150.000.
41. _____. Reconocimiento y evaluación de los recursos naturales de la República Dominicana. Washington, 1967. 3 v.
42. **PANOFSKY, H.A. y BRIER, G.W.** Some applications of statistics to Meteorology. University Park, Pennsylvania, State University, 1963. 224 p.

43. **PETTERSEN, S.** Introduction to Meteorology. 2nd.ed. New York, McGraw-Hill, 1958. 327 p.
44. **REDONNET, J., POUDEVIGNE, R. y GUY, M.** L'etude du bassin du Yaque du Sur. In United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Aerial Surveys and Integrated Studies; proceedings of the Toulouse conference. Paris, 1968. pp. 317-331.
45. **REPUBLICA DOMINICANA. DIRECCION GENERAL DE ESTADISTICA.** Anuario estadístico de la República Dominicana del año 1942. Santo Domingo, 1944. t.1, pp. 22-53.
46. _____. Anuario estadístico de la República Dominicana 1944-1945. Santo Domingo, 1949. pp. 5-26.
47. _____. Anuario estadístico de la República Dominicana 1946-1947. Santo Domingo, 1951. pp. 5-26.
48. _____. Anuario estadístico de la República Dominicana 1948-1949. Editora el Caribe, Santo Domingo, 1952. pp. 6-26.
49. _____. Anuario estadístico de la República Dominicana 1950. Santo Domingo, Arte y Cine, 1952. pp. 6-32.
50. _____. Anuario estadístico de la República Dominicana 1952. Santo Domingo, Imprenta San Francisco, 1954. pp. 6-35.
51. _____. Anuario estadístico de la República Dominicana 1953. Santo Domingo, Ed. El Caribe, 1956. pp. 6-35.
52. _____. Anuario estadístico de la República Dominicana 1954. Santo Domingo, Ed. El Caribe, 1957. pp. 6-35.
53. _____. INSTITUTO NACIONAL DE RECURSO HIDRAULICOS. Carta planimétrica de la cuenca del río Yaque del Norte. Santo Domingo, s.f. 1:100.000.
54. _____. Estudios de demanda de riego; método de uso consuntivo. Santo Domingo, División de Hidrología, 1963. p. irr.
55. _____. SECRETARIA DE ESTADO DE LAS FUERZAS ARMADAS. Mapa pluviométrico 1959. 1:500.000.
56. _____. La distribución termo-pluviométrica de la República Dominicana. Santo Domingo, 1960. 7 p.
57. _____. Latitud, longitud, elevación sobre el nivel del mar de varios observatorios meteorológicos. Santo Domingo, s.f. 1 p.
58. _____. SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL. El clima de la República Dominicana. Santo Domingo, 1958. 43 p.

59. REPUBLICA DOMINICANA. UNIVERSIDAD AUTONOMA DE SANTO DOMINGO. INSTITUTO CARTOGRAFICO UNIVERSITARIO. Carta planimétrica de la provincia de El Seibo. Santo Domingo, República Dominicana, s.f. 1:100.000.
60. _____. Carta planimétrica de la provincia La Altagracia. Santo Domingo, República Dominicana, s.f. 1:100.000.
61. _____. Carta planimétrica de la provincia de San Pedro de Macoris. Santo Domingo, República Dominicana, s.f. 1:100.000.
62. _____. Carta planimétrica del Distrito Nacional. Santo Domingo, República Dominicana, s.f. 1:100.000.
63. RIEHL, H. Tropical Meteorology. New York, McGraw-Hill, 1954. 392 p.
64. _____. Out look for future research. In Caribbean Hurricane Seminar, Feb. 16-25, 1956. Santo Domingo. Final report. Government of Dominican Republic, 1956. pp. 265-268.
65. RODRIGUEZ-ITURBE, I. y NORDIN, C.F. Some applications of cross spectral analysis in Hydrology: rainfall and runoff. Water Resources Research 5(3): 608-621.
66. SOGREAH. Estudios para el desarrollo múltiple de las cuencas de los ríos Yaque del Norte y Yaque del Sur. Reporte final. Grenoble, Francia, 1968. 5 v. p. irr.
67. THORNTH WAITE, C.W. Notes on tropical Climatology. s.n.t. 13 p.
68. _____. y MATHER, J.R. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance. New Jersey, Drexel Institute of Technology, 1957. 311 p.
69. TROJER, H. Una contribución a la Climatología dinámica. España, Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Publicaciones del Ebro, Miscelánea no. 5. 1949. 31 p.
70. _____. El tiempo reinante en Colombia; sus características y su desarrollo. Colombia, Federación Nacional de Cafeteros. Boletín técnico no. 13. 1954. 43 p.
71. _____. Fundamentos para una zonificación meteorológica y climatológica del Trópico y especialmente de Colombia. Cenicafé (Colombia). 10(8):289-373. 1959.
72. _____. Una posibilidad de pronósticos del tiempo a largo plazo para la agricultura tropical. Cenicafé (Colombia). 11(5):161-169. 1960.
73. _____. Algunas características agroclimatológicas del trópico americano. In Reunión Internacional sobre Problemas de la Agricultura en los Trópicos Húmedos de América, Lima, Perú, 1956. Informe. Lima?, 1966. 22 p.

74. TROJER, H. Introducción a la Meteorología y Climatología agrícola tropical. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1967. p. irr. (Mimeografiado).
75. _____. El clima y el desarrollo de la producción de cacao en la finca La Lola. Cacao (Costa Rica) 13(4):1-9. 1968.
76. _____. Sistematización de características meteorológicas para la clasificación climática del trópico. In Seminario sobre Trópicos Húmedos del Istmo Centroamericano, Turrialba, Ago. 13-17, 1968. Turrialba, Costa Rica, IICA, 1968. 26 p.
77. _____. The phenological equator for coffee planting in Colombia. In: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Agroclimatological Methods; proceedings of the Reading Symposium. Paris, 1968. pp. 107-113.
78. _____ y JARAMILLO, R. Zonificación agroclimatológica de Centro América. Turrialba, Costa Rica, IICA, Unidad de Recursos para el Desarrollo, 1969. 69 p. (Mecanografiado).
79. _____ y MONTOYA, J.M. Trópico húmedo: una definición. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1968. 3 p. (Mecanografiado).
80. TUNAROSA, V. Topoclimatología de la ladera del Volcán Turrialba, Costa Rica. Tesis Mg.Sc. Turrialba, Costa Rica, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, 1969. 99 p. (Mimeografiado).
81. US. AIR FORCE. AERONAUTICAL CHART AND INFORMATION CENTER. Operational Navigation Chart ONC J-26 Bahama Islands, Cayman Islands, Cuba, Haiti, Jamaica, Navassa Island. 3rd. ed. St. Louis, Mo., s.f. 1:1.000.000.
82. _____. Operational Navigation Chart ONC J-27 Puerto Rico. St. Louis, Mo., s.f. 1:1,000.000.
83. US. ARMY MAP SERVICE. CORP OF ENGINEERS. Dominican Republic. Road Map. Washington, 1961? 1:250,000.
84. US. DEPARTMENT OF COMMERCE. ENVIRONMENTAL SCIENCE SERVICES ADMINISTRATION. Daily Series. Synoptic Weather Maps. Part I. Northern Hemisphere Sea Level and 500 Millibar Charts. Jan. 1959, Dec. 1960. Asheville, USA, 1967.
85. _____. World Weather Records 1951-1960. Washington, 1966. v.3, 355 p.
86. US. DEPARTMENT OF COMMERCE. WEATHER BUREAU. Climatological Data. West Indies and Caribbean. Asheville, USA. v.40-45.
87. _____. Generalized estimates of probable maximum precipitation and rainfall frequency data for Puerto Rico and Virgin Islands. Washington, 1961. 94 p. (Technical paper, no. 42)

88. US. DEPARTMENT OF COMMERCE. WEATHER BUREAU. Tropical cyclones of the North Atlantic Ocean. Washington, 1965. 148 p. (Technical paper no. 55).
89. _____. Daily weather maps. Jan.-Dec. 1965. Washington, National Meteorological Center, 1965.
90. VEIHMEYER, F.J. Evapotranspiration. In Chew, V.T. ed. Handbook of applied hydrology. New York, McGraw-Hill, 1964. Section 11, pp. 1-38.
91. VITKEVICH, V. Agricultural Meteorology. Trans. from Russian. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations, 1963. 320 p.
92. WERNSTEDT, F.L. World climatic data. Latin America and the Caribbean. s.l., Pennsylvania State University, Department of Geography, s.f. pp. 35-36.
93. WOOD, H.A. Northern Haiti: land, land use and settlement. s.l., University of Toronto Press, 1963. 168 p.
94. YEVJEVICH, V. Misconceptions in hydrology and their consequences. Water Resources Research 4(2):225-232.

APENDICE

Cuadro 1. Desviaciones con respecto a la temperatura media anual y variaciones mensuales (vt) de la temperatura para 9 estaciones situadas a lo largo de un perfil NS de la isla de Santo Domingo.

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Júl.	Agó.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
<u>P.Plata</u> Max.	1,8	1,8	2,7	3,3	4,1	5,4	5,3	5,9	6,2	5,8	4,1	2,7	6,2
<u>M.anual</u> Min.	6,5	6,4	5,9	4,7	3,8	2,7	2,1	2,1	2,5	3,0	4,1	5,7	6,5
(25,3) vt:	8,3	8,2	8,6	8,0	7,9	8,1	7,4	8,0	8,6	8,8	8,2	8,4	12,7
<u>Yásica</u> Max.	1,7	2,1	3,5	4,1	4,2	5,5	7,4	6,6	8,3	6,9	4,9	2,5	8,3
(23,4) Min.	6,7	6,3	5,4	3,9	2,7	2,3	2,0	1,9	1,2	3,3	4,6	5,6	6,7
vt:	8,4	8,4	8,9	8,0	6,9	7,8	9,4	8,5	9,5	10,2	9,5	8,1	15,0
<u>Santiago</u> Max.	2,4	3,4	4,7	5,5	4,9	6,4	6,4	6,7	6,8	5,8	4,3	2,3	6,8
(26,1) Min.	7,5	7,4	6,6	5,0	4,4	3,5	3,4	2,8	3,1	3,9	5,4	6,7	7,6
vt:	9,9	10,8	11,3	10,5	9,3	9,8	9,8	9,5	9,9	9,7	9,7	9,0	14,3
<u>S.J.Matas</u> Max.	2,7	2,9	4,7	5,6	5,5	6,5	7,3	8,0	7,5	6,6	4,8	2,9	8,0
(23,9) Min.	7,9	7,4	6,6	5,1	4,5	3,6	3,7	3,3	3,7	4,3	5,6	7,3	7,9
vt:	10,6	10,3	11,3	10,7	10,0	10,1	11,0	11,3	11,2	10,9	10,4	10,2	15,9
<u>Jarabacoa</u> Max.	3,3	3,9	5,2	5,9	5,9	7,1	7,5	7,9	7,5	6,6	5,1	3,3	7,9
(21,8) Min.	8,0	8,0	7,3	5,6	4,7	4,4	4,4	4,1	4,2	4,6	4,6	7,2	8,0
vt:	11,3	11,9	12,5	11,5	10,6	11,5	11,9	12,0	11,7	11,2	10,7	10,5	15,9
<u>Constanza</u> Max.	5,0	5,8	6,9	7,4	7,4	8,1	8,4	8,5	8,4	7,9	6,7	5,6	8,5
(17,4) Min.	9,6	9,2	8,2	6,7	5,3	5,0	4,7	4,7	4,8	5,2	6,5	8,3	9,6
vt:	14,6	15,0	15,1	14,1	12,7	13,1	13,2	13,2	13,2	13,1	13,2	13,9	18,1
<u>Valle Nuevo</u> Max.	5,2	5,8	6,1	7,0	6,3	7,0	8,2	8,5	8,6	7,5	6,0	6,0	8,6
(12,1) Min.	9,6	9,3	8,3	7,7	5,9	5,4	4,6	4,3	5,1	5,1	6,8	8,5	9,6
vt:	14,8	15,1	14,4	14,7	12,2	12,4	12,8	12,8	13,7	12,6	12,8	14,5	18,2
<u>Padre Las Casas</u> Max.	4,5	4,8	5,5	6,1	6,2	6,1	6,9	7,2	6,6	5,4	5,8	5,4	7,2
(24,5) Min.	9,6	8,8	7,5	5,5	4,2	4,4	4,5	4,3	4,3	4,6	5,9	7,5	9,6
vt:	14,1	13,6	13,0	11,6	10,4	10,5	11,4	11,5	10,9	10,0	11,7	12,9	16,8
<u>Azua</u> Max.	3,7	3,7	4,4	5,1	4,9	5,5	6,5	6,9	6,3	5,3	5,0	4,0	6,9
(26,9) Min.	7,4	7,3	6,3	6,2	4,5	4,2	3,8	3,7	4,0	4,5	5,4	7,0	7,4
vt:	11,1	11,0	10,7	11,3	9,4	9,7	10,3	10,6	10,3	9,8	10,4	11,0	16,3

Cuadro 2. Correlaciones entre métodos de determinación de la evapotranspiración potencial y entre elementos meteorológicos. Valores del coeficiente r_{lk} extraídos de las matrices de correlaciones.

<u>Santo Domingo</u>	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Annual
Tanque	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Thorndwaite	-0.492	0.342	0.306	0.077	0.941	0.569	0.385	0.445	0.073	0.205	0.515	0.523	0.346
Holdridge	-0.596	0.351	0.159	-0.021	0.856	0.551	0.298	0.372	0.065	0.133	0.524	0.429	0.222
Blaney Criddle	-0.557	0.131	0.167	-0.072	0.817	0.518	0.332	0.375	0.053	0.179	0.503	0.430	0.400
Blaney-Morin	+0.457	-0.216	0.477	0.202	0.208	0.485	-0.011	0.714	0.173	0.623	0.390	0.439	0.623
Déficit Sat.	+0.431	-0.133	0.514	0.175	0.199	0.606	-0.005	0.707	0.304	0.617	0.463	0.469	0.485
% P	-0.162	-0.058	-0.570	-0.076	-0.200	-0.644	-0.096	-0.188	-0.212	-0.905	-0.346	-0.655	-0.010
P/B	-0.026	0.085	-0.452	-0.129	-0.308	-0.551	-0.070	-0.493	-0.427	-0.918	-0.296	-0.609	-0.051
% P	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
P/B	0.969	0.959	0.955	0.949	0.602	0.911	0.583	0.755	0.751	0.951	0.919	0.890	0.851
<u>Moca</u>													
Tanque	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Thorndwaite	0.399	0.803	0.770	0.580	0.701	0.415	0.724	0.748	0.558	0.409	0.220	0.536	0.832
Holdridge	0.350	0.784	0.720	0.539	0.685	0.481	0.817	0.797	0.370	0.367	0.205	0.547	0.724
Blaney-Criddle	0.315	0.800	0.745	0.540	0.305	0.508	0.832	0.783	0.270	0.301	0.254	0.547	0.811
Blaney-Morin	0.505	0.478	0.788	0.699	0.504	0.853	0.581	0.488	0.349	0.401	0.155	0.613	0.848
Déficit Sat.	0.431	0.525	0.840	0.427	0.485	0.842	0.351	0.500	0.385	0.381	0.158	0.636	0.728
% P	0.013	-0.078	-0.649	-0.413	-0.666	-0.224	-0.216	-0.445	-0.146	-0.651	-0.262	-0.471	-0.175

Cuadro 3. Parámetros C_i , t_i correspondientes a los armónicos de la serie de Fourier ajustada a los datos de precipitación de Puerto Plata (1918-1967)

Eno.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	
C_1	32,29	49,09	6,32	26,33	26,49	30,27	7,85	7,13	5,56	43,01	54,72	28,94
t_1	38,98	40,65	48,90	30,12	30,55	35,23	30,01	28,06	19,09	26,47	15,50	35,40
C_2	43,66	31,25	17,94	28,88	23,75	25,17	5,02	15,20	23,20	24,77	38,34	56,63
t_2	18,74	11,19	17,98	21,79	16,33	12,50	7,93	17,98	11,76	21,36	15,84	14,69
C_3	34,89	52,08	27,33	42,18	7,65	15,75	17,61	11,51	10,39	21,22	27,57	72,89
t_3	1,32	4,17	10,06	9,13	13,36	2,68	6,87	5,75	2,62	13,39	13,63	0,87
C_4	9,70	29,44	27,72	48,53	49,93	33,13	17,13	14,76	11,59	5,47	87,41	37,04
t_4	4,75	1,63	2,50	10,48	1,33	0,78	11,05	11,93	1,79	3,04	10,12	3,93
C_5	27,17	16,44	4,48	40,97	24,03	16,85	14,38	29,27	10,16	10,00	30,54	72,57
t_5	1,23	6,06	5,08	4,07	3,32	7,45	5,76	8,51	7,25	4,37	2,86	6,87
C_6	30,99	18,55	25,61	59,46	11,55	13,41	5,20	19,45	10,48	32,71	39,31	54,21
t_6	5,58	3,71	7,58	1,29	5,31	4,76	2,09	4,01	4,42	6,38	7,22	6,30
C_7	19,86	40,04	27,08	15,86	31,69	7,68	10,45	9,52	2,55	49,03	45,19	67,69
t_7	5,94	3,46	1,85	1,69	4,25	0,25	3,79	5,23	0,05	2,08	5,47	3,94
C_8	2,70	26,72	14,01	9,51	18,94	9,77	19,08	14,73	12,77	9,33	22,99	68,67
t_8	6,04	0,28	0,24	0,04	4,50	1,55	2,19	2,38	0,52	5,98	2,37	2,32
C_9	32,79	21,22	33,85	12,55	39,57	5,64	10,41	27,43	17,56	15,94	20,93	42,06
t_9	3,94	4,26	3,47	2,92	2,60	3,73	2,66	4,34	4,23	1,71	0,27	4,71
C_{10}	49,39	44,36	36,35	69,94	26,71	8,98	17,44	22,67	8,77	18,37	50,31	31,54
t_{10}	4,67	2,77	4,05	4,75	4,08	3,82	4,84	2,23	3,78	1,28	0,25	3,92
C_{11}	32,67	31,70	32,24	46,87	38,73	13,36	6,42	34,83	26,46	33,42	31,33	32,57
t_{11}	0,29	3,25	2,86	1,65	1,35	1,22	1,65	2,15	1,50	4,32	1,99	1,81
C_{12}	14,78	44,37	28,38	34,09	48,40	7,75	9,94	19,73	22,19	34,84	21,06	25,63
t_{12}	3,57	4,07	1,07	1,86	2,11	0,18	3,88	,01	2,22	1,12	4,12	1,96

Cuadro 4. Parametro C_i , t_i correspondientes a los armónicos de la serie de Fourier ajustada a los datos de precipitación de Santo Domingo (1918-1967)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Agó.	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
C_1	17,55	13,00	12,78	30,75	9,79	11,19	10,99	8,15	13,42	13,69	31,15	8,19
t_1	4,63	39,71	49,20	7,16	31,53	15,36	44,22	12,73	4,92	46,32	14,19	24,30
C_2	7,59	4,58	16,69	10,03	38,92	23,26	23,48	10,48	37,72	8,95	14,62	7,05
t_2	10,99	15,98	2,76	10,90	17,10	15,19	8,73	23,95	12,04	16,54	10,40	19,96
C_3	5,77	15,37	5,75	21,44	25,64	13,71	13,28	23,04	14,80	2,73	9,79	1,06
t_3	10,55	4,66	15,23	13,13	12,97	3,82	5,41	10,47	14,68	4,04	9,97	3,34
C_4	11,56	13,17	21,32	14,93	21,41	37,44	32,23	10,81	34,23	7,56	23,60	9,16
t_4	11,59	3,18	4,34	12,42	1,99	1,86	6,74	2,40	1,90	3,54	1,43	6,23
C_5	5,15	6,55	11,45	27,13	2,70	52,47	17,03	20,70	24,93	7,22	24,58	9,01
t_5	0,82	0,13	4,51	4,41	5,40	4,89	6,82	6,79	4,65	5,67	8,22	4,40
C_6	14,69	7,44	14,30	15,80	4,12	23,53	14,41	27,09	29,49	2,60	13,30	7,90
t_6	3,61	4,07	3,13	4,23	0,91	0,71	0,99	2,00	4,95	7,76	7,09	7,73
C_7	25,23	10,37	11,94	21,95	74,74	20,09	15,17	15,75	32,80	38,25	28,37	6,93
t_7	2,35	2,66	2,33	6,57	3,57	0,72	6,97	2,26	6,70	1,41	0,53	1,94
C_8	16,55	12,18	13,01	33,81	43,83	39,67	17,16	9,22	6,28	12,01	10,29	3,52
t_8	1,74	0,69	3,75	1,19	3,62	1,09	6,21	4,03	6,05	0,74	0,51	2,48
C_9	17,31	6,64	22,62	34,39	40,94	34,77	36,47	18,13	39,92	21,50	2,50	7,05
t_9	3,03	4,73	4,56	2,25	2,69	2,81	2,09	5,18	2,51	4,88	3,18	0,91
C_{10}	3,87	12,85	8,14	18,26	14,05	31,81	16,67	17,04	35,75	26,03	13,93	2,26
t_{10}	4,99	3,02	3,88	3,55	4,54	0,14	4,69	3,62	2,56	2,37	1,69	3,01
C_{11}	7,52	7,53	9,51	12,91	35,25	29,72	11,56	6,96	24,09	21,14	26,19	11,89
t_{11}	0,58	2,44	3,15	3,34	4,39	1,40	2,48	2,56	3,33	1,61	1,93	1,71
C_{12}	13,95	11,89	9,69	19,94	42,68	16,01	22,08	29,19	15,31	17,48	15,85	13,94
t_{12}	0,39	0,26	4,13	0,58	2,94	2,56	2,30	3,16	1,65	2,22	3,84	2,94

IICA
PM-64

Autor

CONTRIBUCION AL CONOCIMIEN-
TO DE LA DINAMICA DEL CLI-
MA DE LA ISLA DE STO.
DOMINGO

Título

Fecha
Devolución

Nombre del solicitante

DOCUMENTO
MICROFILMADO
Fecha: - NOV. 1980

