

+++✓

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA



CALENDARIZACION Y RIESGOS CLIMATICOS DEL MAIZ Y SORGO EN
LA PLANICIE COSTERA CENTRAL CON BASE A LA ESTACION EXPERI
MENTAL Y DE PRACTICAS.

POR :

CONCEPCION DEL CARMEN BERNAL PEREZ

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE :
INGENIERO AGRONOMO

SAN SALVADOR, MAYO DE 1990



JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AGRICOLA

ING. AGR. ELMER DAVID HERNANDEZ HENRIQUEZ

ASESOR :

DR. GELIO TOMAS GUZMAN LOPEZ

JURADO EXAMINADOR :

ING. AGR. ELMER DAVID HERNANDEZ HENRIQUEZ

ING. AGR. CARLOS ALBERTO AGUIRRE CASTRO

LIC. DANILO MALDONADO LOPEZ

RESUMEN

El presente trabajo de investigación, "CALENDARIZACION Y RIESGOS CLIMATICOS DEL MAIZ Y SORGO EN LA PLANICIE COSTERA CENTRAL CON BASE A LA ESTACION EXPERIMENTAL Y DE PRACTICAS;" con énfasis en el análisis pluviométrico consiste en la recopilación, cálculo y análisis de información agroclimática de la serie de observaciones de la Estación Agrometeorológica La Providencia, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, y de las Estaciones Climatológicas principales : Astoria y Santa Cruz Porrillo.

El estudio tuvo como objetivo definir los efectos climáticos de la zona agrícola de la planicie costera central y específicamente el de la Estación Experimental, para determinar la fecha óptima de siembra y cosecha del maíz y sorgo detectando los riesgos climáticos por déficit o exceso de precipitación. Así mismo, adoptar metodologías probabilísticas para la planificación de actividades durante el ciclo del cultivo con el fin de aprovechar las situaciones climáticas favorables y definir los riesgos climáticos, estableciendo una calendarización de cultivos que permita asesorar técnicamente al agricultor para que éste pueda minimizar riesgos y obtener producciones óptimas del maíz y sorgo.

Los resultados obtenidos demuestran que para ambas estaciones es coincidente el comienzo del período lluvioso

entre la tercera y primera década de mayo y junio, respectivamente.

Con la finalización del período de lluvia en la primera década de octubre y el fin del período de cultivo en la primera década de noviembre, con lo cual se tiene una duración total de 152 días del período de cultivo desde la siembra a la cosecha con una interrupción en la primera década de agosto, debido a la ocurrencia de canícula en la cual no deberán estar los cultivos en plena fase de desarrollo.

Durante el período de cultivo es también importante conocer los lapsos de tiempo en que se presentan 2 y 3 décadas consecutivas húmedas que pueden producir problemas de drenaje, riesgo de enfermedades en los cultivos o dificultades en la cosecha.

Este riesgo aparece en la segunda, tercera y primera década de los meses de julio, agosto y septiembre para la Estación La Providencia. Otro resultado importante que se obtuvo fue el del período de canícula el cual se presenta en la primera década de junio, con la inseguridad del comienzo del período lluvioso, y en la primera década de agosto que significa el comienzo del período de canícula con una probabilidad de 10% la cual se refiere a períodos de dos décadas o sea 20 días de duración, asumiéndose que la frecuencia de períodos menores son los más comunes en canículas.

En conclusión, la fecha óptima de siembra de los cultivos de maíz y sorgo es la tercera década de mayo. Si no se realiza en esta fecha, hay que esperar la segunda década de junio con una reducción de 10 qq/ha en la cosecha y con -- riesgo de canícula.

AGRADECIMIENTOS

MIS SINCEROS AGRADECIMIENTOS A :

- El Doctor Gelio Tomás Guzmán López
Asesor de mi trabajo de graduación, por su valiosa y de
sinteresada colaboración, y por el buen desarrollo del
mismo.

- El personal docente y administrativo de la Facultad de
Ciencias Agronómicas.
Por su valioso aporte en mi formación profesional.

- La señora Marina del Carmen Rodríguez
Por su paciencia y dedicación en la mecanografía de la
tesis.

- Mi amiga : Patricia Carolina Flores de Ayala
Por su constante muestra de apoyo.

- Mis compañeros Universitarios
A todos gracias.

Guillermo Alejandro.

*
Como un ejemplo y en un futuro ellos alcancen esta meta.

I N D I C E

	Página
RESUMEN	iii
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA	vii
INDICE DE CUADROS	xv
INDICE DE FIGURAS	xviii
1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	4
2.1. Generales	4
2.2. Específicos	4
3. REVISION DE LITERATURA	5
3.1. Epoca de cultivo de secano en El Salva- dor	5
3.2. Conceptos fundamentales	7
3.2.1. Evapotranspiración potencial - (ETP)	7
3.2.2. Epoca de canícula	7
3.2.3. Período de cultivo	8
3.2.4. Probabilidades de ocurrencia de precipitación	8
3.2.5. Rendimiento potencial de los cul- tivos	9
3.3. Influencia de los elementos climáticos - en la producción	9
3.3.1. Temperatura del aire	9
3.3.2. Humedad relativa	10
3.3.3. Radiación	11
3.3.4. Brillo y luz solar	11
3.3.5. Viento	13

	Página
3.4. Características bioclimáticas que influ yen en el rendimiento del maíz y sorgo .	13
3.5. Características bioclimáticas del maíz ...	14
3.5.1. Límites latitudinales	14
3.5.2. Temperatura del aire	14
3.5.3. Precipitación	15
3.5.4. Humedad del aire	16
3.5.5. Luz	16
3.5.6. Fotoperíodo	16
3.6. Características edafológicas del maíz ..	16
3.7. Características bioclimáticas del sorgo.	17
3.7.1. Límites latitudinales	17
3.7.2. Temperatura del aire	17
3.7.3. Precipitación	17
3.7.4. Humedad del aire	18
3.7.5. Fotoperíodo	18
3.8. Características edafológicas del sorgo .	18
3.9. El cultivo del maíz y sorgo en El Salva- dor y Centro América	19
3.10. Generalidades del maíz y sorgo	20
3.11. Generalidades del maíz	20
3.11.1. Origen	20
3.11.2. Distribución	21
3.11.3. Clasificación botánica	21
3.11.4. Morfología	21

	Página
3.12. Generalidades del sorgo	24
3.12.1. Origen	24
3.12.2. Distribución	24
3.12.3. Clasificación botánica	24
3.12.4. Morfología	25
3.12.5. Usos	26
3.13. Generalidades del sorgo	28
3.13.1. Períodos fenológicos del maíz H-5, y algunas variedades del sorgo	28
4. MATERIALES Y METODOS	29
4.1. Ubicación geográfica	29
4.2. Suelos de la Estación Experimental y de Prácticas La Providencia	30
4.3. Información climática utilizada	31
4.4. Pruebas de homogeneidad y heterogenei- dad	31
4.5. Relleno e igualación de series climáti- cas	32
4.6. Precipitación probabilística	33
4.6.1. Derivación de valores decádicos.	34
4.7. Análisis frecuencias de precipitación ..	34
4.7.1. Determinación del período de cul- tivo	35

	Página
4.7.2. Análisis frecuencial de lluvias en la agricultura	35
4.8. Determinación de la probabilidad de ocu- rrencia de "N" decádicos de la ETP	38
4.9. Evapotranspiración potencial (ETP)	40
4.9.1. Derivación de valores decádicos de la ETP	41
4.10. Información decádica	42
4.11. Balances hídricos	42
4.11.1. Balances hídricos climáticos .	43
4.11.2. Cálculo de índices de disponi- bilidad hídrica (IH)	44
4.11.3. Balances hídricos agrícolas ..	45
4.12. Elección del coeficiente de cultivo -- (Kc)	46
4.13. Determinación de la capacidad de reten- ción aprovechable en el suelo	47
4.14. Estimación de los rendimientos potencia- les de los cultivos	48
5. RESULTADOS	51
6. DISCUSION DE RESULTADOS	86
6.1. Condiciones climáticas generales de La Providencia	86
6.1.1. Precipitación	86
6.1.2. Temperatura	86

	Página
6.1.3. Humedad relativa	87
6.1.4. Luz solar	87
6.1.5. Radiación	88
6.1.6. Viento	89
6.2. Información climática decádica	89
6.3. Homogenización e igualación de series ...	90
6.3.1. Coeficiente de correlación	90
6.4. Precipitación anual	92
6.4.1. Precipitación probabilística mensual	95
6.4.2. Precipitación probabilística decádica	96
6.5. Determinación del período de cultivo	97
6.6. Análisis del período de canícula	99
6.7. Resultados de las unidades de suelo	100
6.8. Balance hídrico climático general mensual	101
6.9. Balance hídrico climático decádico	104
6.10. Coeficiente de cultivo (Kc)	105
6.11. Balances hídricos agrícolas del maíz y sorgo	107
6.12. Resultados de los rendimientos potenciales de los cultivos del maíz y sorgo para la Estación La Providencia	108

	Página
6.13. Epoca de siembra óptima y calendarios agrícolas	110
7. CONCLUSIONES	114
8. RECOMENDACIONES	118
9. BIBLIOGRAFIA	220
10. ANEXOS	123

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Variedades del maíz recomendadas para El Salvador y sus características agronómicas	23
2	Variedades de sorgo recomendadas para El Salvador	27
3	Estaciones climatológicas utilizadas en el estudio	30
4	Resumen de elementos climáticos para la Estación La Providencia para un período de 11 años (1976-1987)	69
5	Promedios decádicos de humedad relativa (HR & radiación extraterrestre en milímetros equivalentes de evaporación (RMM), Temperatura media del aire en °C y el Factor TMF en °F para la Estación La Providencia para un período de once años ..	70
6	Coefficientes de correlación	91
7	Promedios anuales de lluvia	93
8	Probabilidades de lluvia mensual para la Estación La Providencia, según el método de Weibull	71
9	Probabilidades de lluvia mensual para la Estación La Providencia y la Serie Alargada Astoria + La Providencia según el método de Weibull	72

Cuadro		Página
10	Resultados de las pruebas de homogeneidad para la Estación La Providencia y la Serie Alargada Astoria + La Providencia	73
11	Algunas unidades de mapeo y extensión en Has, - de los suelos de la Estación Experimental La Providencia	74
12	Balance hídrico climático mensual para la Estación La Providencia	75
13	Balance hídrico climático mensual para la Estación La Providencia	76
14	Balance hídrico climático mensual para la Estación La Providencia	77
15	Balance hídrico climático mensual para la Estación La Providencia	78
16	Balance hídrico climático decádico para la Estación La Providencia	79
17	Balance hídrico de cultivo decádico para la Estación La Providencia	80
18	Balance hídrico de cultivo decádico para la Estación La Providencia	81
19	Balance hídrico de cultivo decádico para la Estación La Providencia	82
20	Balance hídrico de cultivo decádico para la Estación La Providencia	83

Cuadro		Página
21	Balance hídrico de cultivo decádico para la Estación La Providencia	84
22	Balance hídrico de cultivo decádico para la Estación La Providencia	85
23	Rendimientos potenciales de los cultivos maíz y sorgo para la zona La Providencia	110
24	Período de siembra bajo condiciones de secano en la Estación La Providencia	113
A.2	RA Hemisferio del Norte	123
A.5	Índice de cosecha (CH) de variedades de alta producción bajo riego (sobre la base de peso seco) ..	126
A.6	Capacidad provisional de almacenaje de agua en diferentes combinaciones de suelo y vegetación (según Thornthwaite-Mather 1957)	127
A.7	Promedios de lluvia de la Estación La Providencia	128
A.8	Promedios de temperatura del factor TMF en °F de la Estación La Providencia	129
A.9	Recorrido del viento en kms/día y mts/seg. de la Estación La Providencia	130
A.10	Evaporación en milímetros de la Estación La Providencia	131
A.11	Temperatura máxima promedio en °C de la Estación La Providencia	132
A.12	Temperatura mínima promedio en °C de la Estación La Providencia	133

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Diagrama de barras que representa los períodos en años de datos climáticos de las Estaciones Astoria, Santa Cruz Porrillo y La Providencia	52
2	Agroclimatograma de la Estación La Providencia (Registros promedios de once años).	53
3	Variación interanual de la lluvia para la Estación Santa Cruz Porrillo	54
4	Variación interanual de la lluvia para la serie alargada Astoria + La Providencia y Santa Cruz Porrillo	54
5	Lluvia anual en milímetros para la serie - Alargada Astoria + La Providencia y la Estación Santa Cruz Porrillo	55
6	Probabilidades de las lluvias decádicas al 25% para las Estaciones Astoria, Santa Cruz Porrillo y la Serie Alargada Astoria + La Providencia	56
7	Probabilidades de las lluvias decádicas al 75% para las Estaciones Astoria, Santa Cruz Porrillo y La Serie Alargada Astoria + La - Providencia	57

Figura		Página
8	Análisis frecuencial de lluvias y ocurrencia de 2 y 3 décadas consecutivas secas - para la Estación La Providencia	58
9	Período de cultivo para las Estaciones La Providencia y Santa Cruz Porrillo	59
10	Ocurrencia de 2 y 3 décadas consecutivas lluviosas para la Estación La Providencia.	60
11	Balance hídrico climático para la Estación La Providencia (Capacidad de retención 100 mm)	61
12	Balance hídrico climático para la Estación La Providencia (Capacidad de retención 100 mm)	62
13	Balance hídrico climático para la Estación La Providencia con probabilidad de lluvia al 75% (Capacidad de retención 100 mm)	63
14	Balance hídrico climático para la Estación La Providencia (capacidad de retención 100 mm. PP. (25 %)	64
15	Balance hídrico climático para la Estación La Providencia (capacidad de retención 200 mm. PP. (25 %)	64
16	Balance hídrico climático para la Estación La Providencia (capacidad de retención 100 mm. - PP. (75 %)	65

Figura		Página
17	Balance hídrico climático para la Estación La Providencia (capacidad de retención 200 mm. PP. 75 %)	65
18	Coeficiente de cultivo Kc (método FAO) .	66
19	Coeficiente de cultivo Kc (método FAO) .	67
20	Coeficiente de cultivo Kc (método FAO) .	68
A.1	Fotosíntesis bruta en función de la radiación solar y horas de brillo solar por día	122
A.3	Mapa general de la zona de estudio	124
A.4	Unidades de suelo de la Estación La Providencia	125

1. INTRODUCCION

Los cultivos de maíz y sorgo son de vital importancia en El Salvador, debido a que son granos básicos que forman parte de la dieta alimenticia de la población.

El maíz y sorgo se cultivan en extensas regiones de todo el mundo ya sea asociados o en monocultivo. Los sistemas de siembra varían, dependiendo de las condiciones ambientales particulares de cada lugar (10).

La agricultura de secano depende de la cantidad de agua; pero más que todo de la distribución de la precipitación del período de lluvias por que ésta determina la época de siembra, cosecha, la sucesión de cultivos y los riesgos por deficiencia o excesos de lluvias. Considerando que el efecto nocivo puede manifestarse en períodos muy cortos, la forma clásica mes-calendario es inadecuada, debiendo estudiar períodos más cortos que reflejan los cambios en los ciclos biológicos siendo éstos las décadas y las pentadas (14).

El incremento de la población en El Salvador, con problemas de alimentos y deterioro en los recursos naturales crea la necesidad de tomar medidas inmediatas de delimitar las áreas de conservación de recursos naturales.

La agricultura intensiva en un limitado territorio debe tener claro conocimiento de los riesgos, contándose entre éstos los ocasionados por las fluctuaciones climáticas detectables en las series de larga duración.

La relación entre tiempo y agricultura muestra la complejidad de las influencias e interrelaciones de factores físicos del medio en la productividad agrícola (2).

El hombre debe saber intervenir con sumo cuidado para poder aprovechar los factores favorables, defenderse de los nocivos, mejora los que estén en deficiencia y emprender aquellos cambios posibles siempre que no produzcan desequilibrios en el ecosistema.

El conocer el ambiente que rodea a una región o zona agrícola específica dedicada a la agricultura con fines de minimizar riesgos (sequía especialmente), antes que a maximizar producción. Significa para el agricultor asegurar la inversión, que no sólo ayude a planificar cultivos, sino a tener una idea sobre la posibilidad de pagar créditos, guardar reservas e incluso asegurarse contra daños meteorológicos. Los resultados de la investigación no van directamente al agricultor sino van a las oficinas competentes de investigación y extensión agrícola, y éstas son las que van a asesorar a los agricultores. El agricultor va a tener una asesoría mejor fundamentada con lo cual se pretende ir eliminando el tradicionalismo y elevar el nivel tecnológico, en base al conocimiento científico.

La integración del suelo, clima y planta, permitirá desarrollar y utilizar todos los conocimientos agrometeorológicos y climatológicos para ponerlos al servicio del agricultor. Con el objeto de aumentar la producción de granos

básicos como maíz y sorgo, proponiendo una metodología que permita sembrar y cosechar cuando las condiciones climáticas son favorables.

El control de los factores ambientales permitirá que las producciones a cosechar sean lo más económicas y rentables posible (9).

2. OBJETIVOS

2.1. Generales

- Analizar los efectos climáticos en el cultivo del maíz y sorgo en la planicie costera central y específicamente - el de la Estación Experimental, ^{en el caso de} para determinar la fecha óptima de siembra y cosecha del maíz y sorgo, detectando los riesgos climáticos por déficit o exceso de precipitación.
- Aplicar metodologías probabilísticas en el análisis climático para detectar niveles de riesgos y aprovechar las situaciones climáticas favorables y evitar las situaciones desfavorables para la planificación de actividades en el ciclo del cultivo del maíz y sorgo.

2.2. Específicos

- Establecer una calendarización de cultivos, señalando los riesgos climáticos, lo que permitirá asesorar técnicamente al agricultor para que éste pueda aprovechar las situaciones climáticas más favorables para la siembra y obtener producciones óptimas, acorde a la evaluación anual del clima de la zona.

3. REVISION DE LITERATURA

3.1. Epoca de cultivo de secano en El Salvador

La agricultura de secano en El Salvador está determinada en primer lugar por la distribución anual de la lluvia. El Salvador pertenece al trópico seco o sea que se muestra en el transcurso del año como una característica general una estación seca y una estación lluviosa.

Según Flores, en algunos lugares de El Salvador se inicia la época lluviosa en la tercera década de abril, y por el contrario existen lugares como la zona del norte del río Lempa medio (puente Cuscatlán y alrededores), Candelaria de la Frontera, Nueva Concepción y Acajutla que se retrasa a la tercera década de mayo; y como caso extremo, se inicia este período en la primera década de junio en la zona del Lago de Guija.

En el oriente del país existen zonas en las cuales en la época lluviosa existen notables reducciones de lluvias, por lo que consecuentemente se observan períodos en los cuales la precipitación es menor que la evapotranspiración potencial, llegando a registrar entre 8 a 15 días sin lluvia, por lo que los cultivos deben sobrevivir con la humedad almacenada en el suelo. Dentro de estas áreas donde suele ocurrir sequía interestival o canícula, los agricultores deben desarrollar sistemas de producción de cultivos que pretenda prioritariamente superar o evitar la canícula y adaptarse a la fisiografía y características edáficas que pueden acelerar y alargar los períodos de problemas

hídricos en los cultivos (14).

Se estima que, cuando las lluvias son iguales o mayores que la evapotranspiración potencial se tiene el inicio o finalización del período lluvioso en el cual, para cada zona en particular se observarán relativos comportamientos de lluvia que deben dar la pauta para que todos los sectores agrícolas pongan en acción las respectivas actividades agrícolas.

En la zona central se da esta disminución del período lluvioso en menor grado y generalmente ha sido ubicada su presencia entre los meses de Julio y Agosto de cada año. En función de lo anterior y considerando que la presencia de este período seco en muchas ocasiones ha producido una disminución considerable en los rendimientos de los cultivos debido a que la lluvia caída no satisfase la demanda de los cultivos plantados en esa época, o - debido a que las etapas críticas en donde los mismos cultivos no toleran deficit hídricos (floración y formación de cosecha) son coincidente con la presentación de este fenómeno (16).

Por lo tanto, la planificación de cultivos requiere del conocimiento de los elementos del clima que inciden en las diferentes etapas de desarrollo y del crecimiento de los cultivos; que además interactua con el sistema suelo-planta y las labores culturales. Por cuanto amerita un estudio detallado de la precipitación así como de los otros elementos que componen la oferta climática del lugar, beneficiosa o no para cada cultivo en particular.

3.2. Conceptos fundamentales

3.2.1. Evapotranspiración potencial (ETP)

ETP. La evapotranspiración potencial es la cantidad de agua transpirada por unidad de tiempo, por un cultivo verde, de pequeña altura y uniforme que cubre totalmente la superficie del suelo y con un óptimo abastecimiento de agua.

Los valores de evapotranspiración potencial son muy importantes e indispensables en la programación de sistema de riego y drenajes, en la obtención de balances hídricos de una zona determinada, en el conocimiento de las necesidades y excesos de agua de los cultivos, en los análisis sobre reservas de agua para usos futuros en zonas con limitaciones de la misma y también para predecir y evaluar la frecuencia y severidad de las sequías agrícolas en diversas áreas (1, 14, y 16).

La evapotranspiración potencial, representa aproximadamente el requisito óptimo de agua de un cultivo bien desarrollado y que cubre bien el suelo. Se puede considerar que la mitad de la evapotranspiración potencial ($ETP/2$), representa el requisito mínimo para un rendimiento satisfactorio (pero no necesariamente óptimo). Esto constituye evidentemente una aproximación necesaria para simplificar el problema.

3.2.2. Epoca de canícula

El concepto general de canícula ha sido definido en una pri

mera aproximación como una disminución del 5% de la contribución porcentual de la lluvia mensual a la anual (14). Otra definición explica que la canícula es la interrupción del período lluvioso en el cual la precipitación es menor que la ETP llegando a registrar más de cuatro días sin lluvia.

3.2.3. Período de cultivo

El período de cultivo es aquel en el cual el agua del terreno, producida en su mayor parte por las lluvias, está a libre disposición del cultivo. Esto sucede cuando el agua consumida por el cultivo mantiene un equilibrio con las lluvias y con el agua almacenada por el terreno (14).

3.2.4. Probabilidades de ocurrencia de precipitación

Es la determinación de los porcentajes de probabilidades de lluvia para ser aplicados a la agricultura de secano. Se trata de saber con que frecuencia la tierra recibirá determinada cantidad de lluvia, o con que frecuencia determinados valores de lluvia podrán ser superados por las cantidades precipitadas posteriormente. Para el caso, una probabilidad de 75% indica que 3 de cada 4 años los valores estimados a este porcentaje de probabilidad van a ser superados o que la tierra recibirá durante el mismo período como mínimo las cantidades resultantes del cálculo probabilístico (1).

3.2.5. Rendimientos potenciales de los cultivos

El rendimiento potencial de un cultivo se puede definir como el rendimiento cosechado de una variedad de alta producción optimamente adaptado al ambiente climático en el período vegetativo total (siembra, cosecha) y que su rendimiento no está limitado por el agua, nutrientes, plagas y enfermedades y condiciones de manejo cultural.

3.3. Influencia de los elementos climáticos en la producción

Para la selección de los elementos climáticos a considerar en este estudio se hace necesario determinar la importancia que estos tienen en la producción.

3.3.1. Temperatura del aire

La temperatura del aire, cumple un papel determinante en el desarrollo y producción de las plantas, ya que influye directamente en el crecimiento y longitud del período vegetativo de las mismas.

Las especies botánicas se desarrollan dentro de niveles térmicos establecidos para cada una de ellas, de acuerdo a su estructura fisiológica, es por eso que las variaciones diurnas y nocturnas de la temperatura del aire, así como de los niveles máximos y mínimos que se registran en determinada zona permitirán realizar un mejor acondicionamiento de cultivos que se adap

ten a la dominancia térmica existente (1).

3.3.2. Humedad relativa

[20] El conocimiento de la humedad relativa del aire permite realizar prácticas agrícolas más eficaces, especialmente en el aspecto de las enfermedades fungosas y bacterianas de las plantas y su control.

El aire siempre contiene ciertas cantidades de agua en estado gaseoso que se mide en términos de humedad relativa, a temperaturas altas el aire puede contener más vapor de agua que a temperaturas bajas. La humedad relativa se expresa en porcentaje, la cantidad de vapor de agua en el aire en determinado momento, en comparación con el total que el aire puede contener a esa temperatura.

Del AR La humedad relativa y su efecto nocivo para las plantas está directamente relacionada con el número de días con precipitación y las condiciones de temperaturas imperantes, ya que los patógenos de algunas enfermedades de las plantas para su desarrollo y multiplicación requieren de elevada humedad relativa acompañada de altas temperaturas y determinado número consecutivo de días con lluvia para que se produzca la enfermedad que trae como consecuencia pérdidas en la producción de los cultivos (1).

V. Anaya
L. M. M. M.
C. M. M. M.

1. M. M. M. M.

Contenido

Del AR

comentarios del - 10

3.3.3. Radiación

La radiación solar tiene fundamental importancia como elemento climatológico para la agricultura, ya que de ésta dependen los diversos procesos que las plantas desarrollan en su crecimiento y producción. Tales como: La cantidad de radiación solar recibida rige los procesos fundamentales que intervienen en la elaboración de materia orgánica mediante la fotosíntesis, la cantidad de radiación recibida en cualquier punto de la superficie terrestre con el subsiguiente intercambio de radiación de onda corta a onda larga en la superficie terrestre y la atmósfera que condicionan la temperatura local y las variaciones estacionales y anuales de temperatura, regulando de este modo la distribución de los cultivos en la superficie terrestre y en gran medida la distribución de la población animal.

La radiación constituye la fuente fundamental de energía del ciclo hidrológico de la biosfera y ejerce gran influencia en las posibilidades agrícolas de cada región a través de las características de la distribución de lluvia, que a su vez está sujeta a la influencia en las zonas tropicales del movimiento aparente estacional del sol y las consiguientes variaciones de la distribución de la radiación.

3.3.4. Brillo y luz solar

La luz solar es esencial para las plantas ya que proporciona la energía necesaria para la elaboración de carbohidratos,

mediante el proceso de fotosíntesis que éstas ejecutan durante el período de desarrollo y producción. La duración del día juega un papel importante para la explotación de cultivos que exigen fotoperíodos largos y cortos para cumplir su ciclo vegetativo total. Los factores de la intensidad, longitud de onda, duración y periodicidad de la luz, afectan la germinación de las semillas, crecimiento, forma y color de las plantas, tamaño y forma de los órganos, etc. La insuficiencia de la luz provoca decoloración, enanismo y reducción de la floración, así como formas anormales, floraciones irregulares y otros defectos (1, 13).

Argu Las altas intensidades de luz, pueden causar enrollamiento o quemaduras de follaje, desecar flores, y causar lesiones debidas a contaminadores del aire de origen fotoquímico.

Se dice que la luz causa anomalías en todos los casos en que las plantas crecen fuera de su ambiente nativo, en cultivos artificiales o sometidos a un régimen distinto al que está adaptada la especie (1).

Tras de
El estudio ▶ Planta de fotoperíodo largo: Requieren de una cantidad relativamente larga de luz solar, para su inflorescencia y en los días cortos aceleran su crecimiento.

Plantas de fotoperíodo corto: Se sienten estimuladas en su crecimiento vegetativo con la dilatación de la floración y madurez cuando los días son largos y producen flores y frutos cuando los días son relativamente cortos (10, 13).

3.3.5. Viento

El viento es un elemento climático influyente en la evaporación del agua y la transpiración de las plantas por lo que su registro es de mucha importancia para los estudios de evapotranspiración potencial y balances hídricos. También su velocidad y dirección juegan un papel determinante en la transmisión de ciertas plagas y enfermedades que afectan a los cultivos (1).

3.4. Características bioclimáticas que influyen en el rendimiento de maíz y sorgo

Uno de los aspectos más importantes a tener presente cuando se va a sembrar una especie de cultivo en una área determinada, es el conocer si esa especie es adaptada a las condiciones climáticas, se refiere especialmente a temperatura, régimen pluviométrico, humedad atmosférica, fotoperíodo, insolación, nubosidad, viento altitud, latitud y naturalmente a las características texturales, estructurales y nutricionales del suelo (5).

Cada especie de cultivo tuvo su región de origen con características ambientales bien definidas, y lo mismo se puede decir para cada variedad e híbrido. Esas condiciones han influido en la formación de su patrimonio genético y han determinado su potencial de producción, que necesariamente será máximo bajo condiciones ambientales similares a las que caracterizaron el período de su formación o creación. Este aspecto de la producción quizás haya sido uno de los más desatendidos en los trópi-

cos. Se ha prestado y sigue prestando mucha atención al suelo, un factor sin duda importante, pero hay poca preocupación para los otros factores de la producción, cualquier especie tiene exigencias específicas de temperatura, luz, en general, pero esas exigencias varían, según esté en la fase de germinación, crecimiento, reproducción o maduración, lo cual hace las cosas aún más difíciles para su escogencia y la selección del área donde se cultivará, si las condiciones ambientales de esa área no pueden satisfacer las exigencias de la especie, el rendimiento final será necesariamente bajo, independientemente del nivel tecnológico que se aplique al proceso productivo.

3.5. Características bioclimáticas del maíz

3.5.1. Límites latitudinales: 58°N - 50°S

Altitud : 0 - 1600 msnm.

Ciclo : 80 - 140 días

3.5.2. Temperatura del aire

Rango, 10-38°C, dependiendo de las variedades; la media debe ser superior a 20°C, óptimo para fotosíntesis 25-35°C, prefiere noches relativamente frescas, pero con temperaturas mayores de 16°C, noches cálidas afectan tanto la floración como el llenado del grano. Presenta termoperiodismo temperaturas medias superiores a los 26.5°C, reducen los rendimientos unitarios.

Las áreas de los Estados Unidos donde se tienen los rendimientos más altos, en el período de cultivo del maíz, tienen temperaturas medias entre 20 y 24°C, con temperaturas nocturnas de 15°C. La temperatura óptima diaria de siembra a germinación estaría alrededor de los 25°C; desde la germinación a la aparición de la inflorescencia femenina entre 25 y 30°C; y desde ese período a la madurez del grano se consideran óptimas una mínima de 21°C y una máxima de 32°C.

En general el efecto de la temperatura es más marcada en el período de crecimiento que en el llenado del grano (5).

3.5.3. Precipitación

Los valores de precipitación anual de 700-1100 mm. son períodos críticos por necesidad de agua: germinación, primeras 3 semanas de desarrollo, y el período comprendido entre 15 días antes hasta 30 días después de la floración. Hay una estrecha correlación entre la lluvia que cae en los 10-25 días luego de la floración y el rendimiento final, aunque un exceso de lluvia puede volverse perjudicial. Se ha encontrado que si hay un "stress" por falta de agua, la baja en el rendimiento final puede ser de 6 a 15% por día en el período alrededor de la floración y de 3 a 4% por día en los otros períodos. Desde los 30 días después de la floración, o cuando la hoja de la mazorca se seca, el cultivo no debería recibir más agua.

Hay evidencias que el boro puede reducir el efecto de sequía en el período crítico de la floración, favoreciendo la po-

linización.

3.5.4. Humedad del aire

Una atmósfera seca afecta mucho a este cultivo, aunque se riegue abundantemente; lo mejor es una atmósfera moderadamente húmeda.

3.5.5. Luz

Requiere mucha insolación, por ello no son aptas las regiones con nubosidad alta.

3.5.6. Fotoperíodo

El maíz es una especie de día corto.

3.6. Características edafológicas del maíz

Se adaptan a suelos franco-limosos, franco-arcillolimosos, profundos y fértiles, de moderadamente a bien drenados. Exigente en P y K especialmente en el período que va desde la siembra a la floración. Cuando empieza a florecer necesita de mucho nitrógeno y también de una fuerte continua de fósforo. No se da muy bien en suelos calcáreos.

El maíz se desarrolla adecuadamente en un rango de pH de 5.5 a 7.5.

3.7. Características bioclimáticas del sorgo

3.7.1. Límites latitudinales: 40°N-40°S.

Altitud : 0 - 600 msnm.

Ciclo vegetativo : 85 - 210 días

3.7.2. Temperatura del aire

Rango 15-45°C; Óptimo para fotosíntesis, 30-35°C. La temperatura media más favorable para este cultivo es de 26-27°C. La mínima debe ser superior a los 16°C. Tolera extremos altos de temperatura mejor que la gran mayoría de cultivos. Una temperatura del suelo inferior a 25°C reduce la germinación.

3.7.3. Precipitación

Requiere de 350-600 mm. durante el ciclo (200 - 300 mm. son considerados indispensables), sin embargo es cultivado con éxito en áreas donde precipitan 5000 mm. Se considera principalmente un cultivo de regiones cálidas semiáridas, pero es también altamente productivo en condiciones de riego y en regiones húmedas. El período más crítico es el de la pre-floración. Si en ese período no hay suficiente humedad los rendimientos serán reducidos considerablemente. Tolera mucho la sequía por su capacidad de mantenerse verde más tiempo que otros cultivos y caer en letargo durante períodos muy secos. Por esa característica se le

llama también "Cultivo camello". Pero soporta también períodos de anegamiento. Si un área tiene una temperatura relativamente elevada y al menos tres meses de lluvias regulares, puede ser apta para este cultivo. Necesita de un período seco para la maduración del fruto (5).

3.7.4. Humedad del aire

Es muy resistente a la sequedad atmosférica, y por ello debe preferirse al maíz en áreas muy secas, aunque se disponga de riego suficiente. Zonas con alta humedad atmosférica no son deseables para este cultivo.

3.7.5. Fotoperíodo

El sorgo es una especie de día corto, pero hay cultivares de día neutro.

3.8. Características edafológicas del sorgo

Se adapta a suelos franco limosos, franco-arcilloso-limosos, preferentemente no calcáreos, sin embargo si el drenaje es bueno se da en casi cualquier suelo. También se desarrolla en suelos poco fértiles superando en esto al maíz (5).

El sorgo tiene un amplio rango de adaptación a la acidéz, pH de 5.5 a 8.2, y es también un cultivo bastante tolerante a la salinidad, mejor que el maíz (5).

3.9. El cultivo del maíz y sorgo en El Salvador y Centro América

De los países de la región centroamericana, Guatemala, El Salvador, Nicaragua y Honduras disponen de datos de la época y modalidad de siembra del cultivo del maíz y sorgo solo o asociado, lo que da una idea de los sistemas de cultivo empleados. Por ser mayor la importancia del maíz y sorgo, se limitó este estudio a dichos cultivos (7).

Las épocas más importantes para sembrar en Centro América son en Mayo y Junio y la siembra de postrera en Agosto y Septiembre. El maíz solo en primera está distribuido en toda el área Centroamericana, reflejando la amplia adaptación de este cultivo y la importancia en la dieta de la población. No hay centros específicos de producción, y las únicas áreas donde no se siembra el maíz son aquellas poco pobladas en las zonas húmedas de la vertiente atlántica. En la zona fronteriza entre Honduras y El Salvador las intensidades de siembra de maíz solo están reducidas debido a la práctica del asocio con sorgo (10).

El maíz sembrado solo en postrera se encuentra principalmente en las costas del Océano Atlántico y del Océano Pacífico. Como área importante para el maíz en postrera se nota especialmente la región oriental de El Salvador.

En el área centroamericana, el método tradicional de sembrar sorgo está asociado con maíz, pero el área de sorgo sembrado solo ha aumentado considerablemente en Guatemala y Nicaragua en años recientes. El sistema de sorgo asociado es el sistema

más concentrado en la región centroamericana cubre una faja con tínua desde la región sudoriental de Guatemala hasta el Lago de Nicaragua, en la vertiente pacífica del istmo. Esa distribución más concentrada sugiere que la presencia del sistema está más vinculada con factores edafoclimáticos (10).

Entre los sistemas de cultivos anuales que se destacan en la zonas húmedo-secas y semiáridas de El Salvador, y también de Guatemala, Honduras y Nicaragua, el maíz asociado con sorgo es la más corriente e importante (7). Este sistema de cultivo igual que el resto de cultivos anuales que se desarrollan bajo lluvia, crece en el oriente de El Salvador de Mayo a Noviembre, o sea, durante el período que cubre la estación lluviosa. Esos seis meses de lluvia se alternan con seis meses de total sequía; también se sufre con interrupciones en la precipitación, que pueden llegar a sumar hasta 30 días. En este ambiente se ha de sarrollado una agricultura adaptada a las condiciones ecológicas dominantes, con tendencia a minimizar riesgos (sequía especialmente), antes que a maximizar producción. Tal situación no per mite satisfacer la demanda de alimentos que ejerce una pobla--ción en constante aumento (9).

3.10. Generalidades del maíz y sorgo

3.11. Generalidades del maíz

3.11.1. Origen

El maíz es originario de América, parte alta de Bolivia,

Ecuador, Perú y Altiplano Mexicano. Se cultiva desde hace 1500 años.

3.11.2. Distribución

Se le cultiva en todo el mundo, especialmente en las regiones de temperaturas más bien altas ocupando el tercer lugar en la clasificación de las plantas mayormente cultivadas después del trigo y el arroz.

3.11.3. Clasificación botánica

Familia = Gramínea
Género = Zea
Especie = Mays
Nombre Científico = Zea mays

3.11.4. Morfología

Raíz = Fibrosa - Profundidad radicular 1.0 metros.
Tallo = Herbáceo, cilíndrico y nudoso. Las plantas dependiendo de la variedad pueden llegar hasta 2.60 metros.
Flor = Es una planta monoica, con flores unisexuales reunidas en espiguillas que son inflorescencias parciales especiformes que también

pueden ser complejos.

El conjunto de espiguillas da un racimo y el conjunto forma la panícula.

Hojas = Son sencillas, envainadoras, ensiformes, disticas, es decir alternas, situadas en dos filas opuestas, con ligula entre la vaina y el limbo (5).

CUADRO 1. VARIETADES DEL MAÍZ RECOMENDADAS PARA EL SALVADOR Y SUS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS

CARACTERÍSTICAS	H-3	H-5	H-8	H-9	H-10	CENTA MI-8
Color de grano	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco	Amarillo	Blanco
Días a flor	55	57	58	56	58	58
Ciclo vegetativo (días)	95	115	105	100	110	105
Acame	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Tolerante
Altura de planta (cm)	251	260	220	258	260	250
Altura de mazorca (cm)	134	158	115	140	158	140
Achaparramiento	Tolerante	Tolerante	Susceptible	Tolerante	Tolerante	Susceptible
Adaptación msnm.	0-900	540-900	400-1750	0-900	0-900	0-900
Tipo de grano*	S.cr	Den	S.Den	S.cr.	S. Den	S. Den
Rendimiento (QQ/M2)	80	90	80	95	80	70

* S.cr = Semí cristalino

Den = Dentado

S. Den + Semí dentado

FUENTE: Inventario de Investigación generada por la División de Investigación Agropecuaria. MAG.

3.12. Generalidades del sorgo

3.12.1. Origen

Se estima que el Sorgo o Maicillo es originario de Africa Oriental, probablemente Sudán o Etiopía de donde se cree fue llevado por los nativos migratorios hacia otros países del continente. En el testimonio más antiguo que se conoce aparece en una escultura del palacio de Sanaquerib en Nive, Asiria, probablemente por el año 700 a.c.

3.12.2. Distribución

Actualmente se cultiva el maicillo en China, Japón, La India, Australia, Estados Unidos, Argentina y resto de países de América.

En El Salvador se le encuentra en zonas costeras, valles intermedios y últimamente se le ha sembrado en la zona nor-oriental dada su capacidad de resistir sequías prolongadas.

3.12.3. Clasificación Botánica

Familia	=	Graminea
Género	=	Sorghum
Especie	=	vulgaris, bicolor
Nombre Científico	=	<u>Sorghum vulgaris</u> <u>Sorghum bicolor</u>

3.12.4. Morfología

- Raíz

La raíz es fibrosa o rizomas, posee raíces laterales grandes (profundidad radicular 1.20 metros).

- Tallo

Es herbáceo, cilíndrico y nudoso, con 8 a 10 yemas basales que se convierten en nuevos tallos. Puede llegar a tener un grosor de 5 cms.

Su altura va desde 0.40 a 3.0 mts. o más dependiendo de la variedad, cantidad de entre nudos y a la reacción al fotoperíodo (23).

- Hojas

Son sencillas, envainadoras, ensiformes, disticas, alternas, situadas en dos filas opuestas, con légula entre la vaina y el limbo, puede llegar hasta un número de 40, dependiendo de la variedad.

- Flores

Pueden agruparse las flores en inflorescencia complejas, son unisexuales o hermafroditas, reunidas en espiguillas. La yema puede ser lisa o muy pilosa aristadas o sin aristas. El estigma es blanco o amarillento y las anteras secas son de color oscuro.

- Espiguillas

Son de dos tipos: Pediceladas y sesiles o sentadas, las primeras son estériles, determinada por las glumas y forma y tamaño del grano. El color de las glumas es negro, negro-roji

zo, blanco o amarillento claro. Su forma es elíptica u ovalada con extremos agudos o redondeados.

- Panojas

Pueden ser compactas, difusas o intermedias, según el largo de los entrenudos. La longitud y número de ramificaciones, su ángulo axilar y la cantidad y tamaño de las florecillas fértiles. La forma depende de la variedad: Ovoide, Cilindroide, elipsoide o conoide.

3.12.5. Usos

Se utiliza para alimentación humana y nutrición animal, principalmente como componente de mezclas y concentrados. También es usado como forraje en la preparación de ensilajes y en pastoreo (11).

CUADRO 2. Variedades de Sorgo recomendados para El Salvador.

VARIEDAD	DIAS A FLO- RACION	DIAS A CO- SECHA	ALTURA DE PLANTAS	PANOJA		COLOR DEL GRANO
				Tamaño (cm)	Tipo	
CENTA S-1	62	90	1.36	20	Compacta	Blanco
CENTA S-2 Grano	65	100	3.00	23	Semi-abierta	Blanco cris- lino
CENTA S-2 Forraje	65	70	3.00	-	-	-
CENTA SH-500	58	85	1.28	27	Semi-compacta	Anaranjado
CENTA SH-501	62	95	1.35	28	Compacta	Anaranjado
CENTA S-3	68	100	1.30	20	Compacta	Blanco cris- talino.
CENTA SS-41	52	-	2.85	30	Abierta	Manchado
Corte		40	1.50			
Heno		35	1.50			
Pastoreo		30	1.00			
Ensilaje		67	2.85	30	Abierta	

FUENTE: Inventario de Investigación generada por la División de Investigación Agropecua-
ria. MAG.

3.13. Períodos fenológicos del maíz H-5 y algunas variedades de Sorgo

Maíz H-5

I	:	Siembra - Encañazón	20 días
II	:	Encañazón - Espigazón	30 días
III	:	Espigazón - Maduración	40 días
IV	:	Maduración - Cosecha	<u>25 días</u>
Total			115 días

Sorgo Criollo - Bicolor

I	:	Siembra - Encañazón	20 días
II	:	Encañazón - Espigazón	130 días
III	:	Espigazón - Maduración	40 días
IV	:	Maduración - Cosecha	<u>10 días</u>
Total			210 días

Sorgo CENTA S-2 Grano

I	:	Siembra - Encañazón	30 días
II	:	Encañazón - Espigazón	30 días
III	:	Espigazón - Maduración	35 días
IV	:	Maduración - Cosecha	<u>25 días</u>
Total			110 días (15).

Investigar datos actualizados

FUENTE: La canícula interestival en El Salvador.

CATIE (15).

4. MATERIALES Y METODOS

4.1. Ubicación geográfica

→ con ayuda del cuadrante

La zona objeto de estudio (planicie costera central), se encuentra localizada al sur de la carretera del Litoral entre San Diego (departamento de La Libertad) y el puente sobre el río Jíboa, hasta llegar al mar (12).

La Estación Experimental y de Prácticas La Providencia de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, está ubicada en la jurisdicción de San Luis Talpa, en el departamento de La Paz. El área total de la zona que es la base específica de estudio es de 100.31 Has. y la altura promedio sobre el nivel del mar es de 50 metros.

La Estación Experimental se encuentra ubicada a $13^{\circ}28'$ Lat. norte y a $89^{\circ}06'$ long. Oeste.

La Estación Astoria se encuentra ubicada a $13^{\circ}27'$ Lat. Norte y a $89^{\circ}27'$ long. Oeste a una altura de 40 metros sobre el nivel del mar y la Estación Santa Cruz Porrillo se encuentra ubicada a $13^{\circ}26.4'$ Lat. Norte y a $88^{\circ}48.2'$ Long. Oeste con una altura promedio sobre el nivel del mar de 30 metros.

Fig. 1

CUADRO 3. Estaciones climatológicas utilizadas en el estudio

<u>ESTACION</u>	<u>LATITUD</u>	<u>LONGITUD</u>	<u>ELEVACION</u>	<u>PERIODO</u>
Sta. Cruz Porrillo	13°26.4'N	88°48.2'W	30 msnm.	1970 - 1982
Hda. Astoria	13°27.4'N	89°2.7'W	40 msnm.	1970 - 1980
Hda. La Pro- videncia	13°28'N	89°06' W	50 msnm	1976 - 1988

Fuente : Elaboración propia.

4.2. Suelos de la Estación Experimental y de Prácticas La Pro- videncia

Según estudios generales realizados por la Dirección Ejecutiva de Catastro Nacional, en la zona predominan los suelos de textura franco, franco arcilloso y franco limosos.

Con una profundidad efectiva que oscila de 1.0 a 1.9 mts. de mediana a baja fertilidad con acidez mediana (12).

La Estación Experimental posee suelos formados a partir de las tobas pomiciticas, dacitica y sedimentos aluviales, los primeros suelos son buenos almacenadores de agua. Las tierras onduladas y alomadas situadas en las cercanías del casco de la Hacienda y en los lotes "La Sierpe", "El Almendro" y "El Limón" y las tierras planas en los lotes: "El Mango, zona de bombeo, y parte de la Laguna.

En la Hacienda predominan los suelos de textura franco, franco limoso, y franco arenoso. Las capas inferiores son en su mayoría franco arenosas finas, franco limosas y arenosas

francas.

Hay una zona con suelos de textura más gruesas, franco arenosa graviloso. El drenaje es bueno a excepción de los suelos alrededor de la laguna (veáse Figura A.4).

4.3. Información climática utilizada

El dato climático cumple un papel elemental para el desarrollo de los estudios agroclimáticos; por lo tanto el análisis profundo del mismo es de gran importancia ya que permitirá el uso de información veraz y de alta confiabilidad, lo que dará un mayor margen de seguridad a los trabajos realizados (1).

Antes de proceder a recopilar la información se realizó un inventario de los datos climatológicos existentes de las tres estaciones los cuales aparecen representados en la Figura 1, por medio de un diagrama de barras.

4.4. Prueba de homogeneidad y heterogeneidad.

Las series climatológicas disponibles son muestras extraídas de una población.

El análisis climatológico consiste en obtener a partir de las muestras, las mejores estimaciones de los parámetros, suficientes para definir la distribución de probabilidad de la población. El principal problema que se presenta es el de la homogeneidad de la muestra. Por desgracia muchas series climatológicas no satisfacen esta condición esencial y en la mayoría

de las veces no consta documentalmente la heterogeneidad. Por eso es necesario, ante todo, aplicar algún criterio práctico para juzgar si la serie es homogénea o no. A este respecto la Organización Mundial de Meteorología (OMM) recomienda un criterio no paramétrico, de aplicación sencilla, criterio fundado en las series de secuencias. En primer lugar, se determina la mediana de la muestra y luego se ordenan sus términos por orden cronológico; luego se clasifica cada término según esté por encima o por debajo de la mediana, asignando, por ejemplo, una A a los términos de la primera clase y una B a los de la segunda clase (1).

4.5. Relleno e igualación de series climáticas

En vista que los registros de precipitación, humedad relativa, viento y temperatura etc. son incompletos se efectuará un análisis estadístico de regresión lineal simple, entre las estaciones Astoria - La Providencia, Santa Cruz Porrillo - La Providencia para ver si existía un coeficiente significativo de correlación entre ambas estaciones, que permitiesen rellenar datos de los meses faltantes con el fin de completar series, con el objeto de seleccionar mejor la información, y debido a la proximidad de las estaciones Astoria y La Providencia y al comportamiento análogo de lluvia de estas dos estaciones se optó por iniciar el estudio para la zona de estudio con la estación Agro meteorológica Experimental La Providencia, la Estación Astoria y Santa Cruz Porrillo, esta última tomada como base de compara-

ción de datos climáticos de las dos estaciones anteriores.

4.6. Precipitación probabilística

La precipitación probabilística en el presente estudio se calculará mediante el método de Weibull, el cual se basa en la fórmula siguiente:

$$P = \frac{N}{n + 1} \times 100$$

Donde: P = Nivel de probabilidades o frecuencias acumulativa en (%).

N = Número de orden de cada valor pluviométrico.

n = número de eventos de observaciones.

La metodología propone ordenar los valores de la serie de datos en forma descendente (de menor a mayor), luego se le adjudica un número de orden a cada uno, empezando por el número uno y luego se aplica la fórmula anteriormente descrita.

Las probabilidades estadísticas de lluvia, tal como se analizan en este estudio, se refieren a las cantidades que serían superadas al menos tres de cada cuatro años cuando la probabilidad es del 75%, dos de cada cuatro años es del 50% y una de cuatro años cuando es del 25% (1) y (21).

El nivel de probabilidad al 75% indica: La cantidad de lluvia que es superada en un 75% o sea la mínima que está disponible en 3 de cada 4 años; se utiliza en aquellos casos de baja disponibilidad de lluvia para asegurar una cantidad mínima para la agricultura de Secano.

4.6.1. Derivación de valores decádicos

El procedimiento anterior es utilizado para obtener los valores probabilísticos decádicos; se ordenan los datos de la forma anteriormente mencionada y se procede a interpolar los valores decádicos para el 25, 50 y 75% de probabilidad.

4.7. Análisis frecuencial de la precipitación

La metodología propuesta para el estudio de las condiciones hídricas de los cultivos se basa en el análisis frecuencial de la precipitación, a lo largo del año, por períodos elementales de una duración de diez días.

Este tipo de análisis permite determinar, a un nivel de riesgo determinado, el período de cultivo, esto es la fecha de inicio y fin de la época de siembra, siendo ésto a la vez, un criterio determinante en la elección de los cultivos que mejor se adapten a las condiciones agroclimáticas imperantes en la región analizada.

De un año a otro la precipitación es sumamente variable, sin importar el período de tiempo que se considere para su estudio. Solo por medio del análisis frecuencial de precipitación, se podrá evaluar el aspecto aleatorio del fenómeno y determinar el riesgo climático causado por la fluctuación interanual de la precipitación. El año es dividido en períodos elementales de diez días, denominado décadas. Para cada década se determina la frecuencia de que la lluvia sobrepase la mitad de la evapo-

transpiración potencial (ETP). Esta frecuencia se calcula directamente a partir de la muestra de las lluvias diarias sin ser ajustada a una ley teórica de probabilidad (20).

Los resultados, es decir, las frecuencias para cada década son representados en un gráfico, cuya abscisa representa una escala de tiempo que abarca todo el año y graduada en décadas (36 décadas), y la ordenada una escala de frecuencia graduada de 0 a 1.

4.7.1. Determinación del período de cultivo

Las curvas obtenidas pueden ser utilizadas para determinar el período de cultivo (inicio, duración y fin), a un cierto nivel de probabilidad del 75%.

El período de cultivo comienza con la primera década, donde la frecuencia sobrepasa el valor de 0.75 y termina con la primera década con la frecuencia inferior a 0.75 para cada estación analizada. De esta manera se obtiene la duración del período de cultivo (época de cultivo) y la fecha de inicio de esa época (o épocas) (20).

4.7.2. Análisis frecuencial de lluvias en la agricultura

El interés práctico de las lluvias obtenidas por medio del análisis frecuencial de lluvias, radica en el hecho de que ellas permiten comparar el clima de una estación meteorológica dada,

con todos los ciclos vegetativos de todos los cultivos posibles para la región. Para el caso se trata de cultivo de maíz y soggo.

A continuación se presentan los esquemas de la duración de los Ciclos vegetativos de estos cultivos, así como los períodos sensibles a la falta de disponibilidad del agua en el suelo. Los esquemas se presentan a la misma escala que las curvas del análisis frecuencial de lluvias, lo que fácilmente permite sobreponerlos con ayuda de una regla graduada. Estos esquemas, representan: la duración total del ciclo, los límites y duraciones de los períodos que exigen una mayor disponibilidad de agua y los períodos con gran sensibilidad al "stress" hídrico".

En términos agroclimáticos, estos ciclos se componen de tres períodos articulados, de una manera diferente.

- Períodos donde el cultivo necesita una disponibilidad de agua inferior a la mitad de la ETP (En la germinación y la maduración).
- Períodos donde el cultivo exige una disponibilidad de agua superior a la mitad de la ETP, pero inferior a 0.9 ETP.
- Períodos donde el cultivo necesita satisfacer en forma plena sus necesidades hídricas (más de 0.9 ETP) (20).

ABACO DEL CULTIVO

En los resultados de los ciclos vegetativos y la fenología de los cultivos serán representados de igual forma para la calendarización de los cultivos.



Maíz semi precoz (110 d)



Maíz ciclo medio (120 d)



Maíz semi-tardío (130 d)

Los mismos que un maíz
mismo ciclo

Sorgo precoz

Sorgo Tardío.

LEYENDA:



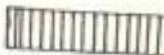
Porción del ciclo vegetati-
vo que puede coincidir con
un período húmedo, donde:



Período de mayor sensibili-
dad a la sequía (floración
en general).



Porción del ciclo vegetativo
que puede soportar períodos
semi-húmedos (germinación,
crecimiento).



Porción del ciclo vegetativo
que puede soportar períodos
semi-húmedos o secos (madu-
ración).

La siembra del maíz debe ser
precedida de una lluvia de
13-20 mm.

El ciclo vegetativo representado en una escala graduada

constituye el abaco de cultivo, el cual se desliza a lo largo del período del cultivo con el fin de establecer la calendarización de cultivos.

En esta parte, se va a intentar confrontar las diferentes necesidades hídricas de cada etapa fenológica del cultivo con el aporte natural del agua. Los períodos más sensibles a la sequía deberán coincidir con las frecuencias más altas de que la lluvia supere el valor de la ETP.

4.8. Determinación de la probabilidad de ocurrencia de "N" décadas consecutivas, secas o lluviosas

En la agricultura es importante conocer las posibilidades de que existan períodos consecutivos secos o lluviosos de dos, tres o más décadas, ya que si tales períodos coinciden con los estados fenológicos sensibles a los déficit o excesos de agua, éstos podrían causar daños en el desarrollo de las plantaciones.

Para las estaciones de Astoria y La Providencia se considera que una década es lluviosa, cuando ha recibido 50 o más milímetros de agua, o sea más que la evapotranspiración aproximada para ese lapso (1, 21).

El método de cálculo de las probabilidades de ocurrencia de "N" década consecutiva está basado en las cadenas de Markov, que toma en cuenta datos de lluvia diaria que nos permiten calcular frecuencias de décadas consecutivas, secas o lluviosas.

Para el cálculo de "N", décadas consecutivas secas o lluviosas, tenemos:

(+) = Década lluviosa

(-) = Década seca

F(D) = Número de décadas secas

F(DD) = Número de décadas secas precedidas de décadas secas.

P(D) = Probabilidad media de décadas consecutivas secas.

$$P(D) = \frac{F(D)}{N}$$

Donde: N = Número de años de la serie

P(DD) = Probabilidad media de décadas consecutivas secas precedidas de décadas secas.

$$P(DD) = \frac{F(DD)}{F(D)}$$

Donde: F(DD) = Número de décadas secas precedidas de décadas secas.

F(D) = Número de décadas secas.

P(W) = Probabilidad media de décadas consecutivas lluviosas.

$$P(W) = \frac{F(W)}{N}$$

Donde: F(W) = Número de décadas lluviosas

F(WW) = Número de décadas lluviosas precedidas de décadas lluviosas.

P(WW) = Probabilidad media de décadas consecutivas lluviosas precedidas por décadas lluviosas.

$$P(WW) = \frac{F(WW)}{F(W)}$$

Así tenemos que para el cálculo de "N" década consecutivas lluviosas, la fórmula general sería:

$$P (W_n) = (P(W) \text{ dec. } 1) \times (P(WW) \text{ dec. } 2) \times (P (WW) \text{ dec. } N).$$

Ejemplo: Empezando en la primera década la probabilidad de dos décadas consecutivas estaría dada por la siguiente fórmula:

$$P (W_2) = (P (W) \text{ dec. } 1) \times (P (WW) \text{ dec. } 2)$$

Para tres décadas consecutivas lluviosas sería:

$$P (W_3) = (PW \text{ dec. } 1) \times (P (WW) \text{ dec. } 2) \times (P(WW) \text{ dec. } 3).$$

El mismo procedimiento se utiliza para el cálculo de las probabilidades de ocurrencia de "N" décadas secas (1, 21).

4.9. Evapotranspiración potencial (ETP)

El cálculo de la evapotranspiración potencial para el área en estudio, se hizo en base a los datos meteorológicos de dicha región y con la aplicación de la fórmula de Hargreaves, que ha demostrado acercarse a los valores de ETP generado por la ecuación de Penman, como lo demostró Salazar (1980).

Esta fórmula que ha sido calibrada para el país por su autor y utilizada con éxito en varios estudios agroclimáticos e hídricos. Dicha fórmula se presenta a continuación:

$$ETP = 0.0075 \text{ RSM. TF.}$$

Donde: ETP = Evapotranspiración potencial mensual y déca
dica en milímetros.

TF = Temperatura media del aire en grados Fahren
heit se calcula a partir de la temperatura
en grados centígrados mediante la ecuación

$$TF = 32 + 1.8x^{\circ}C.$$

RSM = Radiación solar incidente en milímetros equivalentes de evaporación por mes, se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$RSM = 0.075 \times RMM \times S^{1/2}$$

Donde: RMM = Radiación extraterrestre en milímetros equivalentes de evaporación por mes (Anexo 1)

S = Porcentaje posible de brillo solar, se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$S = 12.5 (100 - HR)^{1/2}$$

Donde: HR = Humedad relativa en porcentaje.

4.9.1. Derivación de valores decádicos de la ETP

Para el cálculo de la ETP decádica es necesario derivar de los valores mensuales los valores decádicos; para el caso se grafican los valores mensuales de la temperatura media del aire en grados Fahrenheit (TF), la radiación extraterrestre en milímetros equivalentes de evaporación (RMM) y la humedad relativa en porcentaje (HR%).

Una vez obtenidas las curvas de estos tres elementos se procede a interpolar a los 5, 15, y 25 días de cada mes, obteniéndose de esa forma los valores promedios de cada década, los cuales pueden ser introducidos a las fórmulas generales y proceder a obtener los valores de ETP. decádicos, siguiendo el mismo procedimiento que a nivel mensual.

4.10. Información decádica

La información climatológica disponible está procesada a nivel mensual. Para la lluvia se obtuvieron las sumas decádicas para toda la serie. Para los otros elementos que serán utilizados para el cálculo de la ETP a nivel decádico se derivaron estos por el método gráfico, que consiste en adjudicar los promedios diarios del mes al día 15, trazar una curva e interpolar los valores correspondientes a los días 5, 15 y 25 de cada mes que representan la I, II y III década respectivamente.

4.11. Balances hídricos

Las plantas utilizan para su abastecimiento el agua almacenada en el suelo (generalmente la capa superior del suelo) la cual proviene de la lluvia (P) que caen en el suelo (o eventualmente del riego). Solamente una parte sirve a la reconstrucción de la reserva hídrica del suelo, la otra parte se pierde por escorrentía (E) sobre la superficie del suelo o por drenaje (D). A su vez, el agua del suelo se consume por evapotranspiración (ET); es decir por absorción de las plantas y evaporación a nivel del suelo. La ecuación que traduce el balance hídrico del suelo se escribe: $RH + P + E - D - ET = 0$

Representando RH la variación de la reserva hídrica del suelo ($RH = RH_1 - RH_2$). Si se quiere estudiar la pluviosidad en relación con las necesidades hídricas de las plantas hay que tomar en cuenta la noción del balance hídrico que traduce la re

lación existente entre los aportes y las pérdidas de agua, pero la mayoría de los términos del balance hídrico son difíciles de estimar en la práctica (salvo la lluvia que se mide directamente). Así en el campo de la agrometeorología se suele simplificar la escritura en este balance considerando solamente los tres términos más importantes:

La precipitación, la evaporación y los cambios en el agua del suelo (1, 14).

4.11.1. Balances hídricos, climáticos

Esta metodología se basa en el análisis de los datos estadísticos probabilísticos de precipitación, la evapotranspiración potencial media, el agua aprovechable denominada capacidad de retención que puede almacenar un suelo de acuerdo a su textura y profundidad efectiva. De dicho análisis se determinan las diferencias y excesos hídricos en el suelo (movimiento de agua) sin considerar el aspecto agrícola o sea necesidades de cultivos específicos. Para el cálculo de los balances hídricos climáticos según el modelo Thorntwaite se utilizó la evapotranspiración mensual y la precipitación mensual probabilística al 75% (con fines de asegurar una cantidad mínima de lluvia para la agricultura de secano). También se tomarán en cuenta los aspectos edáficos de la zona de estudio, con suelos de textura franco limosas, francas y franco arenosas. Las capas inferiores en su mayoría franco arenosas finas, franco limosas y franco areno-gravilosas con profundidad efectiva de 100 a 315 cm.

Como valores representativos que cubren en promedio las condiciones edáficas del área se utilizaron capacidades de retención de 100 a 200 mm.

El método del balance hídrico utilizado es el más sencillo de Thornthwaite, que considera la lluvia total como efectiva y un desecamiento constante del suelo sin considerar el contenido actual de humedad, que se considera uniformemente distribuida y extractable en una sola capa.

Se tiene plena conciencia de las limitaciones del modelo. Debido a la fisiografía plana se podrá despreciar el escurrimiento superficial que sin embargo está presente en forma efímera durante las tormentas.

4.11.2. Cálculo de índices de disponibilidad hídrica (IH)

Es una información muy valiosa que se deriva del Balance hídrico y que es utilizada, tanto para conocer las necesidades de agua de ciertos cultivos, como para identificar zonas adecuadas o desfavorables para la obtención de óptimas producciones, si el agua utilizable almacenada llega a un 30% ya se considera dañino para los cultivos, necesitándose riego adicional y si el bajo nivel persiste pueden pronosticarse bajas en la producción final si el período afectado coincide con una fase de gran sensibilidad fisiológica, por ejemplo floración o crecimiento de frutos (14, 18).

El índice de disponibilidad representa la oferta real de

hídricas de los cultivos y sus requerimientos de riego (deficiencias) o drenaje (excesos). Este tipo de balance se inicia partiendo del balance hídrico climático y toma en consideración las etapas de desarrollo y la profundidad radicular máxima de un cultivo específico (para el caso, maíz y sorgo), además de la evapotranspiración potencial, precipitación probabilística y aspectos edáficos (1).

Para el cálculo de balances hídricos agrícolas se usa el parámetro de cultivo (K_c), el cual es un coeficiente que determina los requerimientos de agua de los cultivos de acuerdo a su estado de desarrollo. Dicho valor multiplicado por la evapotranspiración potencial da como resultado el uso consuntivo o evapotranspiración del cultivo (ETC).

En el presente trabajo se utilizan valores de K_c calculados por la FAO para diferentes etapas de desarrollo de los cultivos adecuados a condiciones climáticas de la zona en estudio. El modelo de balance que se presenta en este estudio, trata de caracterizar, de la mejor manera las condiciones de abastecimiento hídrico de los cultivos de maíz y sorgo de la zona de estudio a través de las reservas hídricas del suelo.

Para el cálculo de los balances hídricos agrícolas se utilizó la evapotranspiración decádica, el K_c decádico y la precipitación decádica probabilística al 75%.

4.12. Elección del coeficiente de cultivo (K_c)

El valor de K_c representa la evapotranspiración de un cul-

tivo en condiciones óptimas y que produzca rendimientos óptimos.

La determinación del coeficiente de cultivo (Kc) se realizará por el método propuesto por la FAO en su documento N°26, para lo cual se tiene que tomar en cuenta las características del cultivo, el momento de la plantación o de siembra y las fases de desarrollo vegetativo. También hay que tomar en conside
ración las condiciones climáticas generales, en especial el vien
to y la humedad, sobre todo porque, después de la temperatura, el viento es lo que más repercutirá en la tasa de transpiración debido al grado de turbulencia del aire sobre la superficie som
breada por el cultivo. Por otra parte, la tasa de transpiración es más alta cuando los vientos son secos, en comparación con los húmedos (13).

4.13. Determinación de la capacidad de retención

El contenido de humedad en el suelo, se puede determinar mediante diversos métodos, desde los empleados en los laboratorios hasta los métodos prácticos en el campo. En el análisis de esta variante, la textura del suelo es el principal componen
te, independientemente del método empleado. Generalmente los cálculos de laboratorio se utilizan para trabajos operativos o de corto plazo y por lo tanto se requiere un mayor grado de pre
sición de la información. Para trabajos de carácter general co
mo el presente se ha utilizado el agua aprovechable por las plan
tas que debería ser el agua útil o sea entre la capacidad de cam
po y el punto permanente de marchitez. Para determinar la hume-

dad del suelo se recurrirá al uso del triángulo textural

el cual determina la relación entre la fracción volumétrica de agua aprovechable en el suelo y su textura. Para efectuar esta determinación solo se requiere de la textura y la profundidad del suelo (1).

4.14. Estimación de los rendimientos potenciales de los cultivos

Para la estimación de los rendimientos potenciales de los cultivos de maíz y sorgo se utilizará el método simplificado desarrollado por J. H. Chang, el cual utiliza como variante la radiación y brillo solar, la temperatura media en grados centígrados y un índice de cosecha, que indica el porcentaje que es cosechado de la planta en relación a la materia seca producida (1 y 20)

Método de J. H. Chang. Este método se basa en la producción de fotosíntesis neta del cultivo durante el ciclo vegetativo total y de la cual un porcentaje de esta será convertida en producto utilizable (grano, hoja, etc.) para el cálculo de este método se realizarán los siguientes pasos:

- a) Cálculo de la fotosíntesis bruta producida en la región en función de la radiación solar.

El método propuesto por Angstron fue usado para estimar la radiación solar en función de la insolación. Dicho método propone el uso de la siguiente fórmula:

$$\frac{RG}{RA} = a + b \frac{n}{N} = RG = RA (a+b) \frac{n}{N}$$

Donde: RG = Radiación solar global

RA = Radiación solar recibida en la cima de la atmósfera Tablas establecidas por Penman, (Véase anexo A.2).

a+b = Son coeficientes de regresión a los cuales Koopen propone para regiones tropicales valores de 0.3 (a) y 0.4 (b).

n = Es el número real de horas de insolación

N = Es la duración de la insolación posible desde el punto de vista astronómico.

La fotosíntesis, se obtiene mediante las curvas de Monteith elaborada para tal efecto (véase anexo 1)

b) Cálculo de fotosíntesis bruta consumida en la respiración (R) en %

$$R = 7.825 + 1.145 t.$$

Donde: R = Fotosíntesis bruta consumida en respiración

t = Temperatura media mensual en °C.

c) Estimación de la respiración

$$r = Fb \cdot R/100.$$

Donde: r = respiración

Fb = Fotosíntesis bruta

R = Fotosíntesis bruta consumida en respiración

d) Estimación de fotosíntesis neta (Fn en g/m²/día).

$$Fn = Fb - r.$$

e) Aplicación del índice de correlación o índice de cosecha

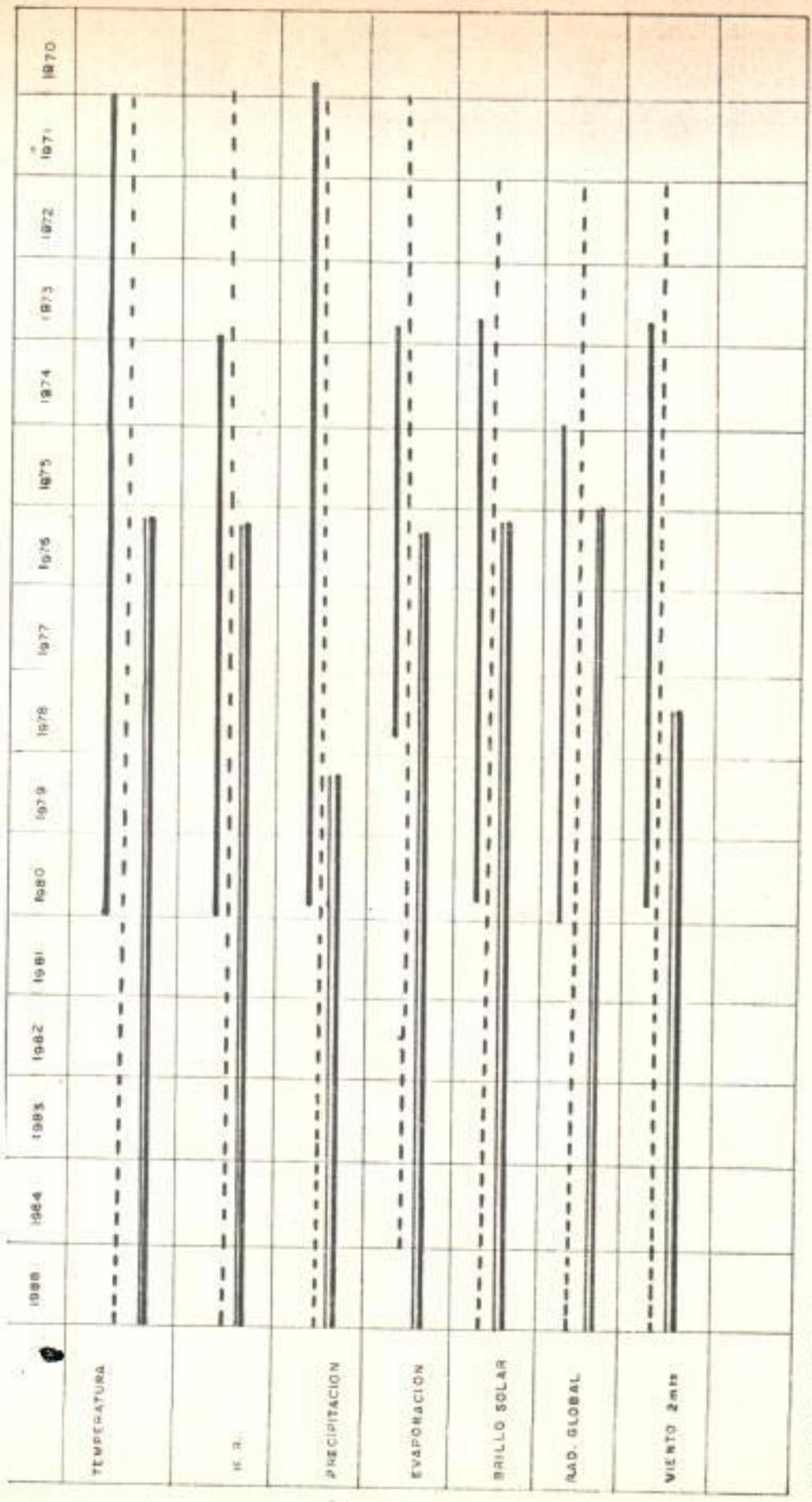
(Ic) Fn x Ic = rendimiento potencial en g/m² por período.

f) Conversión a Kg/ha.

Los rendimientos potenciales obtenidos mediante el cálculo anterior para los cultivos seleccionados y en distintas épocas de siembra se aprecia en los resultados.

5. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos en el presente estudio. Los resultados incluyen: Figuras que contienen la información climática más relevante de la zona base de estudio representada en un agroclimatograma, la variación interanual de lluvia, probabilidades de lluvia decádica al 25 y 75% para la zona base de estudio y las estaciones de comparación, se presentan graficas de los resultados del período de cultivo al 75% de probabilidad, balances hídricos climáticos a un nivel de probabilidad del 25 y 75% y gráficos de la determinación de los valores de Kc para los cultivos de maíz y sorgo con los períodos fenológicos respectivos. A continuación se presentan los resultados en Cuadros comenzando por la información climática a nivel mensual para la estación La Providencia, las probabilidades de lluvia mensual y decádica, los resultados de pruebas de homogeneidad, los resultados de la capacidad de retención por unidad de mapeo para la zona base de estudio y los balances hídricos climáticos y balance hídricos agrícolas a nivel mensual y decádico para los cultivos del maíz y sorgo. Los resultados anteriormente mencionados serán discutidos ampliamente en la discusión de resultados.



ESTACION ASTORIA

- LA PROVIDENCIA
- Sta. C. PORRILLO

Figura 1. Diagrama de barras que representa los períodos en años de datos climáticos de las Estaciones Astoria, Santa Cruz Porrillo y La Providencia.
Fuente : Elaboración propia.

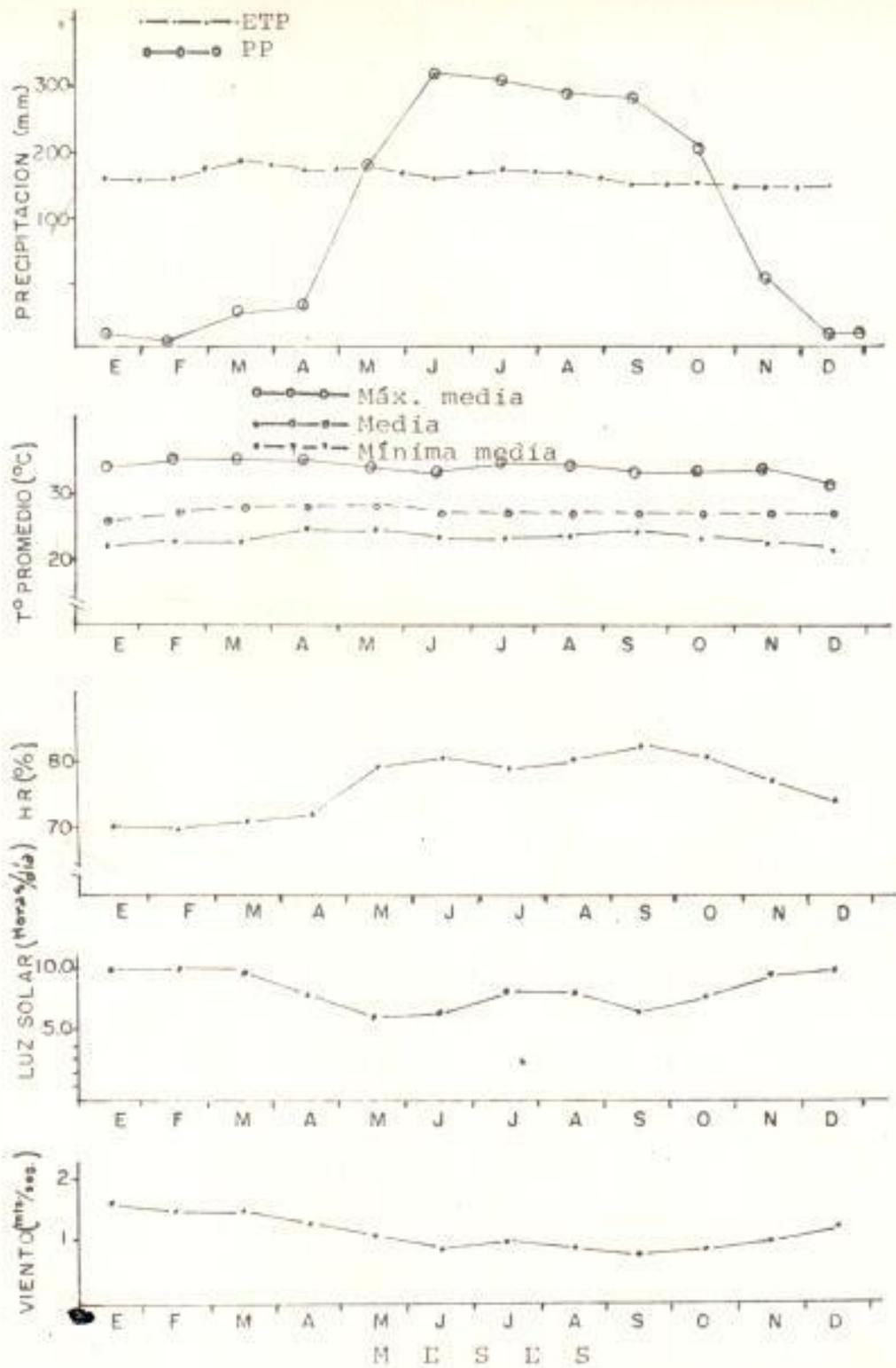


Fig. N° 2. Agroclimatograma de la Estación La Providencia. (Registros promedios de once años).

Fuente: Elaboración propia.

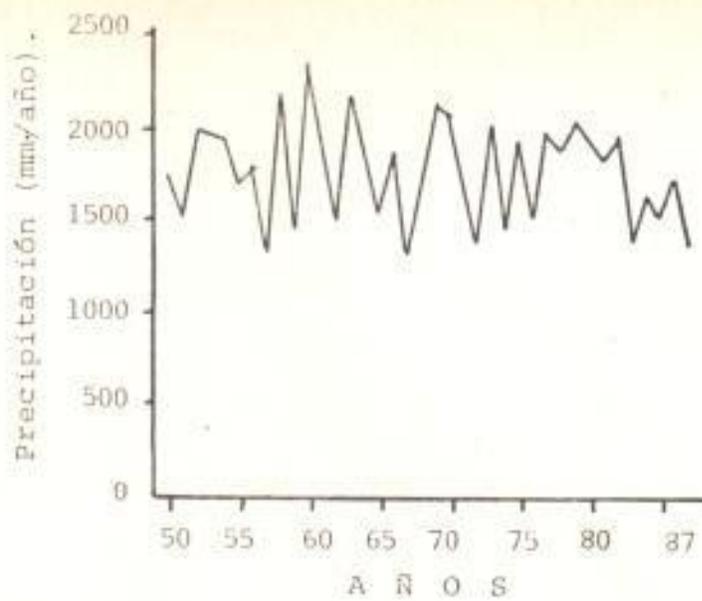


Figura 3. Variación interanual de la lluvia para la Estación Santa Cruz Porrillo.
Fuente : Elaboración propia.

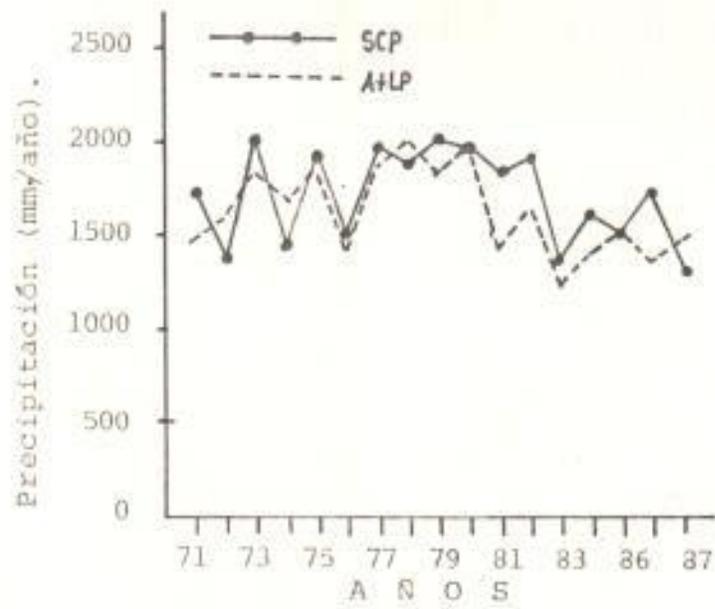


Figura 4. Variación interanual de la lluvia para la serie alargada Astoria + La Providencia y Santa Cruz Porrillo.
Fuente : Elaboración propia.

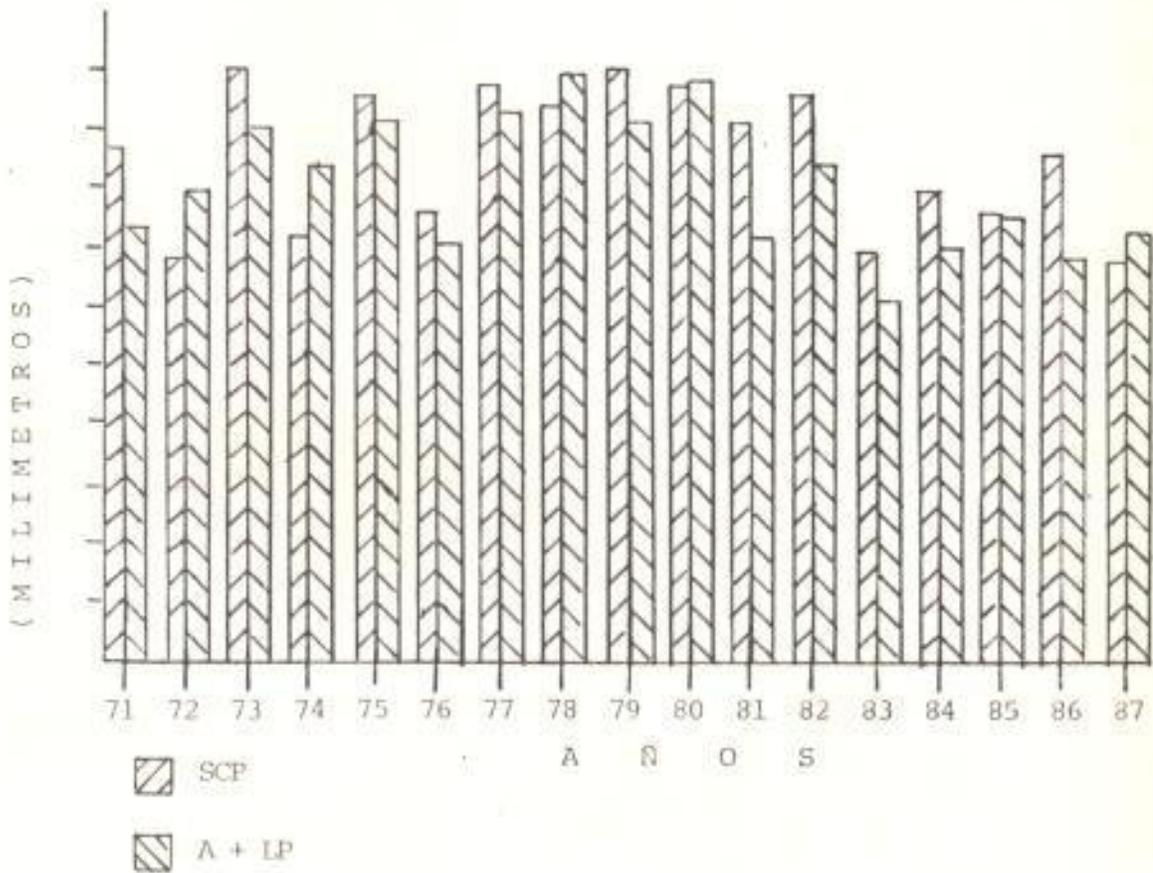


Figura 5. Lluvia anual en milímetros para la serie alargada Astoria + La Providencia y la Estación Santa Cruz Porrillo.

Fuente : Elaboración propia.

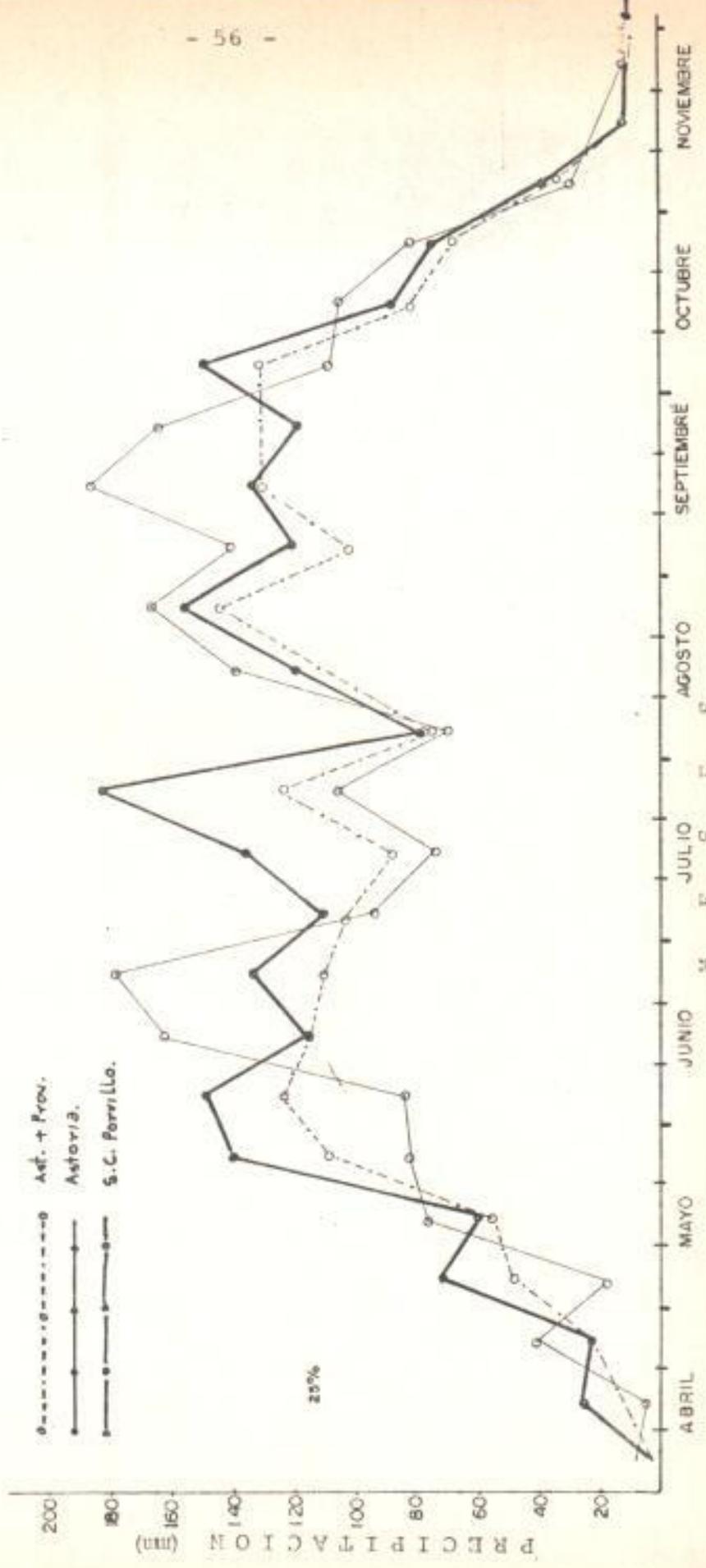


Figura 6. Probabilidades de las lluvias decádicas al 25% para las Estaciones Astoria, Santa Cruz Porrillo y la Seire alargada Astoria + La Providencia.
Fuente : Elaboración propia.

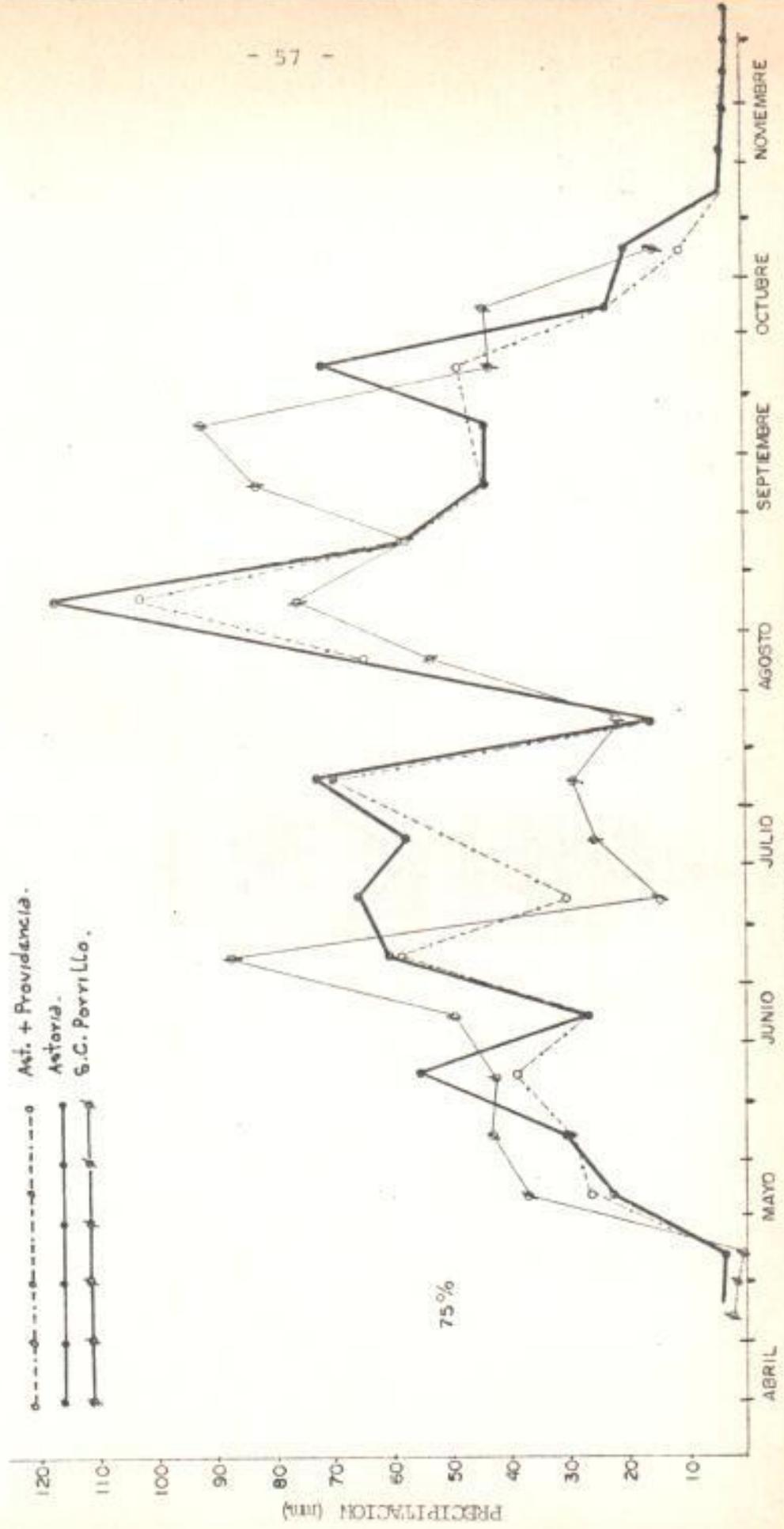


Figura 7. Probabilidades de las lluvias decádicas al 75% para las Estaciones Astoria, Santa Cruz Porrillo y la Se-
rie alargada Asotira + La Providencia.

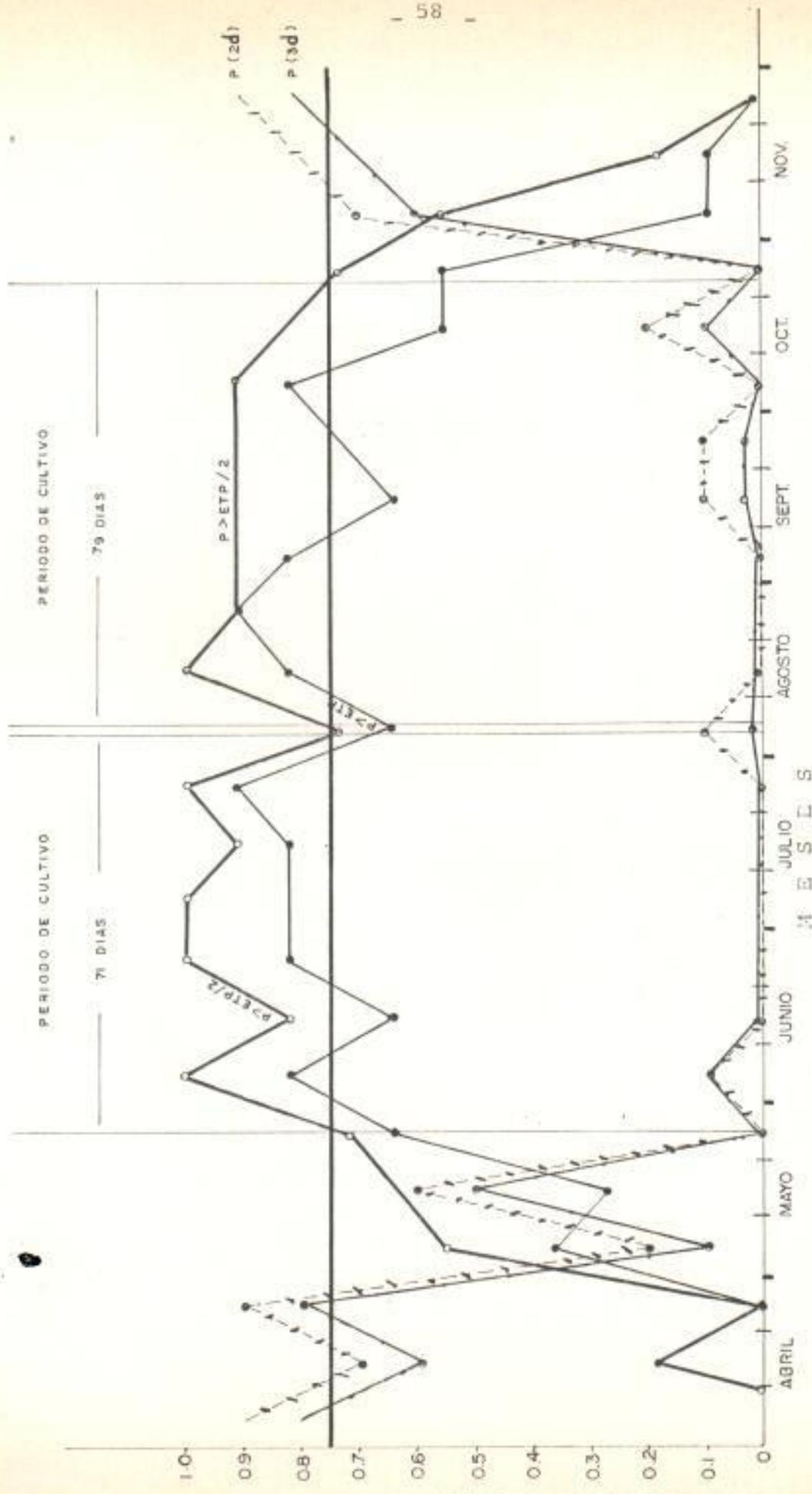


Figura 8. Análisis frecuencial de lluvias y ocurrencia de 2 y 3 décadas consecutivas secas para la Estación La Proviencia.
Fuente : Elaboración propia.

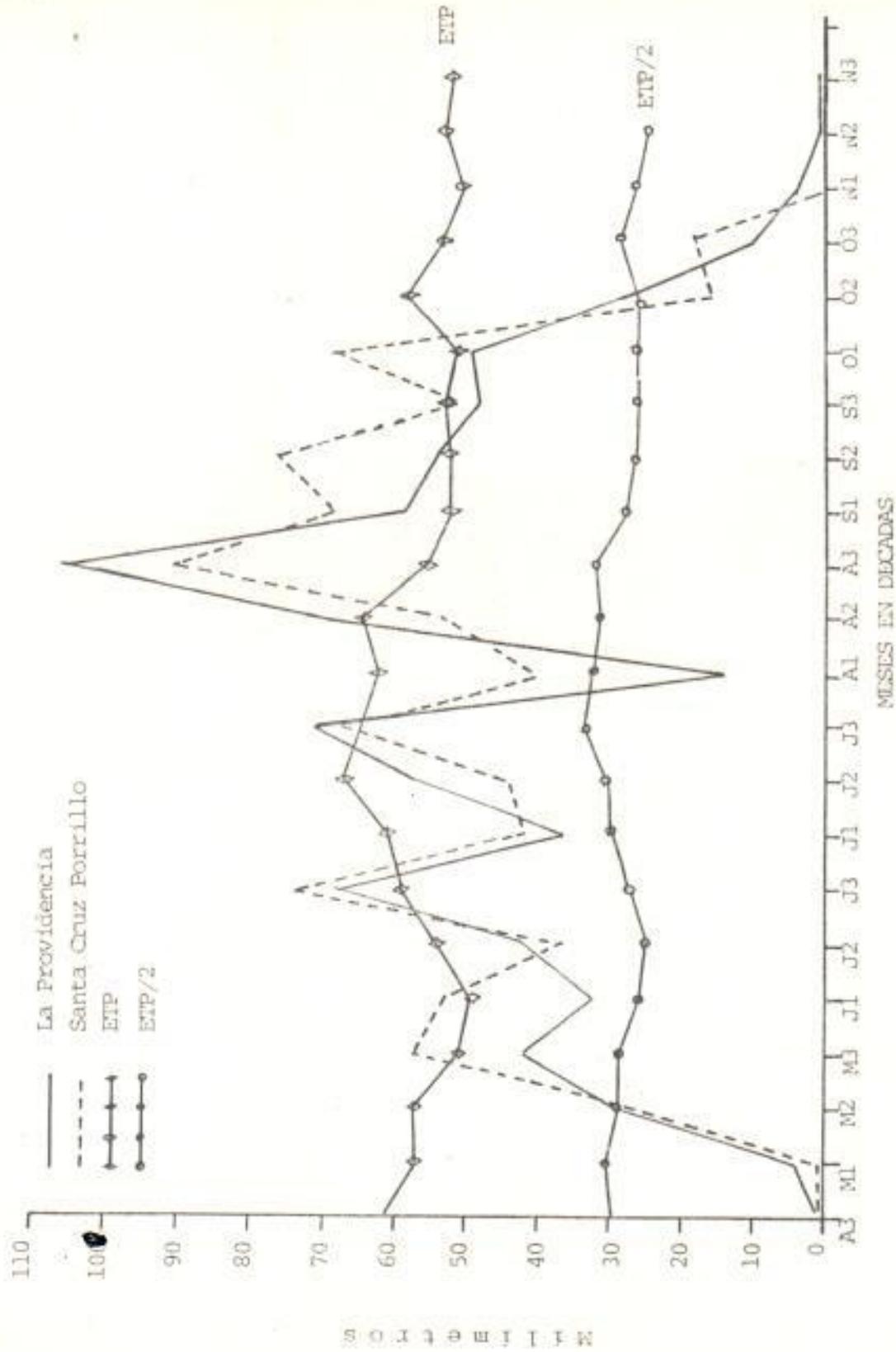


Figura 9. Período de cultivo para las Estaciones La Providencia y Santa Cruz Porrillo.
Fuente : Elaboración propia.

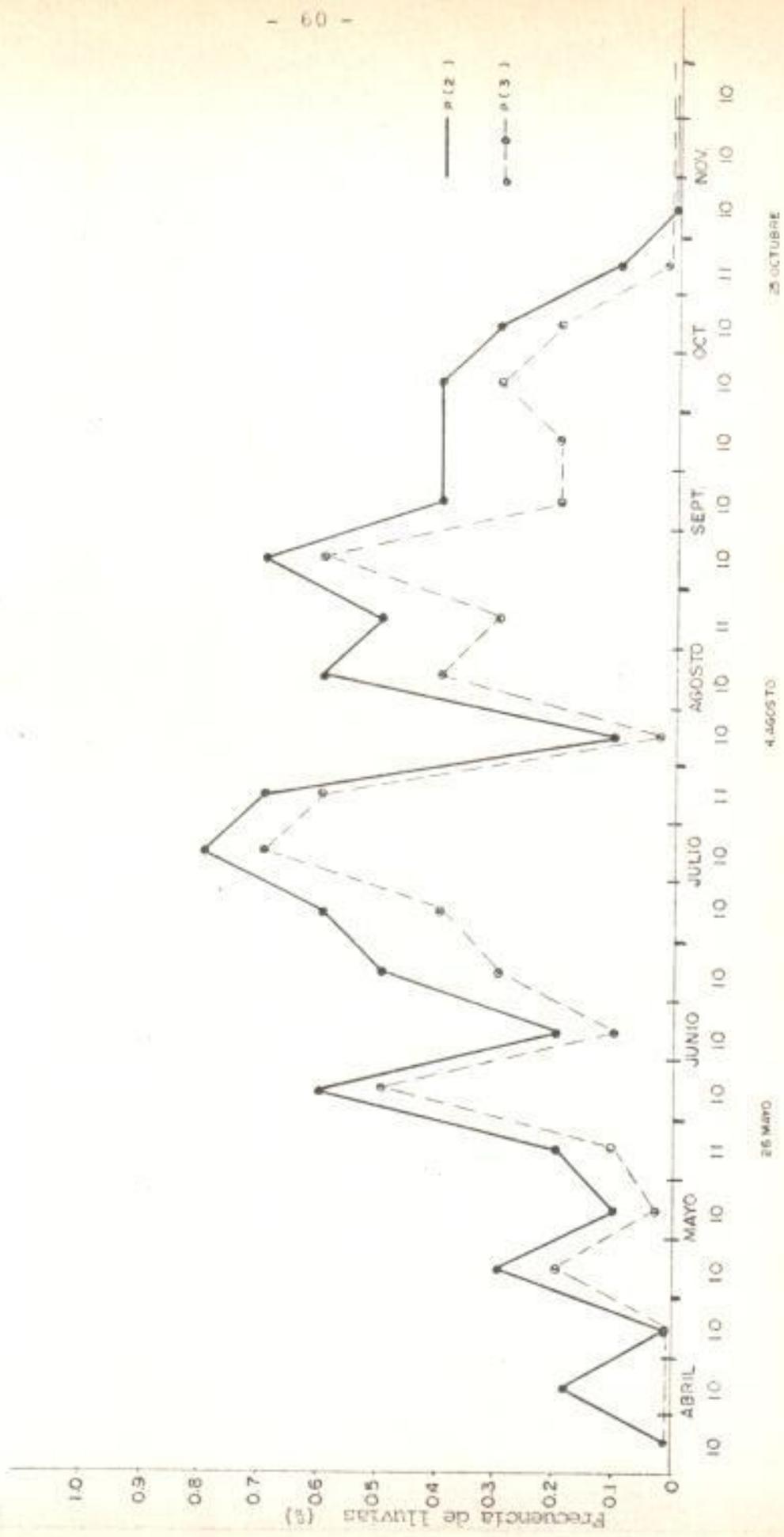


Figura 10. Ocurrencia de 2 y 3 décadas consecutivas lluviosas para la Estación La Proviuencia.
Fuente : Elaboración propia.

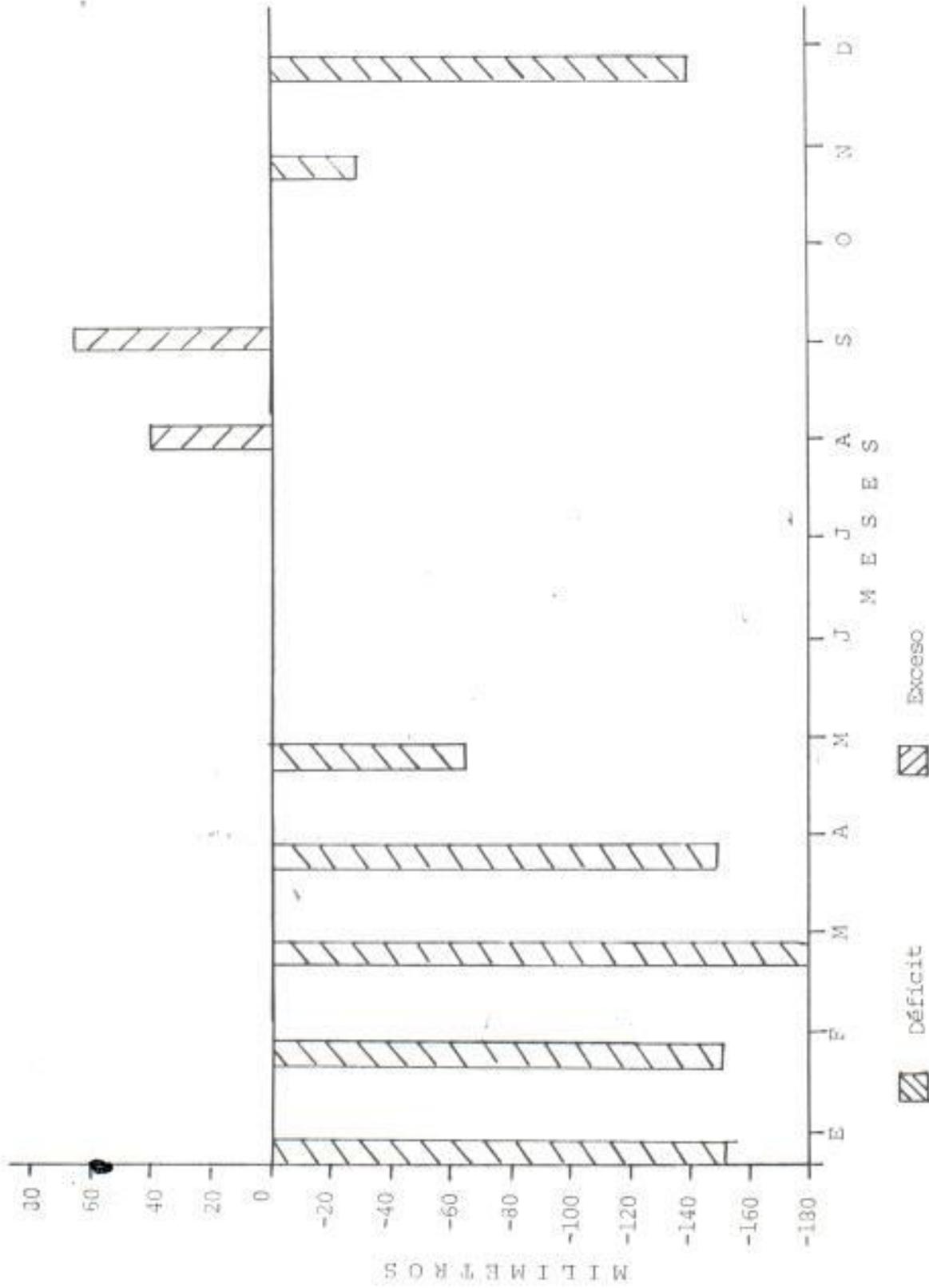


Figura 11. Balance hídrico climático para la Estación La Providencia. Capacidad de retención 100 mm.
Fuente : Elaboración propia.

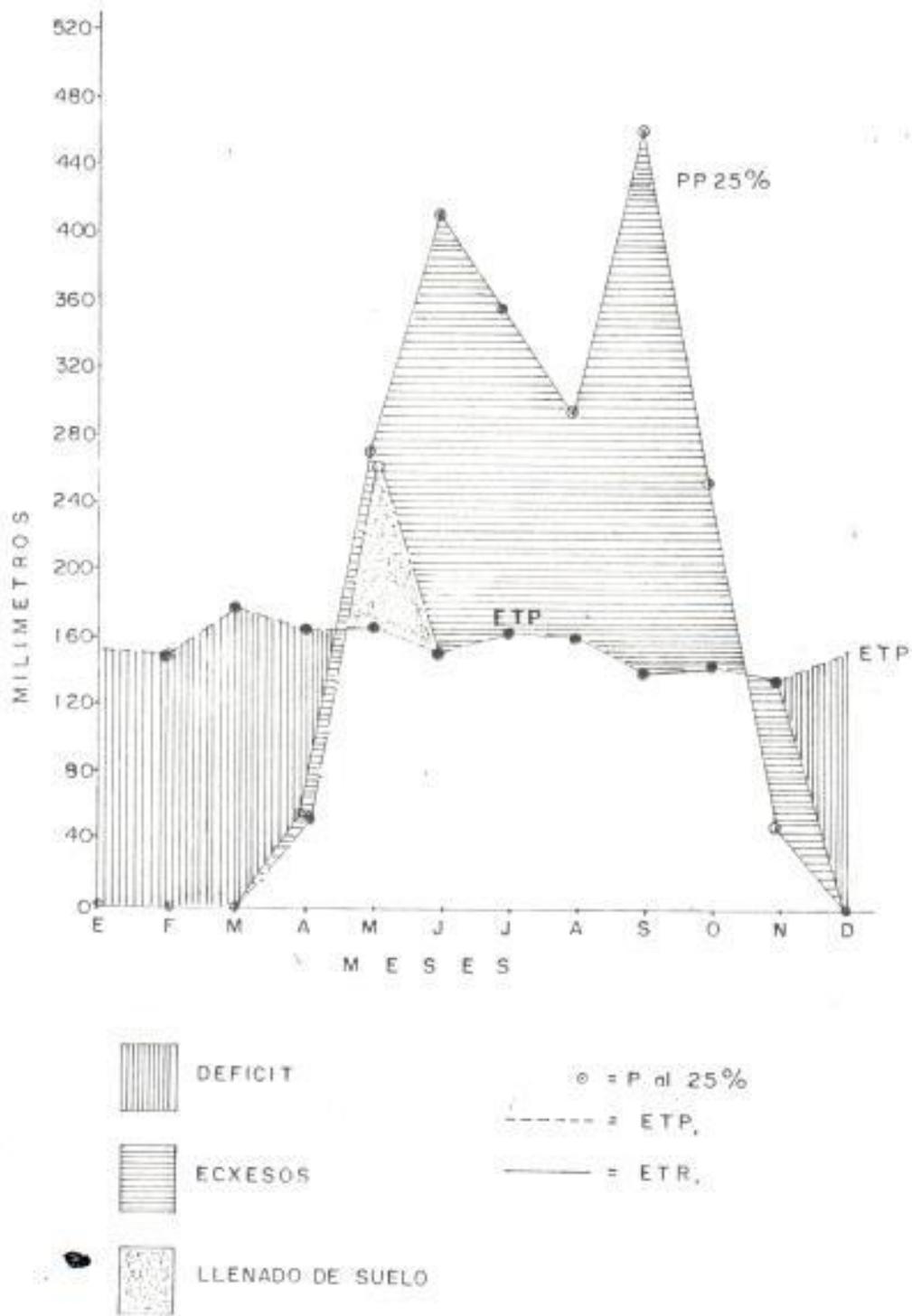


Figura 12. Balance hídrico climático para la Estación La Providencia. Capacidad de retención : 100 mm.
Fuente : Elaboración propia.

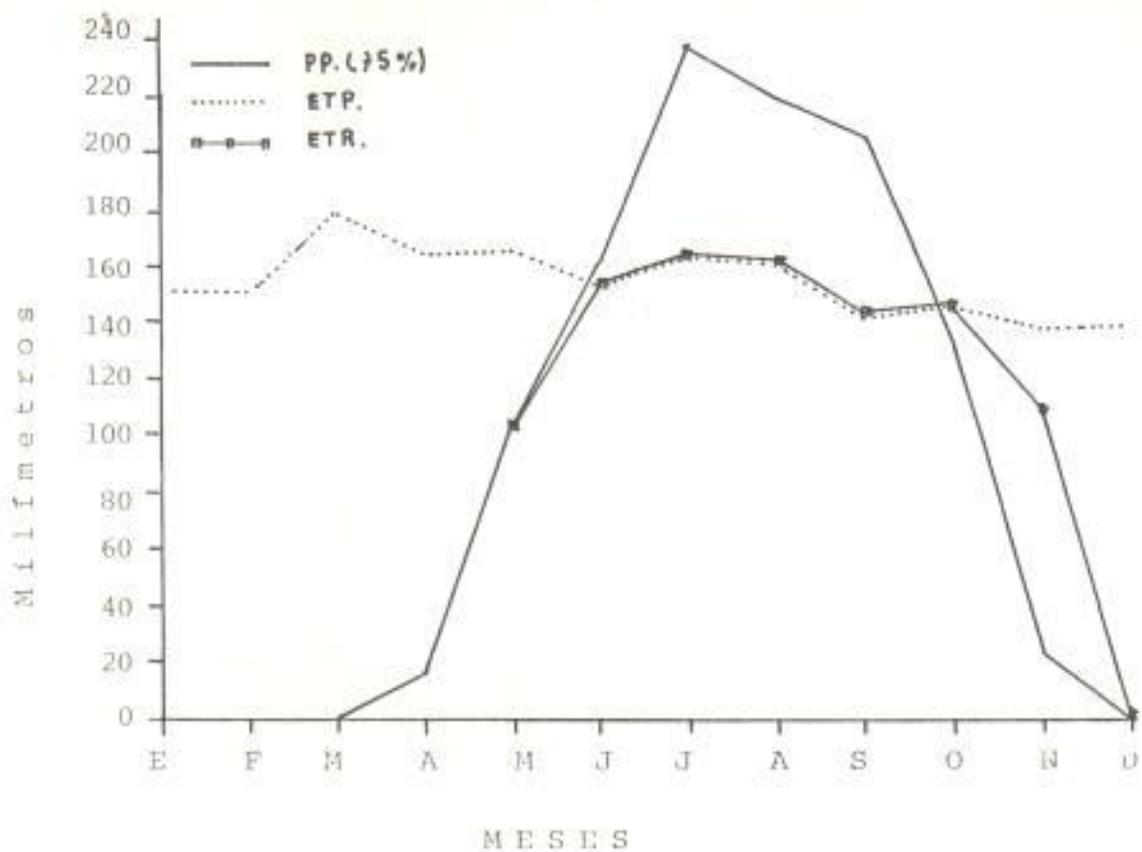


Figura 13. Balance hídrico climático para la Estación La Providencia con propabilidades de lluvia al 75%. (Capacidad de retención : 100 mm).

Fuente : Elaboración propia.

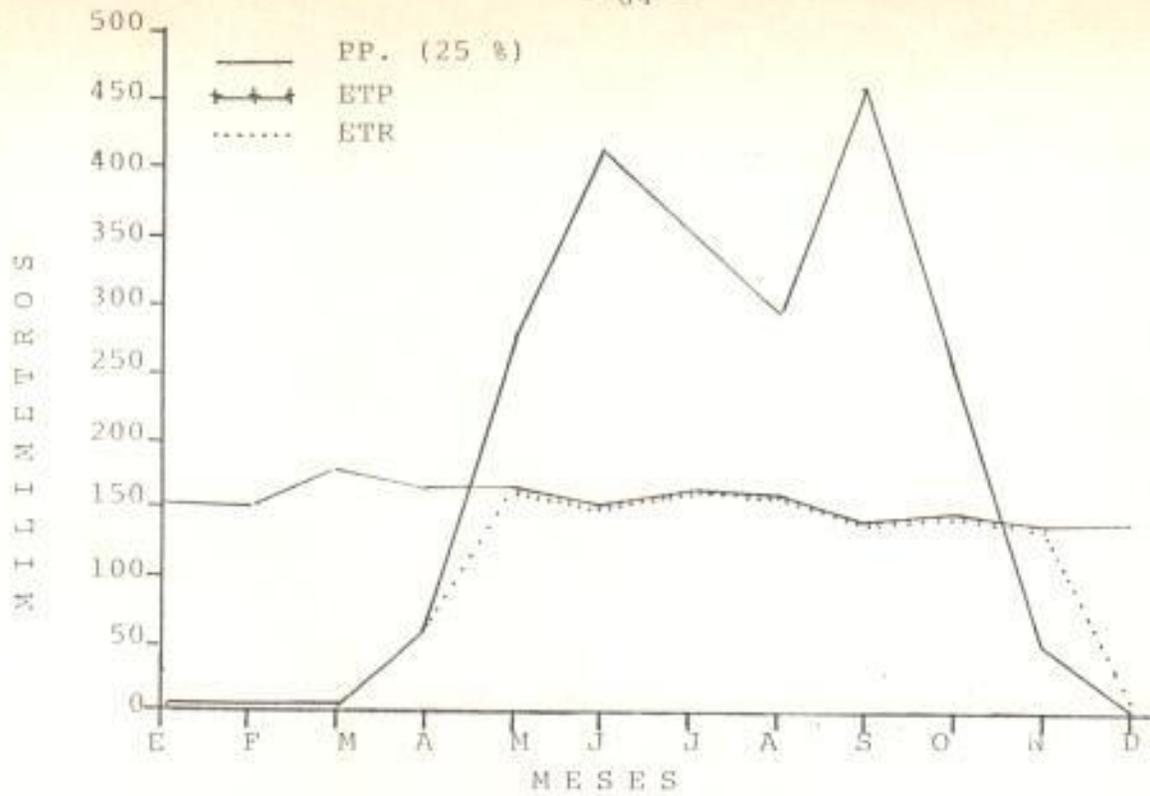


Figura 14. Balance hídrico climático para la Estación La Providencia.
Capacidad de Retención : 100 mm. PP. (25 %).
Fuente : Elaboración propia.

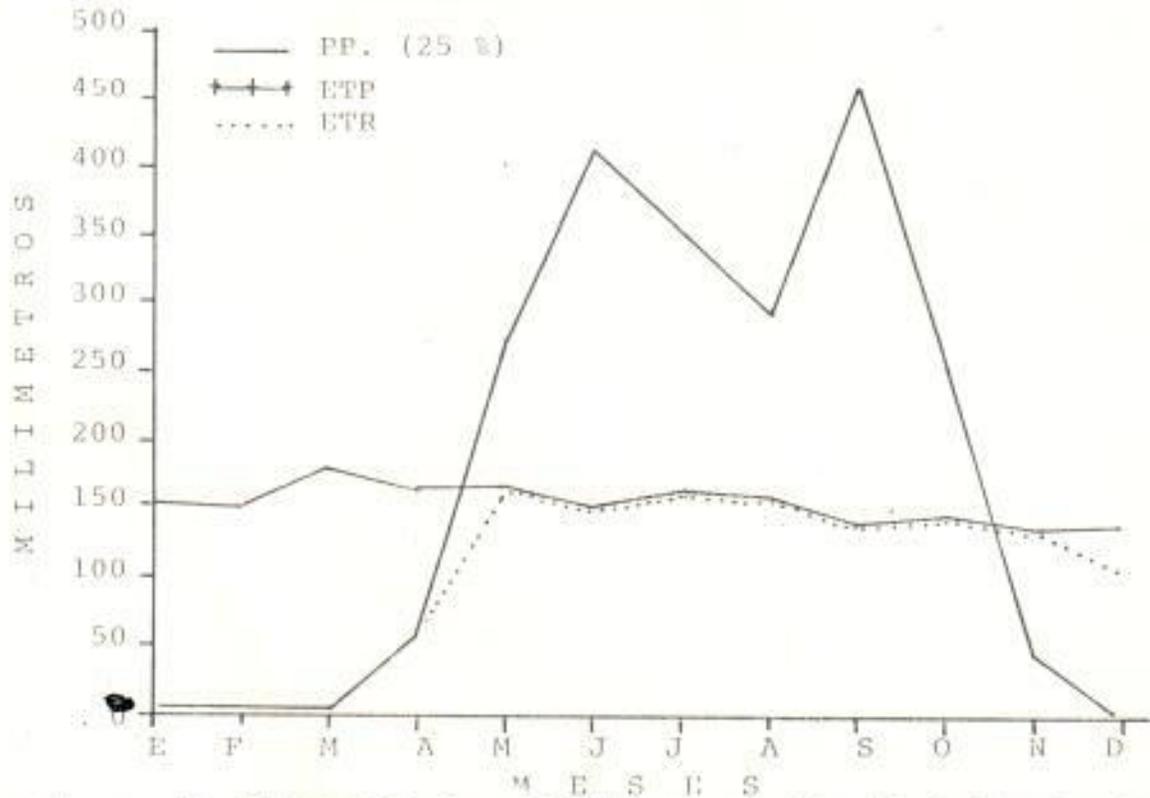


Figura 15. Balance hídrico climático para la Estación La Providencia.
Capacidad de Retención : 200 mm. PP. (25 %).
Fuente : Elaboración propia.

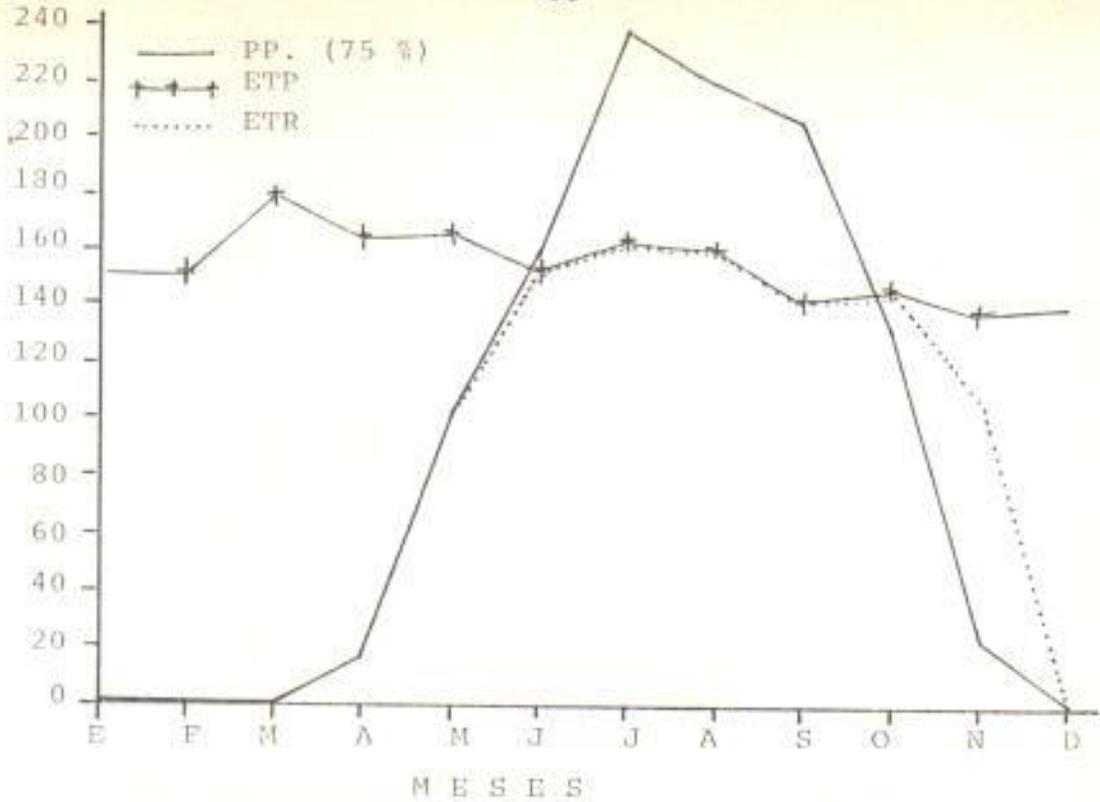


Figura 16. Balance hídrico climático para la Estación La Providencia. Capacidad de retención : 100 mm PP. (75 %). Fuente : Elaboración propia.

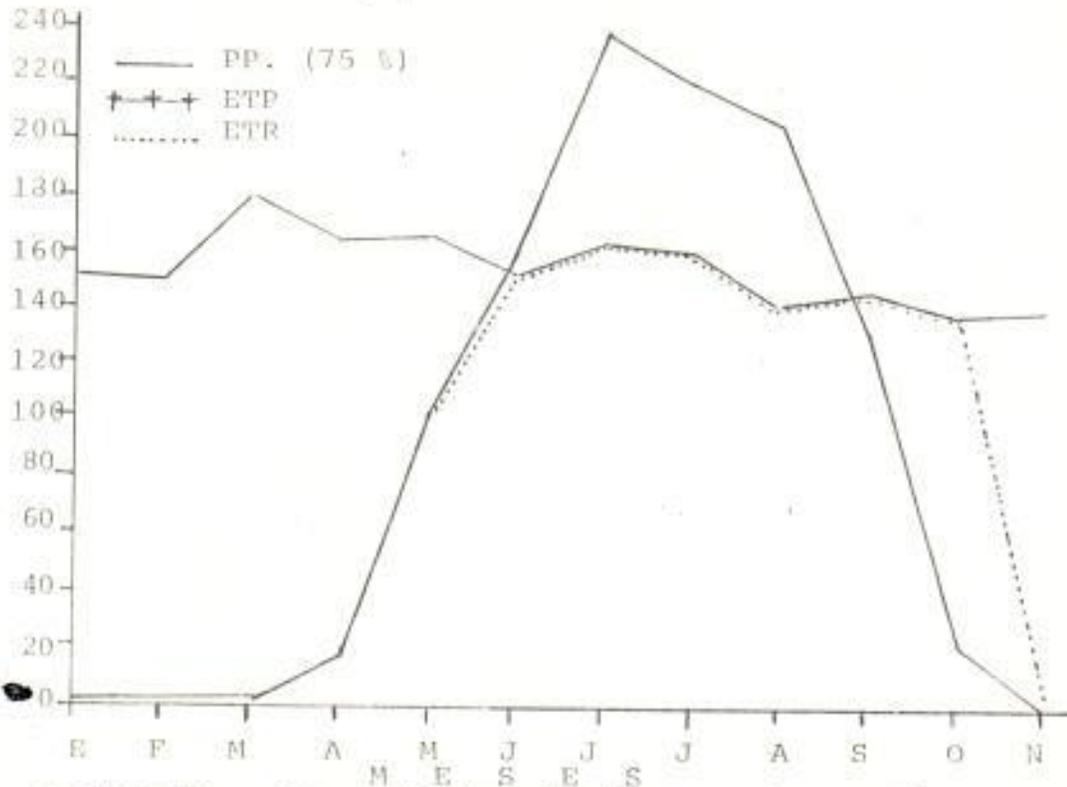


Figura 17. Balance hídrico climático para la Estación La Providencia. Capacidad de retención : 200 mm. PP. (75 %). Fuente : Elaboración propia.

ESTACION : LA PROVIDENCIA
 CULTIVO : MAIZ H-5
 SIEMBRA : MAYO
 FRECUENCIA DE LLUVIA : 5 DIAS
 HUMEDAD RELATIVA
 VIENTO

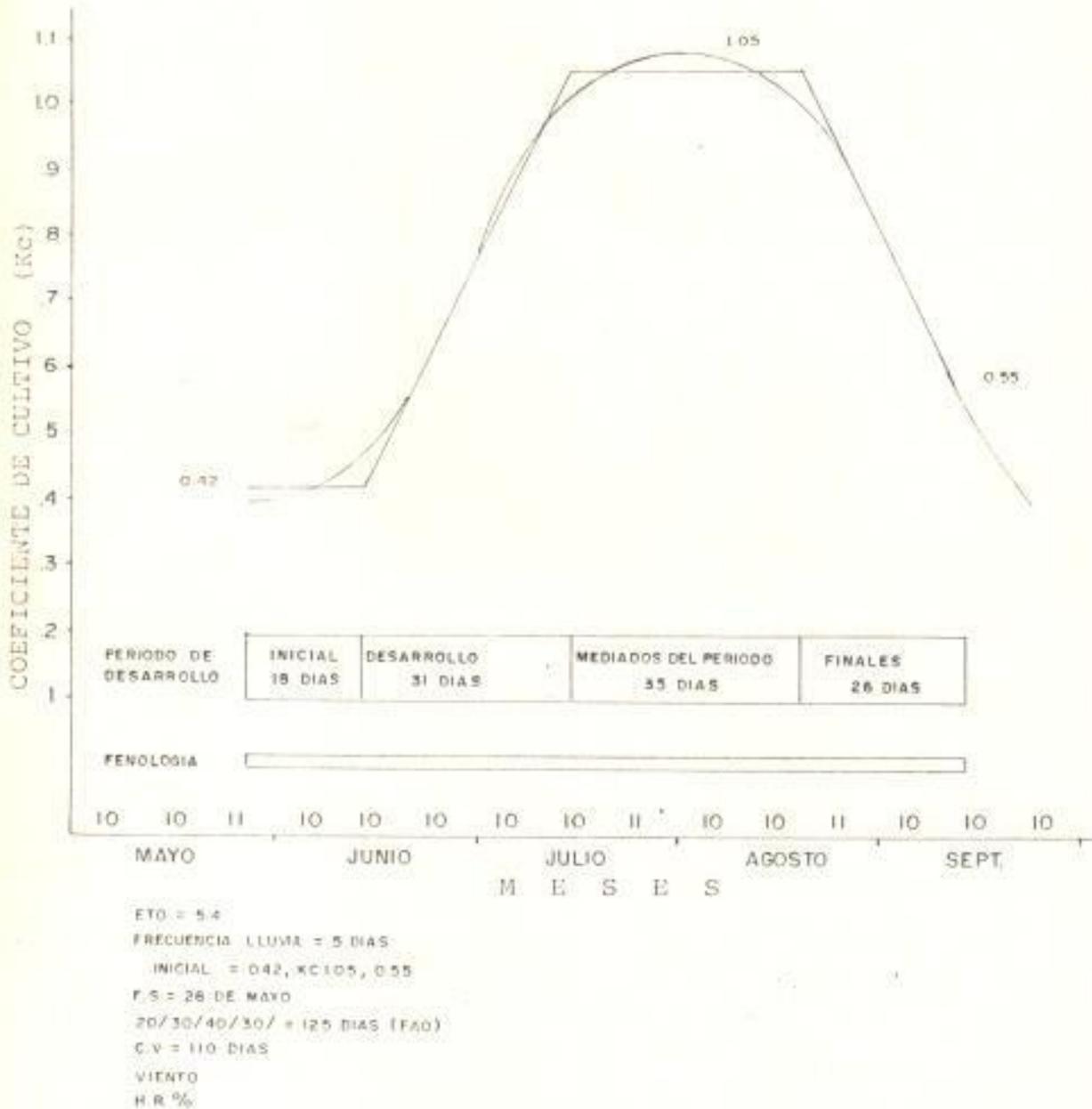
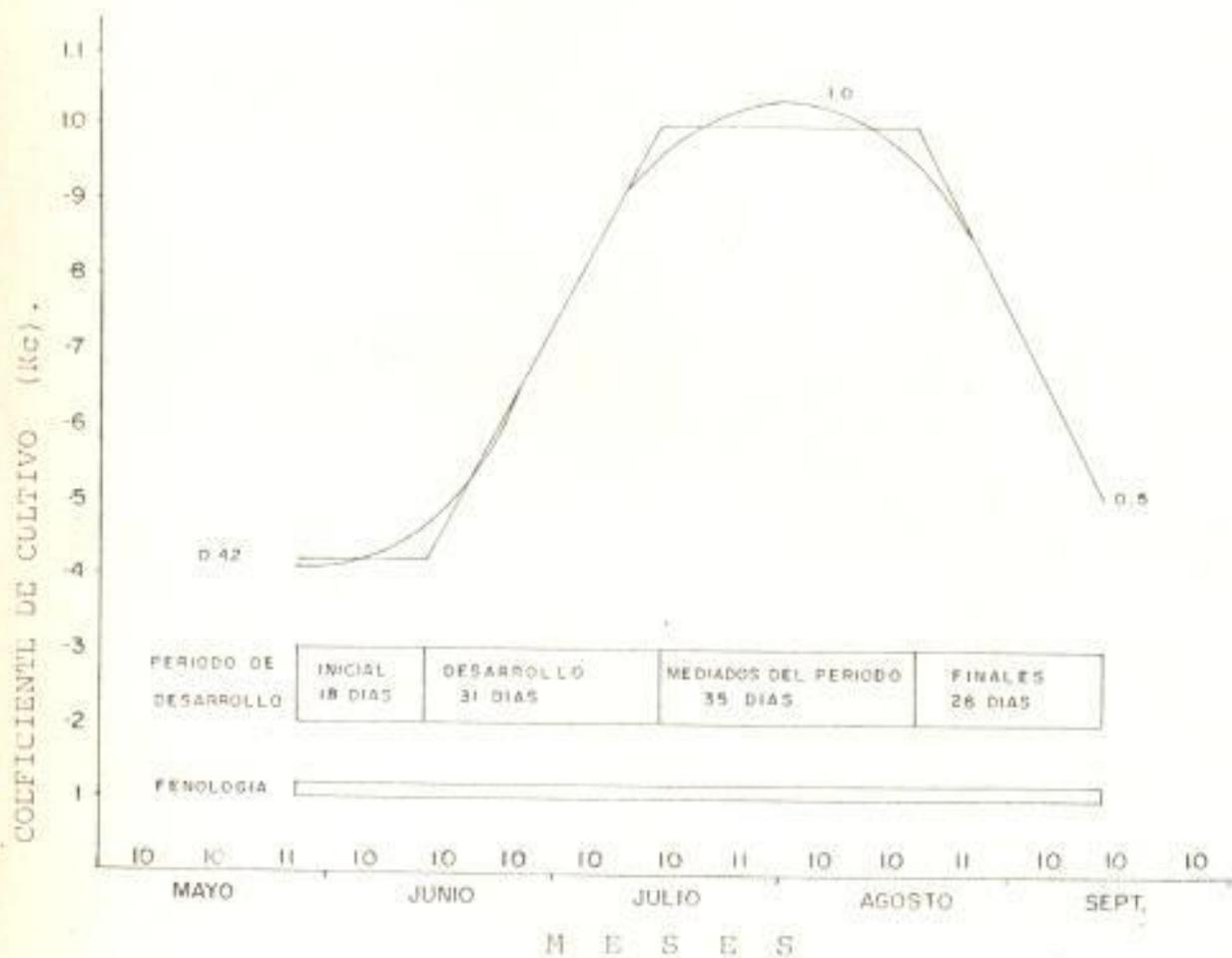


Figura 18. Coeficiente de cultivo Kc (Método FAO)

Fuente : Elaboración propia.

ESTACION : LA PROVIDENCIA
 CULTIVO : SORGO CENTA S-2 GRANO
 SIEMBRA : MAYO
 FRECUENCIA DE LLUVIA: 5 DIAS
 HUMEDAD RELATIVA:
 VIENTO:



KC = 0.42, 1.0, 0.5
 FS = 26 DE MAYO
 CV = 110 DIAS

Figura 19. Coeficiente de cultivo Kc (Método FAO).
 Fuente : Elaboración propia.

ESTACION: LA PROVIDENCIA
 CULTIVO: SORGO CRIOLLO - BICOLOR
 SIEMBRA: JUNIO
 FRECUENCIA DE LLUVIA
 HUMEDAD RELATIVA
 VIENTO

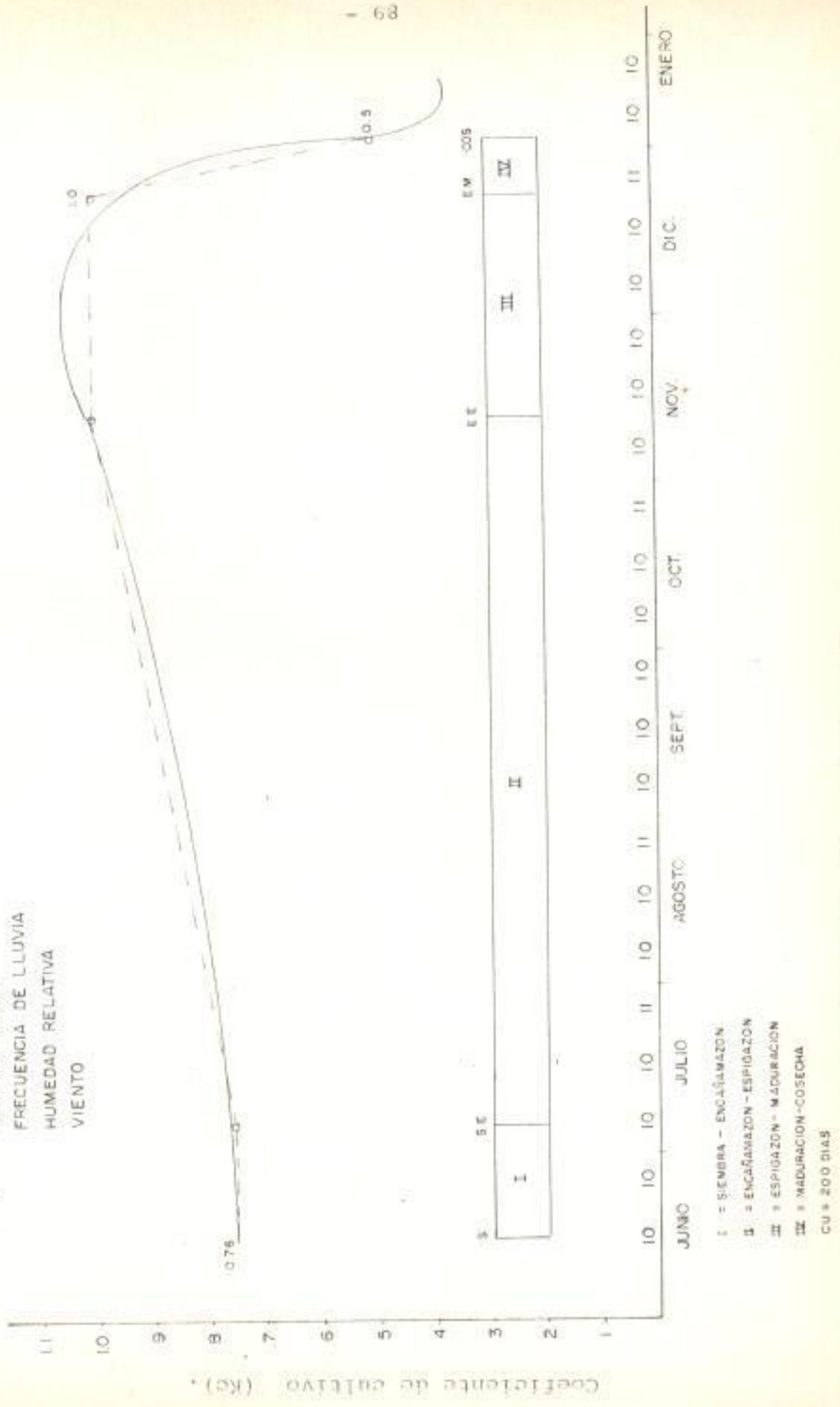


Figura 20. Coeficiente de cultivo Kc (Método FAO).
 Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 4. Resumen de elementos climáticos para la Estación La Providencia, para un período de once años (1976-1987).

Nº	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
P. MEDIA	5.33	1.29	21.17	26.60	176.60	306.55	297.00	276.06	269.55	196.60	49.60	4.13	
P. 25%				56.0	275.3	412.7	3559	293.7	461.0	255.1	46.4		
P. 50%				18.5	145.3	284.1	288.5	273.0	243.9	248.1	38.6		
P. 75%				7.1	102.6	160.0	238.0	220.2	206.4	132.4	22.7		
T °C MEDIA	25.30	26.20	26.90	27.90	27.40	26.80	26.60	26.60	26.0	26.10	26.0	26.0	
T °C	77.54	79.16	80.24	82.22	81.32	80.24	79.88	79.88	78.80	78.98	78.80	79.80	
T °C MAXIMA	33.3	33.9	34.1	34.1	32.9	32.4	33.1	32.9	31.8	31.7	33.0	30.2	
T °C MINIMA	20.8	21.6	22.3	23.7	23.9	23.3	22.6	22.6	22.7	22.6	21.9	21.4	
HR %	60	60	64	64	79	81	80	81	84	81	74	68	
Viento 2 m/s (m/s)	1.5	1.4	1.4	1.2	1.0	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.9	1.1	
Luz Solar	98	98	95	7.9	6.0	6.3	7.8	7.9	6.4	7.4	9.1	9.6	
Nubosidad	11.4	11.6	12.0	12.5	12.8	13.0	12.8	12.6	12.1	11.8	11.4	11.3	
Rg	12.41	13.62	14.89	15.65	15.83	15.70	15.72	15.65	15.14	14.12	13.25	12.47	
Rg	470	510	540	510	450	450	510	510	450	460	480	470	
ETP	152	151	180	165	167	153	164	161	141	146	138	140	

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro 5. Promedios decádicos de humedad relativa (HR %), radiación extroterrestre en milímetros equivalente de evaporación (RMM), temperatura media del aire en °C, y el factor TMF en °F, para un período de once años para la Estación La Providencia.

Estac Prov	PROMEDIOS DECADICOS DE HR %												Total	
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
D E C A D A S	I	60	60	63	64	74	81	80	81	83	82	76	70	
	II	60	60	64	64	79	81	80	81	84	81	74	68	
	III	60	61	64	69	80	81	81	82	83	77	72	65	
	PROMEDIOS DECADICOS DEL FACTOR RMM													
	I	122	133	144	153	156	154	154	154	152	143	133	124	
	II	125	136	148	156	155	153	154	155	151	140	129	121	
	III	129	140	150	156	154	153	154	154	147	136	127	122	
	PROMEDIOS DECADICOS DE TEMPERATURA °C													
	I	25	26	27	28	27	27	27	27	26	26	26	26	
	II	25	26	27	28	27	27	27	27	26	26	26	26	
	III	26	27	27	27	27	27	27	26	26	26	26	26	
	PROMEDIOS DECADICOS DEL FACTOR TMF °F													
I	77	79	81	82	81	81	81	81	79	79	79	79		
II	77	79	81	82	81	81	81	81	79	79	79	79		
III	79	81	81	81	81	81	81	81	79	79	79	79		

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro 8. Probabilidades de lluvia mensual para la Estación La Providencia, según el método de Weibull.

Nº \ MES	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	F%
1	68.7	365.3	699	492.5	422.7	450.9	306.5	149.8	0.08
2	60.2	286.2	456.1	386.7	395.6	432.6	259.9	113.7	0.16
3	56.0	275.3	412.7	355.9	293.7	461.0	255.1	46.4	0.25
4	24.3	248.8	298.7	315.7	291.2	277.7	253.9	42.1	0.33
5	23.6	201.2	294.7	312.4	289.7	276.4	253.9	40.2	0.41
6	18.5	145.3	284.1	289.5	273	243.9	248.1	38.6	0.50
7	17.6	129.8	246.5	272.7	263.4	214.6	170.1	37.4	0.58
8	15.5	110.7	223	268.4	229.6	207.6	146.8	30.5	0.66
9	7.1	102.6	160	238	220.2	206.4	132.4	22.7	0.75
10	1.3	60.4	150.2	206	193	189.6	124.3	22.0	0.83
11		46.9	147.1	130	165.4	104.4	12.1	2.3	0.91

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro 9. Probabilidades de lluvia mensual para la Estación La Providencia y la Serie Alargada Astoria + La Providencia, según el método de Weibull.

MES N.º	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT	OCT	NOV.	F %
1	68.7	36.5	699	492.5	422.9	455.2	391.9	198.6	0.05
2	61.5	28.6	497.5	386.7	395.6	450.9	317.6	149.8	0.11
3	60.4	275.3	468.7	355.9	393.3	448.5	3065	113.7	0.16
4	60.2	248.8	456.1	332.2	380.5	432.6	2843	88.4	0.22
5	56.0	201.2	412.7	315.7	315.0	361.0	2599	55.8	0.27
6	43.3	145.3	298.7	312.4	293.7	354.3	255.7	46.4	0.33
7	24.3	131.9	298.4	388.5	291.2	305.3	2539	42.1	0.38
8	23.6	130.0	297.2	272.7	289.7	277.7	2539	40.2	0.44
9	18.5	129.8	294.7	268.4	275.8	276.7	248.1	38.6	0.50
10	17.6	110.7	284.1	238.0	273.0	276.4	2345	37.4	0.55
11	15.5	109.1	246.5	206.0	263.4	258.0	1794	30.5	0.61
12	10.5	104.8	223	201.6	228.6	243.9	1700	24.4	0.66
13	7.1	102.6	178.1	190.0	228.3	214.6	1468	23.0	0.72
14	1.5	83.0	160.0	179.0	220.2	207.6	1824	22.7	0.77
15	1.3	65.1	150.2	169.9	219.8	206.4	1243	22.0	0.83
16	0.9	60.4	147.1	158.4	193.0	189.6	925	5.3	0.88
17		46.9	119.9	130.0	165.4	104.4	121	2.3	0.94

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro 10. Resultados de las pruebas de homogeneidad para la Estación La Providencia y la Serie Alargada Astoria + La Providencia.

Período (1971-1987)	Astoria + Lo P.V. (Luvia anual [m.m.])		Período (1976-1987)	La Providencia (Luvia anual [m.m.])	
1971	1469.0	B	1977	1868.0	A
1972	1596.0	B	1978	1993.6	A
1973	1815.9	A	1979	1825.3	A
1974	1676.6	A	1980	1973.8	A
1975	1834.6	A	1981	1645.2	A
1976	1413.5	B	1982	1689.1	A
1977	1868.0	A	1983	1231.9	B
1978	1993.6	A	1984	1410.1	B
1979	1825.3	A	1985	1510.6	B
1980	1973.8	A	1986	1362.2	B
1981	1645.2	A	1987	1456.7	B
1982	1689.1	A			
1983	1231.9	B			
1984	1410.1	B	MEDIANA	1645.2	
1985	1510.6	B			
1986	1362.2	B			
1987	1456.7	B			
MEDIANA	1645				

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro 11. Algunas unidades de mapeo y extensión en Has. de los suelos de la Estación Experimental La Providencia.

	Prof Suelo cm.	Tipo de Textura	C.R. cm./cm	C.R.m.m.	Prof Radicula Maiz (1mz)	Prof Radicular Sorgo (20mt)
UNIDAD PR - 2 AREA: 9.48 Has	0-20	F A	0.12	2.40	24.0	24.0
	20-55	F A on GF	0.12	4.20	42.0	42.0
	55-100	F L	0.19	8.55	85.5	85.5
	100-120	F AF	0.14	2.80		2.80
	120-180	Am,GF	0.05	30.0		
	TOTAL				210 m.m.	151 m.m.
UNIDAD PR-3B AREA: 197 Has	0-25	F A	0.12	30.0	30.0	30
	25-50	F A,AF	0.10	25.0	25.0	25
	50-85	AF,Am	0.05	17.5	17.5	17.5
	85-180	AF,AGf	4.75	47.5	7.5	17.5
	TOTAL			120 m.m.	80.0 m.m.	90.0 m.m.
UNIDAD PR-4 AREA: 13.37 Has	0-20	F o FL	0.17	3.40	34.0	34.0
	20-60	FL, FcL	0.19	7.60	76.0	76.0
	60-160	FA,AF,Am	0.14	140.0	56.0	84.0
	160-185	FL,cL	0.19	47.5		
	185-200	FA,AF	0.12	18.0		
TOTAL				315.0 m.m.	166.0	194.0 m.m.
UNIDAD PR-11 AREA: 11.34 Has.	0-18	FA, F	0.17	30.6	30.6	30.6
	18-45	F A	0.12	32.4	32.4	32.4
	45-70	F, FL	0.18	45.0	45.4	45.0
	70-180	FAF	0.14	154.0	42.0	70.0
	TOTAL			262 m.m.	150.0 m.m.	178.0 m.m.

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro 13. Balance hídrico climático mensual para la Estación La Providencia. Precipitación (pp. 25 %).

CAPACIDAD DE RETENCION DEL SUELO 200 m.m.

Nº	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
PP. 25%	0	0	0	56	275	413	356	294	461	255	46	0	
ETP.	152	151	180	165	167	153	164	161	141	146	138	140	
PP. -ETP.	-152	-151	-180	-109	108	260	192	133	320	109	-92	-140	
ALMACENAJE	0	0	0	0	108	200	200	200	200	200	108		
VARIACION DE ALMACENAJE	0	0	0	0	108	92	0	0	0	0	92		
ETR.	0	0	0	56	167	153	164	161	141	146	138		
DEFICIENCIAS	152	151	180	109	0	0	0	0	0	0	0		
EXCESOS	0	0	0	0	0	168	192	133	320	109	0		

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro 14. Balance hídrico climático mensual para la Estación La Providencia. Precipitación (pp. 75 s).

CAPACIDAD DE RETENCIÓN DEL SUELO 100 m.m.

Nº	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
PP. 75%	0	0	0	16	103	160	238	220	206	132	23	0	
ETP.	152	151	180	165	167	153	164	161	141	146	138	140	
PP. -ETP.	-152	-151	-180	-149	-64	7	74	59	65	-14	-15	-140	
ALMACENAJE	0	0	0	0	0	7	81	100	100	86	0	0	
VARIACION DE ALMACENAJE	0	0	0	0	0	7	74	19	0	-14	-26	0	
ETR.	0	0	0	16	103	153	164	161	141	146	109	0	
DEFICIENCIAS	152	151	180	149	64	0	0	0	0	0	29	140	
EXCESOS	0	0	0	0	0	0	0	40	65	0	0	0	
MAI: PP. 75% ETP	0	0	0	0.1	0.6	1.0	1.5	1.4	1.5	0.9	0.2	0	

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro 17. Balance hídrico de cultivo decádico para la Estación La Providencia.

TIPO DE SUELO : Unidad PR-II.

CULTIVO: MAIZ H-5

CAPACIDAD DE RETENCION: 80 m.m. PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO: 120 mts.

	E	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D	
P 75%					3.1 2.2 30.0 5.5 27	6.0 6.5 57 7.3	1.6 5.6 11.7 57 4.4 4.4							
ETP					5.5 5.5 6.1 5.5 4.9	4.9 5.5 9.5 6.1	5.5 5.5 5.4 4.7 4.7 4.7							
KC					0.4 0.42 0.49	0.66 0.86 1.01 1.07	1.07 1.02 0.26 0.7 0.25							
NH					0 0 2.4 2.3 2.4	3.2 4.8 5.6 6.5	5.9 5.6 4.9 3.3 2.6							
P-MH					3.1 2.2 5 3.2 3	2.8 1.7 1 8	-4.3 1.0 6.8 2.4 1.8 4.4							
A					0 0 6 3.8 4.1	6.9 8.0 8.0 8.0	3.7 4.7 8.0 8.0 8.0 7.7							
AA					0 0 6 3.2 3	2.8 1.1 0 0	-4.3 1.0 3.3 0 0 -3							
DEF					5.2 3.3									
EXC						5 1 8	3.5 2.4 1.8							

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro 20. Balance hídrico de cultivo decádico para la Estación La Providencia.

TIPO DE SUELO : Unidad PR-II

CULTIVO-SORGO : Criollo

CICLO VEGETATIVO: 210 DIAS

CAPACIDAD DE RETENCIÓN 100mm.

	E			F			M			A			M			J			J			A			S			O			N			D								
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III						
P75%	0																																									
ETP	46																																									
KC	04																																									
NH	18																																									
P-NH	-18																																									
A	0																																									
AA	0																																									
DEF	18																																									
Exc																																										

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro 21. Balance hídrico de cultivo decádico para la Estación La Providencia.
 TIPO DE SUELO : Unidad PR-II
 CULTIVO:SORGO S-2
 CICLO VEGETATIVO: 110 DIAS
 CAPACIDAD DE RETENCION 100m.m.

	E		F		M		A		M		J		J		A		S		O		N		D				
	I	II	III																								
P75%																											
ETP																											
KC																											
NH																											
P-NH																											
A																											
AA																											
DEF																											
EXC																											

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro 22. Balance hídrico de cultivo decádico para la Estación La Providencia.

TIPO DE SUELO : Unidad PR-II.

CULTIVO: MAIZ II-5.

CICLO VEGETATIVO: 110 DIAS

CAPACIDAD DE RETENCION 100mm.

	E	F	M	A	M	J	J	J	A	S	O	N	D
					I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III	I II III
P75%	0				3 22 30	55 27 60	65 57 73	16 66 117	57 44 44	72 24 20	4 1 0	0	
ETP	46				55 55 61	55 49 49	55 55 61	55 55 61	47 47 47	47 47 47	52 47 47	47 47 47	47
KC	0.4							0.40 0.42 0.49	0.86 0.88 1.01	1.07 1.07 1.02	0.98 0.7 0.53		
NH	18							22 23 26	31 41 47	50 50 53	45 33 26		
P-NH	-18				31 22 30	55 27 60	65 57 73	-6 43 91	26 3 -3	22 -26 -35	-39 -32 -26		
A	0				0 0 0	0 0 11	21 21 35	29 72 100	100 100 97	100 74 41	2 0 0	0	
ΔΔ	0				0 0 0	0 0 11	10 2 12	-6 43 28	0 0 13	3 -26 -33	-39 -2 0		
DEF	18				52 33 31	0 22 0	0 0 0	0				30 26	
Exc								63	26 3	19			

Fuente: Elaboración propia.

6. DISCUSION DE RESULTADOS

6.1. Condiciones climáticas generales de la Estación La Providencia.

En relación a los resultados obtenidos, a continuación se describen las principales características que presenta la estación experimental La Providencia en los parámetros climáticos tanto a nivel mensual como decádico.

La Figura 2, representa un agroclimatograma que contiene la información climática más relevante de la zona base de estudio. A continuación se describen y se discuten los elementos climáticos en el orden en que aparecen en el agroclimatograma.

6.1.1. Precipitación

En la Estación Experimental La Providencia existen variaciones en las cantidades de precipitación en cuanto al comienzo y finalización de la estación en mayo se tiene 173 mm. (inicio de la época lluviosa) en julio y agosto se tiene 297 - 276 mm. y en noviembre se tiene 50 mm que es cuando se considera la finalización del período lluvioso, amerita un análisis más detallado el cual se realizará más adelante.

6.1.2. Temperatura

La Estación Experimental La Providencia tiene registrada una temperatura media de 26°C en la mayoría de los meses. El

mes más caliente es el de marzo con 28°C de temperatura media. No obstante las temperaturas máximas no sobrepasan de 34°C en los meses de marzo y abril. Las temperaturas mínimas medidas no disminuyen de 20°C en los meses de enero y diciembre que son considerados los más fríos del año.

Los promedios mínimos de temperatura para la estación de referencia posee variaciones muy pequeñas, las cuales oscilan entre 20-24°C lo cual indica un comportamiento homogéneo en cuanto a este parámetro climático (Vease Figura 2).

6.1.3. Humedad relativa

Analizando la Figura 2, de humedad relativa para la zona se observa que los máximos valores se presentan en los meses de mayo a septiembre (79 y 82%) lo cual coincide con los meses más lluviosos en la zona (vease gráfico de precipitación). El promedio mensual más elevado de humedad relativa es el del mes de septiembre con 82% y los promedios más bajos, se registran en los meses de enero, febrero y diciembre con 70 y 74% respectivamente. Los meses en donde las enfermedades fungosas pueden proliferar están comprendidos entre los meses de Mayo y septiembre, fechas en donde los valores de humedad relativa y números de días con lluvia son mayores.

6.1.4. Luz solar

Los valores promedios registrados en la Estación La Provi-

dencia aparecen representados en la Figura 2. El valor promedio de mayor insolación es el coincidente con la época seca, el cual se presenta del mes de noviembre, al mes de abril con valores de 9 y 8 horas luz/día; también en los meses de julio y agosto se tienen valores de 8 horas luz/día, lo cual se debe al efecto del período de la canícula, durante la estación lluviosa.

6.1.5. Radiación

Los registros de información sobre radiación para la zona base de estudio no son utilizables, ya que la Estación Experimental cuenta con dichos registros pero no están evaluados; por tal razón, para poder conocer valores estimativos, se ha utilizado el dato de brillo o luz solar, ya que a partir de éste y mediante el uso de fórmulas matemáticas se estiman valores de radiación solar. El método a utilizar para la estimación de la radiación solar, a partir de la insolación es el propuesto por Angstron.

Los valores de radiación solar recibida en la cima de la atmosfera (R_a), el número real de horas de insolación (n), el número de horas posibles de insolación desde el punto de vista astronómico (N) de acuerdo a la latitud de la zona, así como los valores estimados de radiación global (R_g) en términos de $\text{cal/cm}^2/\text{día}$ aparecen en el Cuadro 4. La utilización que se le da al dato de radiación es muy amplia. Para el presente trabajo este dato se utilizó para el cálculo de evapotranspiración potencial y para la estimación de los rendimientos potenciales

de los cultivos del maíz y sorgo.

Los valores más bajos de radiación global se registran en los meses de mayo, junio, septiembre y octubre teniéndose valores de 450 a 460 cal/cm²/día respectivamente, los meses de mayor radiación son: febrero, marzo y abril con valores de radiación de 510, 540 y 510 cal/cm²/día (veáse Cuadro 4).

6.1.6. Viento

En la Estación Experimental La Providencia el viento se mide a dos metros de altura sobre el nivel del suelo. La Estación cuenta con un registro de datos de viento de 8 años. En el climatograma aparecen graficados los datos de viento de la Estación La Providencia. Los valores de velocidad del viento llegan a alcanzar hasta 1.5 metros/seg. como promedio diario en los meses de diciembre a marzo y en julio se tienen valores de 0.9 m/seg. lo cual ocasiona efectos negativos en los cultivos y para fines de protección de los cultivos debería de contarse con información más detallada.

6.2. Información climática decádica

El Cuadro 5, contiene la información decádica de humedad relativa en porcentaje.

La Estación La Providencia tiene un valor promedio de humedad relativa de 60% para la 1a., 2a. y 3a. década de enero que son considerados los valores más bajos. En la 1a., 2a. y 3a.

DEDICATORIA

CON TODO CARIÑO DEDICO ESTA TESIS A :

- Todos los compañeros caídos en la lucha por las reivindicaciones estudiantiles, un ejemplo digno de firmeza y convicción, quienes lucharon por defender la autonomía Universitaria.

- Mi madre : María Rosa
Con todo cariño y respeto

- Mi hermano : Carlos Alberto
Quien con su sacrificio ha hecho posible alcanzar esta meta.

- Mis hermanas :
Susana Inés y Sonia Margarita
Con mucho cariño.

- Mis hermanos fallecidos :
Isaias Mauricio, Luis Alonso y Oscar Armando
A quienes recuerdo con cariño

- Mis sobrinos :
Ana Mercedes, Sulma Carolina, Silvia Estela, Morena Guadalupe, Camila María, Luis Alonso, Omar Antonio y Carlos

década de junio se tienen registrados los valores de 81% de humedad relativa y en la 1^a, 2^a y 3^a década de septiembre se tienen valores de 83% que son considerados los valores más altos de humedad relativa.

El Cuadro 5 también contiene la información decádica del factor RMM y el de la temperatura promedio en grados centígrados.

La información decádica del Cuadro 5 se considera valiosa para la determinación de la ETP decádica propuesta por Hargreaves.

6.3. Homogenización e igualización de series

Los resultados de las pruebas de homogeneidad de lluvia anual para La Providencia resultaron ser heterogéneos por monotonía decreciente real hacia años más secos, la prueba fue realizada por un período de once años (1977-1988).

Los resultados fueron los mismos al tomar un período más largo (17 años) para la serie Astoria + La Providencia por lo que provocan esa heterogeneidad en la Estación La Providencia por la continua reducción de las cantidades de lluvia en los últimos diez años de la serie, o sea que es una variación climática real hacia años más secos (véase resultados en el Cuadro 10).

6.3.1. Coeficientes de correlación

En el Cuadro 6, aparecen las correlaciones de Santa Cruz Porrillo y Astoria tiene una correlación de 0.30, Santa Cruz Porrillo y la serie Astoria + La Providencia tiene una correla-

ción de 0.48, La Providencia y San Diego tiene una alta correlación de 0.73 con lo cual queda demostrado que existe una buena correlación de la lluvia en la escala horizontal a una elevación de 30-50 msnm. quedando delimitada la zona objeto de estudio en la planicie costera central desde San Diego hasta el río Lempa (vease mapa en Anexo 3) La Providencia y Entre Ríos tiene una correlación de 0.012 la cual es muy baja por lo que queda delimitada el uso de las estaciones en la escala vertical por no tener una correlación significativa.

La Estación Entre Ríos se tomó porque representa el pie de Monte donde termina la planicie costera y comienza a subir el relieve hacia la montaña.

CUADRO 6. Coeficientes de correlación

Estaciones	Coefficiente de Correlación
r : SCP/LP	0.59
r : SCP/A	0.30
r : SCP/A + LP	0.48
r : LP/S.P.	0.73
r : SCP/ER	0.24
r : LP/ER	0.012

Fuente : Elaboración propia.

6.4. Precipitación anual

En vista de la importancia de la precipitación se procedió a analizar ésta con más detalle.

El elemento que muestra las mayores diferencias tanto en magnitud como en distribución anual es la precipitación. En la Estación Experimental La Providencia se tienen cantidades anuales de lluvia de 1200 mm. a 1900 mm. (vease Anexo A7) lo cual nos dá una idea de las fluctuaciones que tienen este elemento climático anualmente.

Las cantidades anuales de lluvia en la zona costera central aumentan rapidamente hacia las montañas superando los 2000 mm. de lluvia anual a los 200 metros de altura en Zacatecoluca y en la Estación Entre Ríos (vease Anexo A3).

Considerando la variación de la actividad lluviosa durante el curso del año, constatamos una característica general que en todas las regiones ocurren dos máximos de lluvia, separados entre sí por un pequeño mínimo secundario. El mínimo principal del año ocurre en los primeros meses del año (enero - abril) (23).

En la Estación La Providencia en los meses de enero a marzo se tiene el mínimo principal con valores promedios de lluvia de 21 mm. en los meses siguientes la actividad lluviosa aumenta rapidamente para alcanzar el máximo principal en el mes de junio con valor de lluvia promedio de 307 mm. presentándose en el mes de agosto una disminución de las lluvias y reportando un valor promedio de lluvia de 276 mm. septiembre trae nuevamente un au-

mento en la actividad lluviosa teniéndose en ese mes el máximo secundario. En noviembre y diciembre la actividad lluviosa ha disminuído y es cuando comienza la estación seca (vease promedios de lluvia mensuales en el Cuadro A.7).

En el análisis de resultados es fundamental tener en cuenta que la lluvia a considerar es de 25 y 75% de probabilidad tanto a nivel mensual como decádico, por lo que se considera que se trabajó con un buen margen de seguridad.

En el Cuadro N°7, aparecen los promedios anuales de lluvia para diferentes períodos de años en la planicie costera central.

CUADRO 7. Promedios anuales de lluvia

PROMEDIOS ANUALES DE LLUVIA		
ESTACION	PERIODO	\bar{X} ANUAL LLUVIA
Santa Cruz Porrillo	1977-1987	1736 m.m.
La Providencia	1977-1987	1614 "
Astoria	1971-1979	1715 "
La Providencia + Astoria	1971-1987	1621 "
Entre Ríos	1970-1980	1728 "
San Diego	1970-1987	1624 "

Fuente : Elaboración propia.

A pesar que se trata de períodos diferentes todas las Estaciones situadas alrededor de la costa tienen más o menos el mismo promedio, en especial si se compara la serie Astoria que llega a 1979 y la serie alargada Astoria + La Providencia que llega a 1987 y el promedio de lluvia es de 1621 mm. o sea 100 mm.

menos que la serie Astoria que se introducen por la serie más seca de La Providencia.

Los promedios de lluvia anual de la Estación La Providencia y los de la serie alargada Astoria + La Providencia son consideradas exactamente las mismas entonces la heterogeneidad de la serie alargada resulta ser por monotonía de creciente real hacia años más secos.

- Fluctuaciones

La Figura 3, refleja de acuerdo al registro de lluvia de la Estación Santa Cruz Porrillo que se extiende de 1950 a 1987 que se notan fluctuaciones alrededor del promedio con años alternos húmedos y secos, sin embargo desde 1981 se nota una disminución progresiva en las cantidades de lluvia con una sequía más marcada en el período de 1983 a 1987. Si se compara con la Figura 4 la lluvia anual de Santa Cruz Porrillo con la serie alargada de Astoria + La Providencia se nota la misma tendencia a partir de 1981. En resumen se tiene que el período disponible de estudio para la Estación La Providencia ha caído dentro de un período de precipitaciones anuales disminuidas.

La Figura 5, corrobora la situación antes mencionada teniendo un período de máximas precipitaciones de 1971 a 1981 y períodos más secos antes y después de ese período. Los años más secos han sido en 1972, 1983 y 1987 con cantidades menores a los 1400 mm. En tanto los años lluviosos han sobrepasado los 2000 mm.

6.4.1. Precipitación probabilística mensual

Los valores de lluvia probabilística al 25%, o sea que pueden ser superadas uno de cada cuatro años para La Providencia a nivel mensual para el mes de mayo se tiene un valor de 275 mm. los cuales siguen aumentando en los meses de junio y julio manifestándose una menor precipitación en el mes de agosto de 293mm. En Junio a septiembre pueden esperarse cantidades de lluvia de 413 - 461 mm. que es cuando se considera que se tienen peligro de excesos de lluvia a ese nivel de probabilidad.

La precipitación probabilística promedio al 50% para La Providencia tiene valores mensuales de 145 mm. para el mes de Mayo aumentando en los meses siguientes, obteniéndose un valor de 173 mm. en el mes de agosto con tendencia a disminuir en los siguientes meses hasta obtener un valor de 30 mm. en el mes de noviembre, los valores de precipitación probabilística al 50% son de gran utilidad para determinar balances hídricos promedios de caracter general para la zona base de estudio.

La precipitación probabilística mensual al 75% o sea la precipitación segura en 3 de cada 4 años es mayor de 200 mm. en los meses de julio a septiembre y finaliza con un valor de 22mm. en el mes de noviembre que es cuando finaliza el período lluvioso (vease Cuadro 4). La precipitación probabilística al 75% es un riesgo bastante aceptable para la agricultura de Secano.

6.4.2. Precipitación probabilística decádica

La precipitación probabilística al 25, 50 y 75% a nivel decádico son importantes para evaluar condiciones de disponibilidad hídrica en períodos cortos de 10 días. Los datos decádicos son más utilizados para trabajos en condiciones de Secano (Calendarios agrícolas y pronósticos de cosecha).

El Cuadro N° 8, contiene los datos de probabilidades de lluvia decádica de La Providencia y el Cuadro N° 9 contiene los datos de probabilidades de lluvia de la serie Astoria más La Providencia; los datos de los dos Cuadros antes mencionados quedan mejor representados en las Figuras 6 y 7, que refleja el comportamiento de las dos estaciones.

En la Figura 6, aparecen representadas las probabilidades de lluvia decádicas al 25% de las Estaciones La Providencia, Santa Cruz Porrillo y la serie Astoria + La Providencia. En la gráfica pueden observarse las fluctuaciones de lluvia que tienen ambas estaciones a ese nivel de probabilidad en la 1a. década de mayo se tiene valores de lluvia de 18 mm. para Santa Cruz Porrillo, 44 mm. para la serie Astoria + La Providencia y 66 mm. para La Providencia el comportamiento de las lluvias para las siguientes décadas están por encima o por debajo del comportamiento que tiene la serie de Astoria + La Providencia, es de hacer notar las altas precipitaciones que muestra la Estación Santa Cruz Porrillo, en la 1a. década de agosto se tiene un descenso brusco en el período lluvioso para las tres estaciones llegando a tener un promedio de 67 mm. de lluvia para las tres

estaciones lo cual indica un alto riesgo de canícula en esta década.

En la Figura 7 aparecen representadas las probabilidades de lluvia decádicas al 75% de las mismas estaciones antes mencionadas el período lluvioso a ese nivel de probabilidad comienza en la 1a. década de mayo con un valor promedio de 15 mm. para ambas estaciones, en la 1a. década de agosto se observa el mismo fenómeno que se observó a un nivel de probabilidad del 25% la precipitación muestra una caída brusca en esa década obteniéndose un promedio de 20 mm. a un nivel de 75% de probabilidad indicando un alto riesgo de sequía un peligro para los cultivos en esa época, si los cultivos se encuentran en su fase de floración. En la tercera década de octubre se tiene la finalización de la época lluviosa.

6.5. Determinación del período de cultivo

La determinación de este período se realizó por el método del análisis frecuencial de lluvias y por el método de las cadenas de Markov.

La Figura 8 que representa el análisis frecuencial de lluvia con relación a la evapotranspiración potencial; según los criterios establecidos el período de cultivo se inicia en la 3a. década de mayo y el período lluvioso cuando $PP > ETP$ unos 8 días después, sin embargo este período sufre una pequeña interrupción entre la 1a. y 2a. década de junio que podría ser nocivo al desarrollo inicial del cultivo si no hay reserva de agua en el

suelo lo que será aclarado en el Balance Hídrico. En la 1^a. década de agosto según la información disponible de la Estación La Providencia aparece otra interrupción del período de cultivo durante casi 10 días que es una consecuencia del período de canícula que se presenta en ese mes.

El segundo juego de líneas que representa la probabilidad de ocurrencia de dos décadas consecutivas secas por el método de las cadenas de Markov también se manifiesta en junio y agosto, y curiosamente a fines de septiembre el mismo fenómeno.

En la Figura 9, aparece representada la serie alargada de Astoria + La Providencia y Santa Cruz Porrillo. Debido a la ocurrencia de canícula severas antes de 1976 también se nota un desenso en la 1^a década de julio, para ambas estaciones es coincidente el comienzo del período de lluvia entre la 3^a y 1^a década de mayo y junio respectivamente.

Con la finalización del período de lluvia en la 1^a. década de octubre y el fin del período de cultivo en la 1^a. década de noviembre con lo cual se tiene una duración total de 152 días de período de cultivo desde la siembra a la cosecha con una interrupción de la 1^a. década de agosto en la que no deberán estar cultivos en plena fase de desarrollo. Pero sí puede ser aprovechado para cosecha o siembra de postrera u otros cultivos. Dependiendo de las reservas de agua del suelo, resultante de las características de este, el período de cultivo puede alargarse como se demostrará en el balance hídrico.

Durante el período de cultivo es también importante conocer los lapsos de tiempo en que se presentan 2 y 3 décadas consecu-

tivas húmedas que puedan producir problemas de drenaje, riesgo de enfermedades en los cultivos o dificultades en la cosecha. Esta información nos la proporciona el análisis según las cadenas de Markov para 2 y 3 décadas consecutivas siendo la 2^a, 3^a y 1^a. de los meses de julio, agosto y septiembre para la Estación La Providencia (véase la Figura 10). Un análisis más detallado de los problemas de excesos de agua los dará el balance hídrico a una probabilidad de lluvia del 25%.

6.6. Análisis del período de canícula

El análisis de canícula se analizó tomando dos criterios:

- 1) Tomando en consideración el descenso de las precipitaciones a valores bajo la evapotranspiración potencial (ETP) e incluso ETP/2 antes de esto, el problema de canícula ha sido analizado en otras publicaciones (3, 4, y 14). En el caso de La Providencia se nota un descenso de la lluvia probable en la 1^a. década de julio pero mucho más acentuada en la 1^a. década de agosto que coincide con las fechas de canícula.
- 2) El método de las cadenas de Markov mediante el cual se analizó el período de canícula en la función de la presencia de días o décadas consecutivas secas en la Estación La Providencia este caso se presenta en la 1^a. década de junio con la inseguridad del comienzo del período lluvioso y en la 1^a. década de agosto que significa el comienzo del período de canícula con una probabilidad de 10% la cual se refiere a períodos de 2 décadas o sea 20 días de duración asumiéndose que la frecuencia de

de períodos menores son los más comunes en canículas (vease Figura 8). Esto significa que deberían hacerse estudios con pentadas o incluso con datos diarios que reflejen con mayor exactitud las probabilidades de canículas en períodos más cortos.

El análisis parte, tomando en consideración que 2 ó 3 días con ausencia de lluvia, pueden presentarse regularmente dentro de el período lluvioso y su efecto negativo no será significativo en relación a un número mayor de tres, (4 o más). La presencia de días continuos secos en una década tiene como consecuencia que el total de la precipitación ocurrida sea deficitaria en relación a la (ETP) de la zona o a los requerimientos hídricos de los cultivos para la década en mención.

6.7. Resultados de las unidades de suelos

Las unidades de suelo, extensión, clasificación por capacidad de uso, tipos de textura promedio de cada unidad y la capacidad de retención calculada por medio del triángulo texturial aparecen en el Cuadro N°11.

Las unidades de suelos PR-2 con una extensión de 9.5 has. y una clasificación de uso de IIS, tiene una profundidad de 180 cms. y una capacidad de retención para esa profundidad de 210 mm. de agua, la cual fué determinada según el triángulo texturial, el calcular la capacidad de retención para una profundidad de 100 centímetros que es la profundidad radicular del maíz se obtiene una disponibilidad de agua de aproximadamente de 151 mm. por cada 100 centímetros de profundidad; cuyo valor coincide con

el del Cuadro A.6., que demostró Thornthwaite - Mather en 1957.

Veáse en el literal B para un suelo franco arenoso fino y una profundidad radicular para maíz de 1.00 metros tiene una disponibilidad de agua de 150 mm la cual coincide con el valor encontrado para La Providencia y para una unidad de suelo PR-2 y PR-13. Con lo cual queda comprobado la utilidad de los valores de dicho Cuadro. La Unidad PR-3B, tiene una extensión de 1.9 has y una disponibilidad de agua de 80 mm. por cada 1.00 metros de profundidad y 120 mm. por cada 1.80 metros de profundidad.

La unidad PR-4 tiene una extensión de 13.4 has y 166 mm. de disponibilidad de agua para una profundidad de 1.00 metros y 315,00 mm. para una profundidad de suelo de 200 centímetros.

En la Figura A.4, se presenta las áreas por unidad de mapeo de la Estación Experimental y de Prácticas La Providencia.

6.8. Balance hídrico climático general mensual

El cálculo del balance hídrico general, permite conocer la disponibilidad hídrica de una zona a través del año de acuerdo a las características de precipitación, evapotranspiración y suelos predominantes. Para el cálculo de los balances hídricos generales, se utilizó probabilidades de lluvia al 25 y 75%, así como las texturas de suelos dominantes o representativa de cada área, en particular los balances hídricos con probabilidades de precipitación al 25% representan los excesos de lluvia de la zona.

Los cálculos con probabilidades de precipitación al 75% son indicativos de períodos con baja disponibilidad hídrica (años secos) y son utilizados para el cálculo de las necesidades de agua de las plantas con el fin de determinar los volúmenes necesarios de agua a suplir a determinada área para efectos de diseño y con esto asegurar una cantidad mínima de lluvia para la agricultura de secano. A continuación se detalla en forma analítica los balances generales calculados para la zona La Providencia.

Zona La Providencia

Se calcularon balances al 25 y 75% de probabilidades para suelos de textura, franco, franco arenoso, franco limoso y franco arenoso fino, analizando los cálculos al 25% de probabilidad y una capacidad de retención del suelo que han sido seleccionados de acuerdo a los valores reales agrohidrológicos en lo que se refiere a la retención de humedad del suelo o sea 100 mm. para los límites bajos y 200 mm para los límites altos. En los Cuadros 12 y 13 se detallan los parámetros de los balances hídricos y su representación gráfica aparece en las Figuras 14 y 15.

Con las probabilidades de lluvia al 25% o sea las que se pueden esperar uno de cada 4 años, los suelos con retenciones de 100 mm. manifiestan excesos considerables en los meses de junio • octubre los cuales se mantienen sobre los 100 mm. teniendo el mayor exceso en el mes de septiembre el cual es de 320 mm. Estos excesos también se manifiestan en suelos de 200 mm.

de retención.

En los Cuadros 14 y 15 se detallan los balances hídricos al 75% de probabilidad con una capacidad de retención de 100 y 200 mm. con la representación gráfica en la Figura 16 y 17 y como información adicional el MAI en el Cuadro 14. Con las lluvias probables al 75% existe un fuerte déficit de diciembre a mayo, en junio comienza el llenado del suelo que alcanza su máxima capacidad en los meses de agosto y septiembre. En suelos más profundos el llenado a la máxima capacidad de retención de 200 mm. solo ocurre en el mes de septiembre.

Con las reservas de 100 mm. y respectivamente 200 mm. el agua del suelo está agotada en noviembre y diciembre. La información del MAI refleja la necesidad de drenaje en los meses de junio, julio y septiembre y de los meses de noviembre hasta mayo existe la necesidad de riego suplementario. Sin embargo como se explicó anteriormente los valores a drenar son altos con probabilidades de un 25% y suelos de poca retención de humedad.

En la Figura 11, se representa gráficamente el balance hídrico climático mensual a una probabilidad del 75% la Figura de barras verticales muestra claramente el período de déficit el cual comienza desde el mes de noviembre al mes de mayo, teniendo ligeros excesos de lluvia en los meses de agosto y septiembre de 40-65 mm.

Haciendo uso de la Figura 12, que representa el balance hídrico climático mensual para una probabilidad del 25%, o sea los excesos de lluvia para la Estación La Providencia. Existe un fuerte déficit del mes de diciembre al mes de abril y parte

del mes de mayo. A finales del mes de mayo comienza el llenado del suelo que alcanza su máxima capacidad solo en los meses de junio a septiembre en los que se producen grandes excesos a este nivel de probabilidad.

La Figura 13, que representa el balance hídrico climático mensual para una probabilidad del 75% el cual coincide con el análisis realizado para un 25% de probabilidad con la diferencia que el llenado del suelo comienza en el mes de junio y alcanza su máxima capacidad en los meses de julio a septiembre que es donde se producen ligeros excesos a ese nivel de probabilidad.

6.9. Balance hídrico climático decádico

Para un mejor afinamiento del balance hídrico este se calculó para niveles decádicos con 100 mm. de retención de humedad del suelo y probabilidades de precipitación al 75% por las razones teóricas anteriormente expuestas en donde los valores probabilísticos de lluvia mensual son diferentes a los promedios probabilísticos de las sumas decádicas y por la longitud de la serie las probabilidades de precipitación se presentan bajas en algunas décadas como la 1^a. de agosto que es un indicio del período de canícula. Esto trae como consecuencia los problemas en el llenado del suelo que incluso se agota en el mes de agosto volviéndose a restablecer con las precipitaciones del mes de septiembre que conducen a un llenado que mantienen reservas hasta la 1^a. década de noviembre. A nivel decádico las deficiencias se presentan desde la 2^a. década de noviembre hasta la 2^a.

década de junio y urgentemente en la 1^a. década de agosto, los excesos en septiembre son muy pequeños. No se hace un análisis para 200 mm. de retención de humedad del suelo porque nunca se alcanza a llenar el suelo.

De acuerdo a los datos de MAI a nivel decádico en la 1^a. década de junio a la 1^a. década de octubre se tiene una disponibilidad adecuada de humedad con valores de MAI de 0.9 a 1.20 excepto en la 2^a. década de junio a la 1^a. década de agosto que se necesita riego suplementario con valores de MAI de 0.55 y 0.3 y en la 3^a. década de agosto y la 1^a. década de octubre que existe la necesidad de drenaje con valores de MAI de 2.2 y 1.5 respectivamente. De la 2^a década de octubre a la 3^a. década de mayo las aplicaciones de riego son indispensables siendo los valores de MAI los más bajos en ese período (Vease Cuadro 16).

6.10. Coefficiente de cultivo Kc

Debido a las características generales del presente estudio y en la cual se trata de determinar a nivel detallado las exigencias hídricas de los cultivos del maíz y sorgo. Se optó por aplicar el método de la FAO, para obtener los valores de Kc para los cultivos de maíz y sorgo en sus distintas etapas de desarrollo vegetativo.

Las fases en que se ha dividido el período total de el cultivo son:

a) Fase inicial: Comprende la germinación y crecimiento inicial, cuando la cubierta del suelo está someramente cubierta por

el cultivo. Los valores de K_c durante este período son: 0.4 para maíz y sorgo de variedades mejoradas (ciclo vegetativo de 110 días) y 0.76 para el sorgo criollo (ciclo vegetativo 210 días).

b) Fase de desarrollo del cultivo: Comprende el final de la fase inicial hasta que se llega a una cubierta sombreada efectiva completa (el cultivo alcanza del 70% al 80% de cobertura sobre el terreno). Los valores de K_c durante este período varían desde 0.5 a 0.9 para maíz y sorgo de variedades mejoradas y 0.77 a 0.9 para el sorgo criollo.

c) Fase de mediados del período: Comprende el final de la fase de desarrollo del cultivo; generalmente es el período de floración y formación del fruto, los valores de K_c son los máximos durante este período y varían desde 1.08 a 1.04 para maíz y sorgo de variedades mejoradas y 1.05 para el sorgo criollo.

d) Fases de finales del período: Comprende el final del período de formación de cosecha e inicio del período de maduración. Los valores de K_c tienden a disminuir a partir de este período y van desde 0.55 a 0.5 para maíz y sorgo de variedades mejoradas y 0.5 para el sorgo criollo.

Los valores de K_c anteriormente definidos aparecen representados en las figuras 18 a la 20, las cuales fueron calculadas por la metodología que propone la FAO (13) para los cultivos de maíz y sorgo.

6.1.. Balances hídricos agrícolas del maíz y sorgo

El análisis de los balances hídricos agrícolas con el nivel de probabilidad de precipitación decádica al 75%, se efectuó para los cultivos de maíz y sorgo, tomando en cuenta las fechas principales de siembra, siendo estas las siguientes:

- Tercera década de mayo a la segunda década de septiembre.
- Primera década de junio a la primera década de octubre y la segunda década de junio a la segunda década de octubre.
- Tercera década de junio a la segunda década de octubre.
- Primera década de agosto a la tercera década de noviembre.

De estas cinco fechas únicamente se tomaron dos fechas para la realización del balance hídrico de cultivo estas fechas son: La tercera década de mayo a la segunda década de septiembre y la primera década de agosto a la tercera década de noviembre. Así tenemos que para el cultivo de maíz en un suelo de textura franco arenoso, con una capacidad de retención de 80 a 100 mm. y con una probabilidad de lluvia al 75% en la Estación La Providencia (ver Cuadros 17 al 19).

Los balances hídricos de cultivo presentan pequeños excesos de la 1^a a la 3^a, década de junio a la 1^a, década de agosto a la segunda década de septiembre. Al analizar la fecha de siembra de agosto se presentan pequeños excesos en la 3^a, década de agosto a la 2^a, década de septiembre y en la 1^a, década de octubre y en la 2^a, y 3^a, década de noviembre se tienen pequeños déficit por lo que es necesario aplicar riego suplementario.

Los balances hídricos de sorgo que se presentan en los Cua

dros 20 y 22. En general se puede decir que el suelo de la zona tiene condiciones hídricas adecuadas para el desarrollo del cultivo de sorgo, exceptuando la época en que la siembra se hace en la 2^a. década de junio para sorgo criollo cuyo ciclo vegetativo es de 210 días ya que se presentan déficit en cinco décadas consecutivas que comprenden desde la 2^a. década de noviembre a la 3^a. década de diciembre por lo que es necesario aplicar riego suplementario en ese período.

Los balances hídricos de cultivo de sorgo para variedades mejoradas presentan pequeños excesos en la 1^a. década de julio y de la 3^a. década de agosto a la 2^a. década de septiembre (vease Cuadro 21). La otra fecha de siembra programada para la 1^a. década de agosto el suelo satisface las necesidades hídricas del cultivo de maíz excepto para la 2^a. y 3^a. década de noviembre donde se tienen pequeños déficit de 30 y 20 mm. que resultan ser insignificantes. (véase Cuadro 22).

6.12. Resultados de los rendimientos potenciales de los cultivos del maíz y sorgo para la Estación La Providencia.

Para la estimación de los rendimientos potenciales de los cultivos del maíz y sorgo en la región se utilizó el método desarrollado por J. H. Chang, el cual utiliza como variantes la radiación y brillo solar, temperatura media en grados centígrados y un índice de cosecha que indica el porcentaje que es cosechado de la planta en relación a la materia seca total producida. Los índices de cosecha para maíz y sorgo son de 0.4 y 0.35

respectivamente los cuales fueron tomados del Cuadro del Anexo A:5.

Los rendimientos obtenidos mediante el cálculo anterior para los cultivos seleccionados en distintas épocas de siembra se aprecian en el Cuadro 23.

Los rendimientos potenciales obtenidos, representa valores muy por encima de los obtenidos en la región, lo que indica el nivel de riesgo que representa la agricultura de Secano aún y cuando los rendimientos potenciales presentan las condiciones excelentes de cultivo (agua, clima, suelo y manejo cultural).

En la zona se tienen rendimientos promedios de 77 - 88 qq/ha para el cultivo de maíz y de 63 - 77 qq/ha, para el cultivo del sorgo, los cuales son obtenidos bajo distintas condiciones de manejo, pero que a la vez son representativos del grado o nivel de producción prevalecientes en dicha zona.

CUADRO 23. Rendimientos potenciales de los cultivos maíz y sorgo para la zona La Providencia.

CULTIVO	Fecha de siembra	Ciclo Vegetativo	RENDIMIENTO	
			F2/ha	qq/ha
M A I Z	3 ^a .dec.Mayo	110 días	7,958 Kg/ha.	175.1 qq/ha.
	2 ^a .dec.Junio	110 días	7,309 Kg/ha.	160.8 qq/ha.
	3 ^a .dec.Junio	110 días	7,390 Kg/ha.	162.6 qq/ha.
	1 ^a .dec.Agosto	110 días	7,503 Kg/ha.	165.1 qq/ha.
S O R G O	2 ^a .dec.Junio	210 días	12,335 Kg/ha.	271.4 qq/ha.
	3 ^a .dec. Mayo	110 días	6,027 Kg/ha.	132.6 qq/ha.
	2 ^a .dec.Junio	110 días	6,371 Kg/ha.	140.2 qq/ha.
	3 ^a .dec.Junio	110 días	6,434 Kg/ha.	141.5 qq/ha.
	1 ^a .dec.Agosto	110 días	6,521 Kg/ha.	143.5 qq/ha.

Fuente : Elaboración propia.

6.13. Epoca de siembra óptima y calendarios agrícolas

Los períodos más adecuados de siembra para la zona La Providencia bajo condiciones de secano, estarán en función de la disponibilidad hídrica de los suelos, lo cual dependerá del régimen de precipitación dominante y la capacidad del almacenamiento de agua en los mismos (suelos). También es un factor influyente en la determinación de los calendarios agrícolas la exigencia de agua por parte de las plantas durante su período de desarrollo total (siembra a cosecha).

El período agrícola bajo condiciones de secano se extiende en forma general desde la tercera década de mayo hasta la segunda década de noviembre que es cuando el suelo tiene todavía reservas hídricas que satisfacen las necesidades hídricas de los cultivos.

Para la determinación de los mejores calendarios agrícolas se calcularon balances hídricos agrícolas y se determinó la fecha óptima de siembra por medio del análisis frecuencias de lluvia, simulando distintas épocas de siembra durante el año para los cultivos seleccionados, desplazando el abaco a lo largo del período de cultivo. Los períodos en donde las máximas necesidades de agua del cultivo no son cubiertas satisfactoriamente así como las fechas donde existen excesos de lluvia en la época de cosecha y cuando la floración coincide con el período de riesgo de canícula, han sido consideradas como épocas no recomendables para la siembra, debido a la consecuencia negativa que origina.

El Cuadro 24, es indicativo de los períodos más adecuados de siembra para los cultivos de maíz y sorgo en estudio. El cuadro en referencia es de carácter general para la zona de la Estación La Providencia y aplicable a las zonas donde las condiciones son aptas para la explotación de los cultivos en particular. Efectuando un análisis detallado para los cultivos de maíz y sorgo surgen cuatro épocas que se consideran las más apropiadas para la siembra y dentro de éstas se encuentra la fecha óptima de siembra.

El maíz y sorgo pueden ser sembrados en la 3^a. década de mayo que es la considerada como la fecha óptima de siembra ya

que no se presentan problemas en el balance hídrico, ni problemas de canícula en la floración y en la cosecha se tienen buenos rendimientos potenciales tanto para el cultivo de maíz como para el cultivo del sorgo.

La 1^a. década de junio no se consiera para efectuar la siembra de los cultivos por caer la floración en el período de canícula. En la 2^a. década de junio en esta época de siembra se tiene problemas con el balance hídrico ya que se presentan 5 décadas consecutivas con deficiencia de agua pero solo para la siembra del cultivo de sorgo criollo que tiene un ciclo vegetativo de 210 días. Las variedades mejoradas no presentan este problema, pero si presentan peligro de canícula en el período de floración el cual puede ser superado con riego suplementario. La fecha de siembra en la tercera década de junio, presenta también un ligero problema de canícula que puede ser superado si el suelo tiene reservas de agua ya que el problema se presenta al inicio del período de floración.

La siembra en la 1^a. década de agosto presenta problemas en el balance hídrico ya que se tienen ligeros deficit en la fase de finales del período de formación de cosecha del cultivo en donde las necesidades hídricas son bajas, lo cual no representa un problema grave de deficit ya que la producción se tiene asegurada. Además la fecha de cosecha se sale del período de cultivo con lo cual queda demostrado que el período de cultivo se alarga de acuerdo a las reservas hídricas disponibles que tenga el suelo.

Cuadr. 24. Período de siembra bajo condiciones de secano en la Estación La Providencia.

ELEMENTOS CONSIDERADOS PARA DETERMINAR LA FECHA OPTIMA DE SIEMBRA				
FECHA DE SIEMBRA	BALANCE HIDRICO	PERIODO DE CANICULA	COSECHA	PRODUCCION POTENCIAL
III década de mayo	No hay problema	No hay problema	No hay problemas de excesos de lluvia	132 qq/ha sorgo 175 qq/ha maíz.
II década de junio	No hay problema*	Ligero problema de canícula.	No hay problema de excesos de lluvia.	140 qq/ha sorgo 219 qq/ha sorgo crío llo. 160 qq/ha maíz.
III década de junio	No hay problema	No hay problema	Hay ligero problema de déficit.	141 qq/ha sorgo 162 qq/ha maíz
I década de agosto.	No hay problema**	No hay problema	No hay problema por excesos de lluvia.	143 qq/ha sorgo 165 qq/ha maíz

Fuente : Elaboración propia.

* Existen problemas en el balance hídrico ya que se presentan 3 décadas consecutivas de deficiencia de agua pero sólo para la siembra de sorgo criollo de 210 días de ciclo vegetativo, las variedades mejoradas no tienen ese problema.

** Se tiene un ligero déficit en la fase de finales del período de formación de cosecha del cultivo en donde las necesidades hídricas son bajas, lo cual no representa un problema grave de déficit ya que la producción se tiene asegurada.

7. CONCLUSIONES

1. A través de este trabajo se ha creado una base de datos clim
atológicos de la Estación La Providencia que están disponi
bles para cualquier otro trabajo de investigación que invo-
lucre estos aspectos.

2. Se ha demostrado que el tratamiento en base a datos mensua-
les solo da una primera aproximación que puede ser peligro-
sa al querer concluir para períodos más cortos como son las
décadas que se presentan más exacto los eventos meteorológi
cos y su influencia en los procesos biológicos agrícolas.

3. Se encontró que la zona representativa desde el punto de
vista climático se extiende paralelo a la costa y no hacia
el interior del país y que es una zona relativamente seca
del litoral costero con precipitaciones de 1600 mm.
 - 3a. Los elementos climáticos como precipitación y tempera
tura, ejercen una influencia directa sobre la adapta-
bilidad de los cultivos y son condicionantes en cuanto
a la explotación de otras especies que son susceptibles
a los rangos dominantes en la región.

 - 3b. La calidad y tipo de suelo permite la explotación de
una gran diversidad de cultivos, pero su aprovechamient
o es temporal, debido a la limitante hídrica en cuan-

to a capacidad de retención del suelo.

4. El régimen térmico resulta desventajoso para muchos cultivos debido a las altas temperaturas nocturnas que son alrededor de 23°C; por otro lado la influencia del mar no permite excesivos calentamientos durante el día como en los valles interiores.
 - 4a. Desde el punto de vista térmico el área cae dentro del subóptimo por temperaturas medias mensuales relativamente altas sobre 26°C para el cultivo del maíz y óptimo para el cultivo de sorgo.
5. Se pudo determinar el período de cultivos y el período de lluvias entre las fechas: El período de cultivo inicia la 3^a década de mayo y finaliza la 1^a década de noviembre y el período de cultivo inicia en la 3^a década de mayo y finaliza la 3^a década de octubre.
6. Debido a las diferencias edafológicas puede resultar ventajas o desventajas de acuerdo a la capacidad de retención del suelo que en general asume 100 mm. de capacidad de retención y en suelos más profundos 200 mm.
7. Las pocas diferencias entre la ETP y la lluvia sobre todo al 75% de probabilidad pueden fácilmente provocar estres hídrico ya que el suelo en gran parte del período de cultivo no está saturado.
8. Se determinó un moderado peligro de canícula a principio de

julio y uno más fuerte en la primera década de agosto. Este último puede ocasionar una interrupción del período de lluvias que puede ser aprovechado para una 2^a. siembra si se siembra oportunamente en primera otro cultivo.

9. Este trabajo se limitó a calendarizar el cultivo del maíz y sorgo; sin embargo la información disponible permite hacerlo para otros cultivos para lo cual se sugiere seguir la misma metodología.
- 9a. La época de siembra más recomendable es la 3^a. década de mayo por no presentar riesgos de canícula ni deficiencias y excesos de lluvia obteniéndose una cosecha con un rendimiento relativamente elevado para ambos cultivos.
10. El método de balance hídrico utilizado es el más sencillo pudiéndose utilizar otros que necesitan de mayor soporte de cómputo electrónico.
11. En este trabajo solo se consideraron los efectos climáticos directos, se está conciente que los efectos indirectos como plagas, enfermedades, acame, etc. que afectan los cultivos y los efectos sobre los procesos agronómicos son a veces más determinantes.
12. El período de estudio de 1970 en adelante cae dentro de un

ciclo de años secos. Por lo tanto los resultados son entonces válidos para períodos más favorables de lluvia.

13. Bajo ciertas condiciones la serie Astoria más La Providencia puede considerarse como una sola.
14. Si se atiende la fecha de siembra recomendada que es la 3^a. década de mayo para el maíz y sorgo, todavía quedan días del período de cultivo para sacar cosecha de otro tipo de cultivo.
15. Si no se aprovecha la 3^a. década de mayo para sembrar hay que esperar la 2^a. década de junio con una reducción de 10 qq/ha en la cosecha y con riesgos de canícula.

8. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere utilizar esta información para calendarizar otros cultivos que se adapten a las condiciones climáticas sobre todo de temperatura, humedad relativa y viento.
2. Se recomienda que se realicen estudios de lluvias a nivel diario para evaluar el efecto de canícula.
3. Se recomienda utilizar otros métodos para determinar el balance hídrico.
4. Se deben realizar estudios detallados de la temperatura del suelo.
5. Se debe estudiar el viento con más detalle y se recomienda instalar anemografo en la Estación La Providencia.
6. Se recomienda emplear otras metodologías para el cálculo de los rendimientos potenciales. (Puede utilizarse el método de la FAO).
7. Se debe asegurar riego para evitar problemas por irregularidad del inicio de lluvias y canícula.
8. Se recomienda realizar la zonificación agroclimática de la planicie costera central.

9. Este estudio debe integrarse en otras investigaciones como suelos, protección vegetal, fitotecnia y otras áreas afines para que sea analizado en una forma global.

9. BIBLIOGRAFIA

1. ALMENDARES, H. E. 1985. Zonificación agroclimática de Honduras. Hond. Secretaría de Recursos Naturales, Dirección General de Recursos Hídricos, Tomo I Región Sur p.
2. ARCE, B. J. 1978. Los factores climáticos en el proceso de producción agrícola. Turrialba, C. R. CATIE. p 29-46 Mimeografiado.
3. ALMENDARES, H. E. 1983. Análisis de período intermedio seco o canícula que se presenta en la región en época de invierno. Hond. Secretaría de Recursos Naturales Dirección General de Recursos Hídricos p. 21
4. BORJA, G. L. 1984. Estudio de las fechas de iniciación y finalización de la temporada de lluvias y canículas en Tegucigalpa. Hond. Servicio Meteorológico Nacional. p. 64.
5. BEHACCHIO, S.S. 1982. Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. Maracay Venez. p. 25-33.
6. BERGANZA, P.R.S. 1978. Cuando sembrar?, El Salvador. Tesis Ing. Agr. San Salvador, Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Agronómicas. 48 p.
7. CATIE. (El Salv.) 1986. Sistema de producción de granos básicos en Centro América. Una metodología para definir áreas aptas para tecnologías agronómicas. El Salv. Informe técnico N°65 p 15-63.

8. CAMACHO, H. R. 1985. Determinación de fechas límites de siembra para los cultivos de sorgo y ajonjolín en la zona de Choluteca. Tegucigalpa, Hond. Recursos Naturales de Tegucigalpa. 16 p.
9. CENTA. (El Salv.) 1986. Alternativas de manejo para el sistema maíz y maíz + sorgo jocoro, El Salvador; descripción y validación de fincas pequeñas. San Andrés, La Libertad, El Salv. Información y documentación. 87 p.
10. CATIE (El Salv.) 1981. Sistemas de producción de granos básicos en Centro América. Turrialba, C. R. Serie Técnica N° 161 P 31-63.
11. CATIE (El Salv.) 1981. Candelaria de La Frontera diagnóstico de la región. San Salvador, El Sav. serie técnica N° 1 P 13-19.
12. DENYS, J. R.; BOURNE, W. C. 1962. Levantamiento General de suelos de la República de El Salvador: cuadrante 2356 II, Río Jíboa. Nueva San Salvador, El Salv. Dirección General de Investigaciones Agronómicas. Esc. 1:50,000. Color.
13. FAO (Roma) 1980. Pronóstico de cosecha, basada en datos agrometeorológicos, producción y protección vegetal. Roma. NP 17 P 120-158.
14. FLORES, P. D. 1985. Disponibilidad de humedad en el suelo por medio del método del balance hídrico. San Salvador. El Salv. SEMEA P 14-29.

15. GUZMAN, G.T. 1979. La canícula interestival en El Salvador. Turrialba, C. R. CATIE. P. 40-51.
16. GUZMAN, M. O.; BASTO, B.L.C.: 1984. Estudio agroclimático de la cuenca del río Ariari, Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y adecuación de tierras Bogotá, Colombia. HITMAT publicación periódica P 31-49.
17. GUZMAN, G. T. 1986. Caracterización del clima en las áreas del sistema maíz-sorgo-vigna en El Salvador y Guatemala. San Salvador. El Salv., CATIE. P 16-20.
18. HANCOCK, J. K.; HILL, R.W.; HARGREAVES, G. H. 1978. Precipitación probabilities, Climate and Agricultural potential for El Salvador. S.L. S.N. P.
19. MURRAY, R.S. 1976. Teoría y problemas de estadística, teoría de la correlación. Colombia, Mc Granw-Hill. P 241-250.
20. ROJAS, E. D. 1985. Estudio agroclimático de Costa Rica. San José, C. R. IICA. Serie de publicaciones Miscelaneas N° 677. P 19-29.
21. RODRIGUEZ, G.O.R. 1985. Estudio agroclimático del sector de la Masica con fines de drenaje, Honduras. Tesis Ing. Agr. La Ceiba, Atlántica, Universidad Autónoma de Honduras, Facultad de Ciencias Agrícolas. 90 p.

A N E X O S

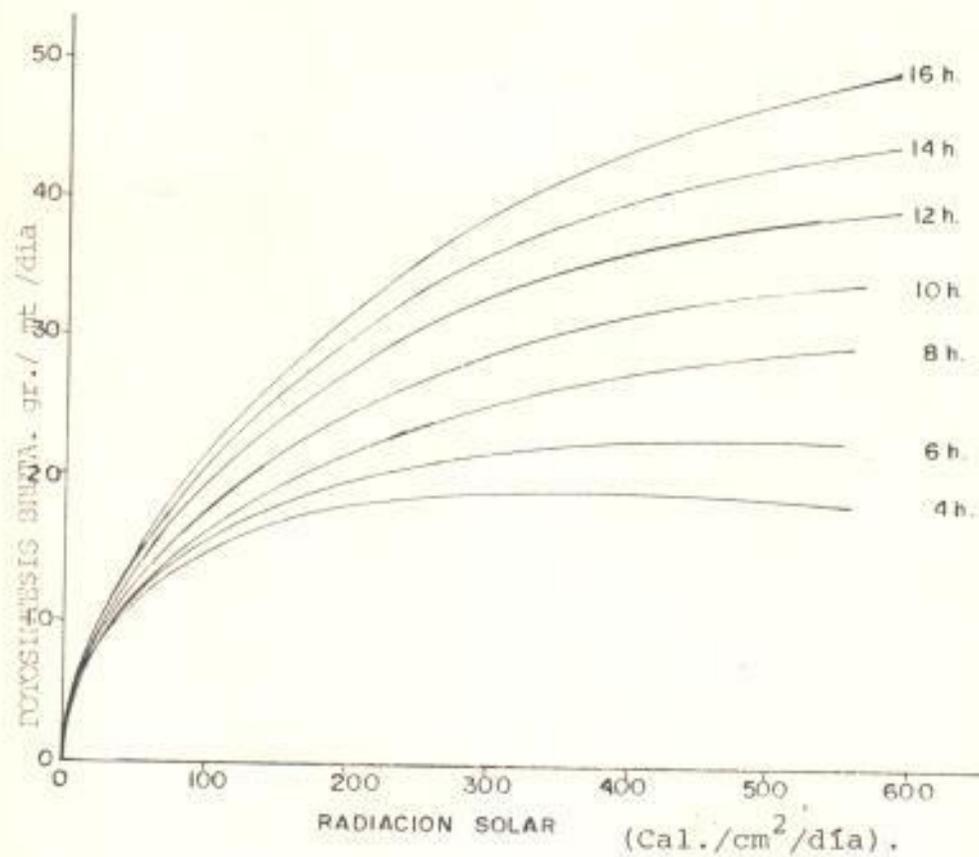


Figura A.1. Fotosíntesis bruta en función de la radiación solar y horas de brillo solar por día.

Fuente : Zonificación agroclimática de Honduras. Dirección General de Recursos Hídricos.

Cuadro A.1. RA Hemisferio del Norte.

Lat N	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D -
50°	3.81	6.10	9.41	12.71	15.76	17.12	16.44	14.07	10.85	7.37	4.49	3.22
48°	4.33	6.60	9.81	13.02	15.88	17.15	16.50	14.29	11.19	7.81	4.99	3.72
46°	4.85	7.10	10.21	13.32	16.00	17.19	16.55	14.51	11.53	8.25	5.49	4.27
44°	5.30	7.60	10.61	13.65	16.12	17.23	16.60	14.73	11.87	8.69	6.00	4.70
42°	5.86	8.05	11.00	13.99	16.24	17.26	16.65	14.95	12.20	9.13	6.51	5.19
40°	6.44	8.56	11.40	14.32	16.36	17.29	16.70	15.17	12.54	9.58	7.03	5.68
38°	6.91	8.98	11.75	14.50	16.39	17.22	16.72	15.27	12.81	9.98	7.52	6.10
36°	7.38	9.39	12.10	14.67	16.43	17.16	16.73	15.37	13.08	10.59	8.00	6.62
34°	7.85	9.82	12.44	14.84	16.46	17.09	16.75	15.48	13.35	10.79	8.50	7.18
32°	8.32	10.24	12.77	15.00	16.50	17.02	16.76	15.58	13.63	11.20	8.99	7.76
30°	8.81	10.68	13.14	15.17	16.53	16.95	16.78	15.68	13.90	11.61	9.49	8.31
28°	9.29	11.09	13.39	15.26	16.48	16.83	16.68	15.71	14.08	11.95	9.90	8.79
26°	9.79	11.50	13.65	15.34	16.43	16.71	16.58	15.74	14.26	12.30	10.31	9.27
24°	10.20	11.89	13.90	15.43	16.37	16.59	16.47	15.78	14.45	12.64	10.71	9.73
22°	10.70	11.30	14.16	15.51	16.32	16.47	16.37	15.81	14.64	12.98	11.11	10.20
20°	11.19	12.71	14.41	15.60	16.27	16.36	16.27	15.85	14.83	13.31	11.61	10.68
18°	11.60	13.02	14.60	15.62	16.11	16.14	16.09	15.79	14.94	13.58	12.02	11.12
16°	12.00	13.32	14.69	15.64	15.99	15.92	15.91	15.72	15.04	13.85	12.43	11.57
14°	12.41	13.62	14.89	15.65	15.83	15.70	15.72	15.65	15.14	14.12	12.84	12.02
12°	12.82	13.93	15.08	15.66	15.67	15.48	15.53	15.58	15.24	14.38	13.25	12.47
10°	13.22	14.24	15.26	15.68	15.51	15.26	15.34	15.51	15.34	14.66	13.56	12.88
8°	13.58	14.50	15.34	15.60	15.29	14.99	15.09	15.39	15.34	14.81	13.86	13.27
6°	13.94	14.76	15.42	15.51	15.07	14.71	14.85	15.23	15.34	14.96	14.17	13.66
4°	14.30	15.01	15.50	15.43	14.85	14.44	14.59	15.07	15.34	15.11	14.48	14.05
2°	14.65	15.26	15.59	15.34	14.63	14.17	14.33	14.91	15.34	15.27	14.79	14.44
0°	15.00	15.51	15.68	15.26	14.41	13.90	14.07	14.75	15.34	15.42	15.09	14.83

Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Recursos Naturales Renovables, Servicio Meteorológico de El Salvador.

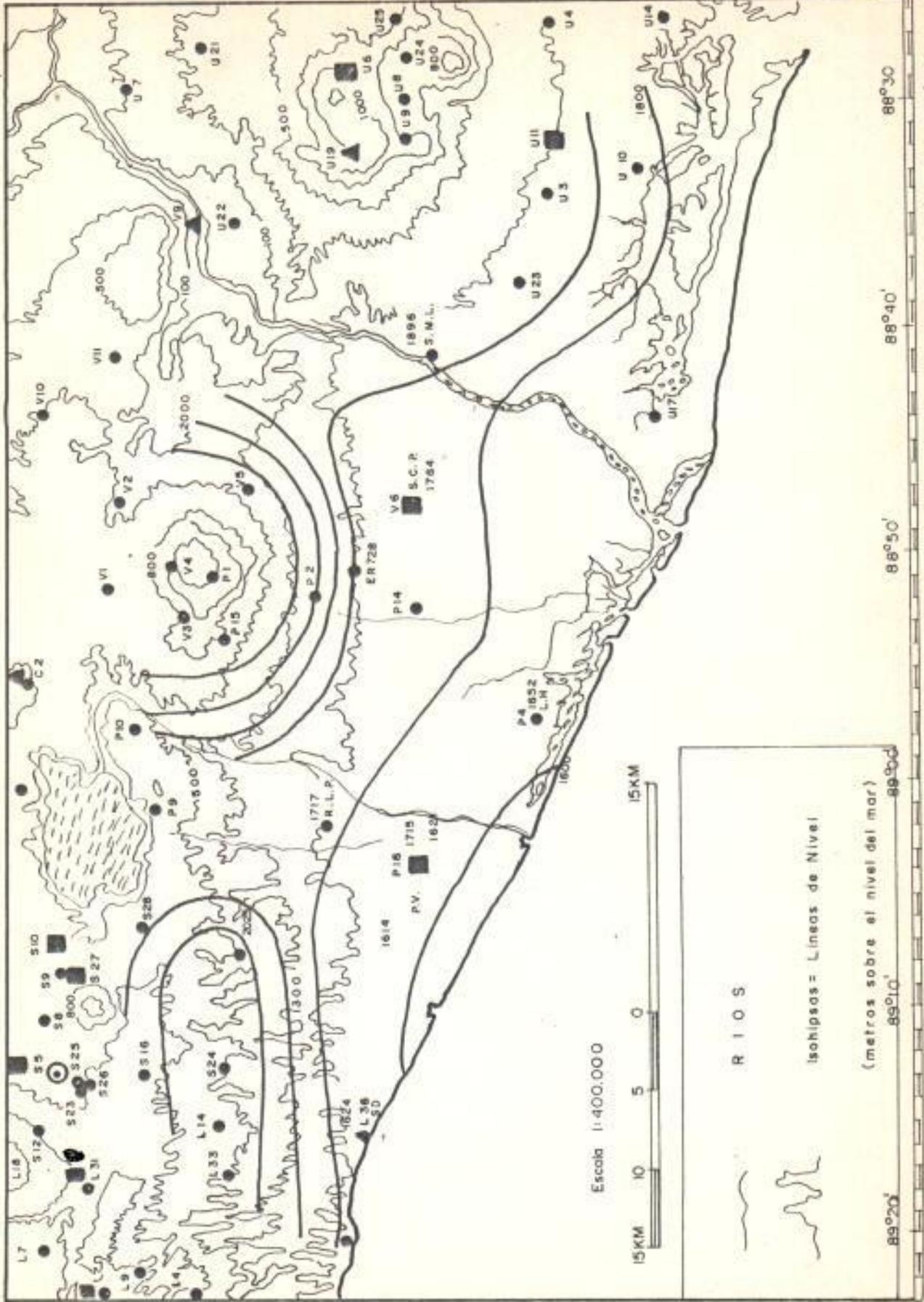


Figura A.3. Mapa General de la Zona de Estudio. Fuente: Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Recursos Naturales, Servicio Meteorológico, El Salvador.

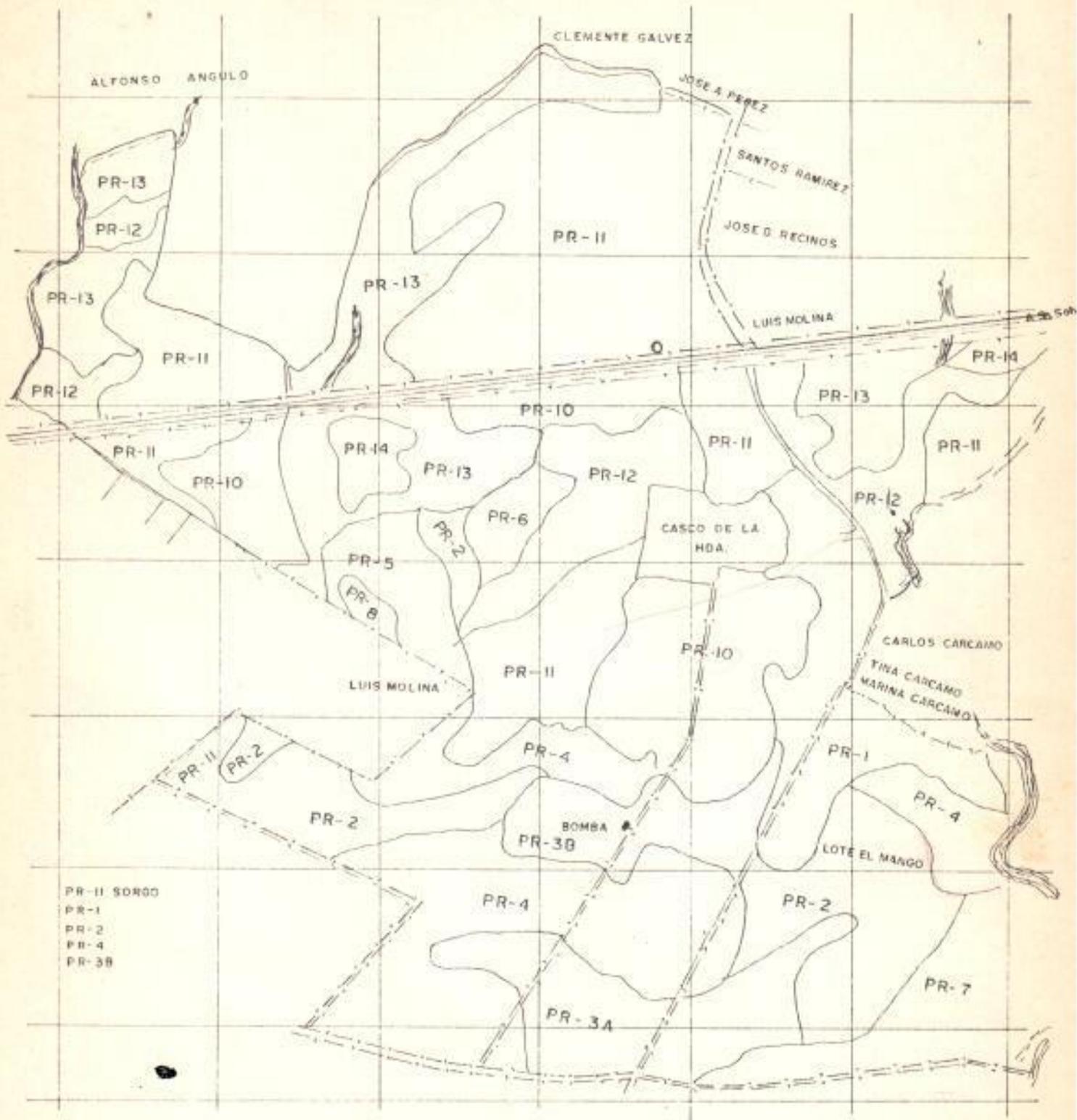


Figura A.4. Unidades de suelo de la Estación La Providencia.

Fuente: Estudios básicos de Suelos de la Estación Experimental y de Prácticas La Providencia, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Suelos.

Cuadro A. Índice de cosecha (CH) de variedades de alta producción bajo riego. (Sobre la base de peso seco).

CULTIVO	PRODUCTO	INDICE DE COSECHA
- Frijol	grano	0.25 - 0.35
- Col (repollo)	Cabeza	0.6 - 0.7
- Algodón	Hilaza	0.08 - 0.12
- Cacahuete	Grano	0.25 - 0.35
- Maíz	Grano	0.35 - 0.45
- Cebolla	Bulbo	0.7 - 0.6
- Guisante	Grano	0.3 - 0.4
- Pimentón (chile dulce)	Fruto	0.2 - 0.4
- Piña	Fruto	0.5 - 0.6
- Papa	Tubérculo	0.55 - 0.65
- Arroz	Grano	0.4 - 0.5
- Sorgo	Grano	0.3 - 0.4
- Soya	Grano	0.3 - 0.4
- Remolacha (Azucarera)	Azúcar	0.35 - 0.45
- Caña de Azúcar	Azúcar	0.2 - 0.3
- Girasol	Semilla	0.2 - 0.3
- Tabaco	Hoja	0.5 - 0.6
- Tomate	Fruto	0.25 - 0.35
- Trigo	Grano	0.35 - 0.45
- Alfalfa	Heno	0.4 - 0.5

Fuente: Zonificación Agroclimática de Honduras. Dirección General de Recursos Hídricos.

Cuadro A.6. Capacidad provisional de almacenaje de agua en diferentes combinaciones de suelo y vegetación (Según Thornthwaite-Mather, 1957).

Tipo Suelo	Zona Radicular (m)	Disponibilidad de agua (mm)
a) espinacas, arvejas, remolachas, zanahorias, etc.		
A - arena fina	0.50	50
B - franco arenoso fino	0.50	75
C - franco limoso	0.62	125
D - franco arcilloso	0.40	100
E - arcilloso	0.25	75
b) maíz, algodón, tabaco, cereales, granos.		
A - arena fina	0.75	75
B - franco arenoso fino	1.00	150
C - franco limoso	1.00	200
D - franco arcilloso	0.80	200
E - arcilloso	0.50	150
c) alfalfa, pastos, arbustos		
A - arena fina	1.00	100
B - franco arenoso fino	1.00	150
C - franco limoso	1.25	250
D - franco arcilloso	1.00	250
E - arcilloso	0.67	200
d) montes frutales		
A - arena fina	1.50	150
B - franco arenoso fino	1.67	250
C - franco limoso	1.50	300
D - franco arcilloso	1.00	250
E - arcilloso	0.67	200
e) bosques desarrollados		
A - arena fina	2.50	250
B - franco arenoso fino	2.00	300
C - franco limoso	2.00	400
D - franco arcilloso	1.60	400
E - arcilloso	1.17	350

Fuente: Pronóstico de cosecha. FAO, 1980.

Cuadro A.7. Promedio de lluvia de la Estación La Providencia -

Nº	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
1977			3.1	17.6	248.8	699	130	291.2	104.4	253.9	113.7	6.4	1868.04
1978			7.8	24.3	201.2	412.7	288.5	395.6	361	259.9	22.0	20.5	1993.56
1979			28.2	60.2	129.8	298.7	355.9	228.6	432.6	253.9	87.4		1825.32
1980	33.0			1.3	286.2	456.1	312.4	422.9	276.4	146.8	38.6		1973.76
1981			99.9	56.0	102.6	284.1	315.7	293.7	207.6	255.1	30.5		1645.2
1982	25.5	11.4		18.5	275.3	294.7	272.7	165.4	450.9	132.4	40.2	2.1	1689.12
1983		0.2	12.8	15.5	46.9	147.1	238.0	198.0	214.6	306.5	46.4	10.9	1231.92
1984		2.6		7.1	145.3	246.5	386.7	220.2	189.6	170.0	42.1		1410.12
1985			38.2	68.7	60.4	160.0	268.4	273.0	243.9	248.1	149.8		1510.56
1986					23.6	365.3	150.2	206.3	263.4	124.3	22.7		1362.24
1987	0.2		42.9		110.7	223.0	492.5	289.7	277.7	12.1	2.3	5.6	1456.68
X	58.7	14.2	232.9	292.8	1898.6	3372.1	3267.1	3036.7	2965.1	2163.0	545.7	45.5	
	5.33	1.29	21.17	26.6	172.6	306.5	297.0	276.0	269.6	196.6	49.6	4.1	

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro A.8. Promedios de temperatura del factor TMF en °F de la Estación La Providencia.

Nº	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
1977	25.5	26.4	27.2	28.4	26.7	26.5	25.0	26.3	26.0	26.4	26.2	25.5	26.5
1978	25.3	25.9	27.0	27.8	27.8	26.9	26.0	26.4	25.6	25.9	26.4	25.9	26.4
1979	25.2	26.2	27.3	27.6	27.3	26.6	26.9	26.5	25.4	25.7	26.1	26.3	26.4
1980	25.7	26.0	26.7	28.2	27.7	27.2	27.0	26.5	26.2	26.2	26.1	26.3	26.6
1981	25.0	26.9	26.9	28.0	27.6	26.3	26.7	26.1	26.2	26.1	25.8	25.9	26.4
1982	25.9	26.8	27.1	27.8	26.6	26.6	26.8	27.2	25.9	26.1	25.3	26.0	26.5
1983	26.1	26.3	26.9	28.2	28.9	27.8	27.4	27.6	27.2	26.0	25.8	25.8	26.9
1984	23.5	26.6	25.6	27.7	26.7	26.6	25.9	26.2	25.2	26.0	25.1	26.0	25.9
1985	24.5	26.1	27.1	27.6	27.1	26.8	26.2	26.0	26.0	25.6	25.2	25.8	26.1
1986	26.0	25.0	26.3	27.3	27.1	27.0	26.7	26.6	26.2	26.2	26.3	26.2	26.4
1987	25.9	26.0	27.2	28.4	28.4	27.4	27.0	27.3	26.9	27.8	27.5	27.3	27.2
X	278.6	288.2	295.3	307.0	301.9	295.7	293.6	292.7	286.6	288.0	285.8	287.0	
TMF °F	77.54	79.16	80.24	82.22	81.32	80.24	79.88	79.88	78.8	78.9	78.8	78.8	78.8

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A.9. Recorrido del viento en kms/día y TMS/seg, de la Estación La Providencia.

Nº	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
1988	116.63	128.22	116.85	89.63	71.39	67.8	66.43	57.47	52.81	66.92	50.66	87.40	81.0
1987	141.29	129.68	89.68	115.56	86.99	60.91	65.86	66.77	54.19	80.60	91.26	91.12	89.5
1986	146.38	90.49	170.25	104.34	85.99	77.39	71.49	69.99	69.01	64.88	68.13	90.37	92.4
1985	105.82	121.72	118.48	91.26	80.11	75.47	71.88	64.12	59.35	60.32	60.42	86.01	82.9
1984													
1983	125.75	87.70	89.14	79.30	78.65	61.15	63.35	71.34	62.06	52.16	50.43	76.90	74.6
1982	92.80	108.32	112.28	100.94	84.30	66.13	67.41	69.22	68.58	60.00	90.48	93.02	84.5
1981	144.75	134.34	93.39	94.53	74.41	66.02	72.20	62.28	61.79	66.94	79.33	88.79	86.6
1980	117.63	144.83	120.72	127.16	91.30	76.81	83.16	73.96	69.30	61.64	81.43	156.27	100.4
1979	146.28	162.8	145.24	119.05	98.49	91.09	82.0	75.55	80.72	70.10	97.35	121.09	107.4
\bar{X} (KMS/DIA)	126.4	123.1	117.3	102.1	83.5	71.4	73.5	67.9	64.1	64.8	74.4	99.0	
\bar{X} (MTS/SBG)	1.5	1.4	1.4	1.2	1.0	0.8	0.9	0.8	0.7	0.8	0.9	1.1	

Fuente : Elaboración propia.

Cuadro A.10. Evaporación en milímetros de la Estación La Providencia.

Nº	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
1987	7.2	7.4	7.0	7.2	5.1	2.9	2.7	3.1	2.4	5.1	5.9	5.8	5.2
1986													
1985	6.2	7.3	6.7	5.4	3.7	3.4	3.2	2.6	2.4	2.1	2.6	4.6	4.2
1984													
1983	6.6	5.7	5.7	5.2	4.8	3.5	3.7	3.9	2.5	2.4	2.7	4.5	4.3
1982	5.7	6.6	6.3	5.4	2.7	2.6	3.5	3.6	2.5	3.1	4.7	5.8	3.9
1981	7.4	8.3	5.6	6.1	3.1	2.0	2.9	2.4	2.4	2.7	4.6	4.9	4.4
1980	5.4	7.9	6.7	6.9	3.5	3.2	3.0	2.7	2.4	2.3	4.0	7.6	4.6
1979	6.7	7.9	7.5	5.7	4.1	3.1	3.4	2.9	1.9	2.1	4.3	6.0	4.6
1978	5.3	7.8	7.5	6.2	5.1	3.6	3.3	2.8	2.3	2.9	4.1	5.5	4.7
\bar{X}	8.0	7.4	6.6	6.0	4.0	3.0	3.2	3.0	2.4	2.8	4.1	4.9	

Fuente : Elaboración propia.

Anexo 11. Temperatura máxima promedio en °C de la Estación La Providencia.

Nº	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
1977	20.3	21.0	21.9	23.7	22.9	22.4	22.3	21.9	22.7	22.3	21.6	20.9	
1978	20.6	21.6	22.2	23.8	23.8	23.2	22.1	22.5	22.4	22.0	22.0	21.4	
1979	20.4	21.6	22.9	25.4	23.6	23.2	23.0	22.5	22.7	22.8	21.8	21.2	
1980	21.3	21.1	21.8	23.8	24.0	23.1	22.6	22.3	22.5	22.4	21.7	21.0	
1981	20.0	21.7	22.4	23.1	23.8	22.9	22.2	22.4	22.3	22.3	21.3	21.3	
1982	21.0	22.3	21.9	23.5	23.5	22.9	22.4	22.7	22.4	22.5	22.1	21.9	
1983	22.0	22.3	22.6	24.5	25.4	24.1	23.5	23.6	23.0	22.9	22.2	21.5	
1984													
1985	20.1	21.4	22.8	23.5	23.4	23.2	22.0	22.2	22.5	22.7	21.0	20.6	
1986	21.3	21.2	21.6	23.0	24.0	23.1	22.7	22.8	23.0	22.8	22.2	21.5	
1987	21.3	21.8	23.2	24.5	24.6	24.5	23.4	23.4	23.7	23.4	22.8	22.7	
\bar{X}	20.8	21.6	22.3	23.7	23.9	23.3	22.6	22.6	22.7	22.6	21.9	21.4	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro A.12. Temperatura mínima promedio en °C de la Estación La Providencia.

Nº	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	TOTAL ANUAL
1977	33.8	34.2	34.5	34.9	31.9	31.9	33.9	32.1	32.1	32.3	32.4	33.0	
1978	33.4	33.7	34.2	34.3	33.1	32.5	32.4	33.0	31.0	32.1	33.4	32.4	
1979	32.3	33.4	33.7	31.1	32.3	31.6	32.2	31.9	29.7	31.0	31.9	32.4	
1980	32.8	33.1	33.7	34.4	32.6	33.0	33.2	32.6	31.9	31.9	32.5	33.6	
1981	32.9	34.7	33.9	34.6	32.6	31.9	33.3	32.9	33.0	32.8	33.7	34.3	
1982	34.2	35.2	34.9	34.3	31.5	31.7	33.5	34.5	31.3	32.0	33.1	33.2	
1983	33.7	33.8	34.5	34.3	34.0	33.6	33.8	34.2	32.0	31.7	32.3	33.4	
1984													
1985	32.8	34.1	34.0	33.4	33.2	32.5	32.6	31.9	31.7	31.0	31.6	33.7	
1986	33.7	32.7	33.9	34.1	32.0	32.4	33.2	33.0	32.6	32.0	33.5	31.8	
1987	33.5	33.6	33.8	35.5	34.5	32.9	32.8	33.3	32.4	29.9	34.8	34.7	
\bar{X}	33.3	33.9	34.1	34.1	32.9	32.4	33.1	32.9	31.8	31.7	33.0	30.2	

Fuente: Elaboración propia.