



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Coordinación General de Investigación y Posgrado
Área de Ciencias Biológicas, Agropecuarias y Ecológicas

ZONIFICACION AGROCLIMATOLOGICA PARA MAIZ
EN LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA

T E S I S

QUE PRESENTA EL INGENIERO

VALENTIN VASQUEZ

PARA OBTENER EL GRADO DE :

**MAESTRO EN CIENCIAS EN :
MANEJO DE AREAS DE TEMPORAL**

Guadalajara, Jalisco

ABRIL 1994

Marzo 22 de 1994

M. en C. ROBERTO MIRANDA MEDRANO
COORDINADOR GENERAL DE INVESTIGACION
Y POSTGRADO DEL AREA DE CIENCIAS BIOLÓGICAS,
AGROPECUARIAS Y ECOLÓGICAS.
P R E S E N T E :

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS
BIBLIOTECA CENTRAL

Manifiesto a usted, que con esta fecha ha sido aprobada la Tesis de Maestría en Ciencias, denominada:

"ZONIFICACION AGROCLIMATOLOGICA PARA MAIZ EN LOS VALLES
CENTRALES DE OAXACA"

Por lo que habiendo sido aprobada y revisada no existe inconveniente alguno para su impresión.

Sin otro particular, agradezco su atención y me permito enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE
EL DIRECTOR DE LA TESIS


M. en C. RICARDO NUNO ROBERO

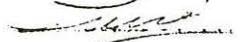
FACULTAD DE AGRONOMIA

c.c.p. ING. VALENTIN VASQUEZ.- CANDIDATO A MAESTRO EN CIENCIAS.- PRESENTE.

COORDINACION DE INVESTIGACION Y
POSTGRADO DEL AREA
CIENCIAS BIOLÓGICAS
AGROPECUARIAS Y ECOLOGIA

RECIBIDO

FECHA 22/Marzo/94



**ESTA TESIS FUE REALIZADA BAJO LA DIRECCION DEL COMITE
PARTICULAR QUE A CONTINUACION SE MENCIONA Y APROBADA
POR EL MISMO.**

DIRECTOR DE TESIS: M.C. RICARDO NUÑO ROMERO.

ASESOR: M.C. SALVADOR HURTADO DE LA PEÑA.

ASESOR: M.C. ANTONIO ALVAREZ GONZALEZ.

COORDINADOR DE LA MAESTRIA:

M.C. SALVADOR HURTADO DE LA PEÑA.

Handwritten signatures in blue and black ink. The blue signature is at the top, and the black signature is below it. Both are stylized and partially overlap the text of the advisors.

AGRADECIMIENTOS:

AL M.C. RICARDO NUÑO ROMERO POR SUS VALIOSAS OBSERVACIONES Y POR SU PACIENCIA Y CONSTANCIA DURANTE LA ELABORACION DEL TRABAJO.

AL M.C. SALVADOR HURTADO DE LA PEÑA POR SU AMISTAD COMO PROFESOR Y COMO AMIGO.

AL M.C. ANTONIO ALVAREZ GONZALEZ POR SU DISPOSICION A COLABORAR COMO ASESOR.

AL LIC. EN MAT. PORFIRIO GUTIERREZ POR SU APOYO DESINTERESADO EN LA INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS.

A LA COMISION NACIONAL DEL AGUA Y PARTICULARMENTE AL DISTRITO DE RIEGO 013 ESTADO DE JALISCO, POR SUS FACILIDADES EN EL USO DEL EQUIPO DE COMPUTO.

A TODOS MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO Y AMIGOS QUE DE UNA U OTRA FORMA ME ALENTARON DURANTE LA CARRERA, ASI COMO EN EL DESARROLLO Y CONCLUSION DEL PRESENTE ESTUDIO.

DEDICATORIA:

ESTE MODESTO TRABAJO ESTA DEDICADO A MI PUEBLO SAN ANDRES IXTLAHUACA, UBICADO DENTRO DEL AREA DE ESTE ESTUDIO, CUYO NOMBRE REFLEJA UNA HISTORIA EN LA QUE SE SINTETIZA LA GLORIOSA EPOCA PREHISPANICA Y LA CONQUISTA ESPAÑOLA. LA ETAPA PREHISPANICA ESTUVO REPRESENTADA POR LOS ZAPOTECAS, MIXTECAS Y AZTECAS QUE DESDE APROXIMADAMENTE 1000 AÑOS A. DE C. POBLARON ESTAS TIERRAS. IXTLAHUACA SE FUNDO EN 1134. TODAVIA SE CONSERVAN RESTOS ARQUEOLOGICOS VIRGENES EN LA PARTE PONIENTE EN LOS LIMITES CON JALAPA DEL VALLE Y LOS LIMITES CON SAN PEDRO IXTLAHUACA DONDE PROBABLEMENTE SE LOCALIZARON PEQUEÑOS CENTROS POBLACIONALES DE MENOR IMPORTANCIA EN COMPARACION CON MONTE ALBAN, UBICADO A POCOS KILOMETROS DE LOS SITIOS QUE SE DESCRIBEN. A LA ETAPA PREHISPANICA CORRESPONDIO LA PROPIEDAD COMUNAL DE LA TIERRA DE LA QUE SE DERIVO EL TRABAJO COMUNITARIO PARA LA EXPLOTACION DE LA TIERRA Y OTROS SERVICIOS A LA COMUNIDAD, TRABAJO QUE TODAVIA SE CONSERVA CON EL NOMBRE DE TEQUIO Y QUE HA SIDO MUY IMPORTANTE PARA EL DESARROLLO DE OBRAS SOCIALES. LA CONQUISTA ESPAÑOLA DESTRUYO VIOLENTAMENTE LAS RELACIONES COMUNALES DE LA TIERRA, CEDIENDO SU LUGAR A ENORMES CONCENTRACIONES DE TIERRAS EN PODER DE LOS HACENDADOS. DE HECHO LAS HACIENDAS DE JALAPA, ARRAZOLA Y SAN JOSE DETENTARON POR MUCHOS AÑOS LA MAYORIA DE LAS TIERRAS DE LA REGION. LOS MIEMBROS DE LAS COMUNIDADES INDIGENAS SE CONVIRTIERON EN CAMPESINOS POBRES Y COMO MEDIEROS TRABAJARON PARA LOS HACENDADOS HASTA EL PERIODO 1929-1944 EN EL QUE LAS HACIENDAS FUERON REPARTIDAS.

LA HISTORIA LEGENDARIA DEL PUEBLO CON MAS DE 800 AÑOS DE EXISTENCIA LO HA CONVERTIDO EN TESTIGO DE LOS ACONTECIMIENTOS HISTORICOS MAS IMPORTANTES Y POSIBLEMENTE DE LOS HECHOS FUTUROS, PORQUE LA HISTORIA NO DETIENE SU MARCHA.

A TODOS MIS FAMILIARES, ESPECIALMENTE A MI MADRE PETRA VASQUEZ POR SU ENORME SACRIFICIO DURANTE LAS ETAPAS TEMPRANAS DE MI VIDA.

INDICE.

	Pág.
INDICE DE CUADROS.	i
RESUMEN.	I
I.- INTRODUCCION.	1
II.- REVISION DE LITERATURA.	3
1.- Estudios de zonificación.	3
2.- Requerimientos agroecológicos del maíz.	16
2.1.- Requerimientos climáticos.	16
2.2.- Requerimientos edáficos.	19
III.- OBJETIVOS E HIPOTESIS.	21
IV.- MATERIALES Y METODOS.	22
1.- Materiales.	22
1.1.- Localización del área de estudio.	22
1.2.- Fisiografía.	23
1.3.- Geología.	24
1.4.- Clima.	25
1.5.- Agroclimatología.	27
1.6.- Vegetación.	29
1.7.- Suelos.	31
2.- Método.	34
V.- RESULTADOS Y DISCUSION.	40
1.- ACP en las estaciones climatológicas representativas.	40
2.- ACP Temporal para las variables más importantes.	49
3.- Análisis Cluster.	58
VI.- CONCLUSIONES.	67
VII. BIBLIOGRAFIA CITADA.	69
- ANEXOS.	72

INDICE DE CUADROS.

Cuadro.		Pág.
1.	Clasificación agroclimática de tierras.	6
2.	Criterios de clasificación térmica.	8
3.	Componentes principales de la precipitación.	13
4.	Componentes principales de la temperatura.	14
5.	Características de las estaciones climatológicas analizadas de los Valles Centrales de Oaxaca (1993-1994).	28
6.	Suelos existentes en la región de los Valles Centrales de Oaxaca.	31
7.	Matriz de correlaciones en la estación Coyotepec.	40
8.	Componentes principales en la estación Coyotepec.	41
9.	Cargas de los principales componentes en la estación Coyotepec.	41
10.	Matriz de correlaciones en la estación Ejutla.	42
11.	Componentes principales en la estación Ejutla.	43
12.	Cargas de los principales componentes en la estación Ejutla.	44
13.	Matriz de correlaciones en la estación Jalapa.	45
14.	Componentes principales en la estación Jalapa.	45
15.	Cargas de los principales componentes en la estación Jalapa.	46
16.	Matriz de correlaciones en la estación Tlapacoyan.	47
17.	Componentes principales en la estación Tlapacoyan.	48
18.	Cargas de los principales componentes en la estación Tlapacoyan.	48
19.	Componentes principales de la temperatura media.	50

20.	Cargas de los componentes principales de la temperatura media.	51
21.	Componentes principales del índice de humedad.	52
22.	Cargas de los componentes principales del índice de humedad.	53
23.	Componentes principales de la precipitación al 70%.	54
24.	Cargas de los componentes principales de la precipitación al 70%.	55
25.	Componentes principales de los días con lluvia.	56
26.	Cargas de los componentes principales de los días con lluvia.	57
27.	Análisis Cluster para la temperatura media.	59
28.	Análisis Cluster del índice de humedad.	61
29.	Análisis Cluster para el ciclo de desarrollo del maíz (decenas).	65

INDICE DE FIGURAS.

FIGURA.		PAG.
1	CROQUIS DE LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO.	22A
2	FISIOGRAFIA (CORTE TRANSVERSAL DEL VALLE).	23A

RESUMEN.

En el presente trabajo se aplicó el Análisis Multivariado, particularmente el Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis Cluster para caracterizar y zonificar agroclimáticamente los Valles Centrales de Oaxaca, considerando al maíz por ser el principal cultivo que se establece en la región.

El ACP se consideró una técnica multivariada útil para la selección y generación de nuevas variables climáticas y agroclimáticas con mayor poder de predicción, sobre todo cuando se trata de variables altamente correlacionadas como en el presente estudio. Una vez elegido los índices agroclimáticos más importantes para caracterizar la agricultura de temporal en la zona, se recurrió a la aplicación del Análisis Cluster por ser una herramienta conveniente para el agrupamiento de las estaciones climatológicas en base a la similitud de las variables seleccionadas.

Los objetivos centrales del trabajo fueron la caracterización de la agricultura de temporal y la zonificación de la región de los Valles Centrales, de acuerdo al grado de similitud de los índices agroclimáticos seleccionados.

Las variables agroclimáticas utilizadas se generaron a partir de datos climatológicos diarios registrados en ocho estaciones distribuidas en la región y de características del suelo, principalmente la capacidad de almacenamiento asociada a la textura del suelo.

Las variables derivadas fueron: temperatura máxima promedio, temperatura media, unidades calor, precipitación al 70% de probabilidad, días con precipitación e índice de humedad. Posteriormente mediante la combinación del criterio agronómico y el Análisis de Componentes Principales se seleccionó la temperatura media y el índice de humedad, índices agroclimáticos a través de los cuales se evaluó y se clasificó la zona de estudio.

Del Análisis de Componentes Principales aplicado a la temperatura media resultó que en general dicho índice es significativo en las doce decenas que dura el ciclo de desarrollo del maíz, no obstante de la segunda decena de julio a la segunda decena de agosto las temperaturas promedio son ligeramente superiores, debido a la mayor incidencia de radiación solar como consecuencia de la mayor frecuencia de días despejados y soleados, por el efecto de la menor nubosidad al disminuir la ocurrencia de precipitaciones durante el periodo seco del temporal.

En lo relativo al índice de humedad, el Análisis de Componentes Principales indicó que las disponibilidades de humedad son relativamente bajas en el mes de junio y en las

primeras decenas de agosto, contrastando con el resto de las decenas en las que la humedad es mayor. Lo anterior indica que el periodo crítico para el maíz en cuanto a exigencias hídricas se refiere se presentan básicamente en los primeros veinte días de agosto y coinciden con la floración e inicio de llenado de grano, fases fenológicas en las que dicho cultivo requiere las mayores demandas de humedad.

En lo referente a la temperatura media, el Análisis Cluster permitió dividir la región en cuatro zonas formadas por las áreas de influencia de las estaciones climatológicas respectivas.

En general las zonas siguieron un gradiente de temperatura que aumenta de la parte norte a la porción sur, conforme se avanza hacia la costa del Océano Pacífico; por eso la zona más calurosa resultó ser la representada por las estaciones de San Miguel Ejutla y Tlapacoyan, y el área menos calurosa fue la formada por las estaciones Etna y Jalapa del Valle. Las restantes dos zonas fueron intermedias y estuvieron involucradas las estaciones Coyotepec, Ocotlán, Miahuatlán y Zimatlán.

En lo que respecta al índice de humedad también se obtuvieron cuatro zonas, en las que se presentó un rango de variación de las estaciones: desde un grupo relativamente húmedo hasta otro considerablemente seco. El primero estuvo integrado por las estaciones Jalapa y Zimatlán, y el segundo por las estaciones Ejutla y Miahuatlán. Los otros dos grupos resultaron intermedios y estuvieron constituidos por las estaciones Coyotepec, Ocotlán, Etna y Tlapacoyan.

Finalmente las conclusiones más importantes fueron:

- Las variables más importantes que condicionan el comportamiento de la agricultura de temporal en la región de los Valles Centrales de Oaxaca, son la temperatura media y el índice de humedad.
- Los efectos de las mayores temperaturas medias se producen desde la segunda decena de julio hasta la segunda decena de agosto, periodo que engloba a la parte seca del temporal.
- Los menores índices de humedad ocurren en las dos primeras decenas de agosto.
- El periodo seco del temporal, comúnmente conocido en la región como "canícula" se inicia en la tercera decena de julio y culmina en la segunda decena de agosto.
- Los periodos más críticos para el maíz en cuanto a sus requerimientos hídricos son la floración e inicio del llenado de grano, etapas fenológicas que generalmente coinciden con el periodo seco del temporal.

- Las fechas de siembra con mayores probabilidades de éxito se presentaron en la tercera decena de junio.

- Las siembras tempranas de mayo y los primeros veinte días de junio tienen escasas posibilidades de prosperar satisfactoriamente, debido a la mayor ocurrencia de sequías.

- Los suelos dominantes en la región no son los más adecuados para el establecimiento del maíz, dada su baja retención de humedad la cual agrava aún más las deficiencias hídricas de dicho cultivo.

- Únicamente los maíces de ciclo corto (120 días) adaptados a las condiciones de escasez de humedad tienen mayores posibilidades de prosperar en la región.

I.- INTRODUCCION.

El estado de Oaxaca por su ubicación geográfica está considerado como una zona tropical, por consiguiente está sometido a la influencia de los vientos provenientes de las zonas de alta presión localizadas en latitudes más altas. Estos vientos al pasar por el Atlántico Norte se cargan de humedad y en su trayectoria hacia las fajas de menor presión en las latitudes más bajas se ponen en contacto con la Sierra Madre de Oaxaca en la parte norte. Esto origina que los vientos se eleven, lo cual provoca su enfriamiento y con ello se produce la condensación del vapor de agua generando así abundantes precipitaciones en los límites con el estado de Veracruz en lo que se conoce como región de Tuxtepec que es la porción más lluviosa del estado. Una vez que los vientos sobrepasan la barrera montañosa y han descargado su humedad se transforman en vientos descendentes secos, precisamente en la región denominada Valles Centrales de Oaxaca. Lo anterior explica el porqué en el área que constituye el objeto de éste estudio se presenta un clima semiárido, cuya característica esencial es la ocurrencia durante el verano y el otoño de precipitaciones escasas e irregulares, derivadas principalmente del efecto esporádico de los ciclones tropicales procedentes del Océano Pacífico y las lluvias de tipo convectivo que se producen por los ascensos del aire provocados por los calentamientos locales de la atmósfera.

Las escasas y erráticas precipitaciones son dos factores que limitan el desarrollo de la agricultura, sin embargo el cultivo principal establecido en la región es el maíz, cuyas necesidades de humedad podrían cubrirse satisfactoriamente con los 600 mm. que precipitan en promedio anualmente, dado que los requerimientos de dicho cultivo fluctúan de 400 a 600 mm. No obstante interviene otro aspecto relacionado con la distribución irregular de la lluvia durante el temporal, puesto que la mayor cantidad de precipitación se concentra al inicio y fin del temporal, existiendo así un período intermedio a finales de julio y agosto que se conoce comúnmente en la región con el nombre de "canícula", que se distingue por el descenso de las precipitaciones. El período seco del temporal descrito es el problema climático principal que restringe la producción agrícola en la zona, ya que su ocurrencia coincide con las etapas de floración e inicio de llenado de grano del maíz que son las fases de mayores exigencias hídricas del mencionado cultivo, por lo que no son cubiertas por las pocas lluvias que se presentan en ese período.

Aunado a los aspectos climáticos descritos se encuentran los suelos que en su mayoría se caracterizan por la existencia de texturas franco arenosas, las cuales presentan muy baja capacidad de retención de humedad, lo que reduce las disponibilidades de humedad en el suelo, acentuando así las deficiencias hídricas de los cultivos.

Dadas las condiciones climáticas restrictivas es indispensable el conocimiento más profundo del clima y su influencia en el desarrollo de los cultivos, a ello está orientado el presente estudio de Zonificación Agroclimatológica para Maíz en los Valles Centrales de Oaxaca.

II.- REVISION DE LITERATURA.

1.- Estudios de zonificación.

En México en los últimos años se han impulsado los estudios de zonificación agroclimática con el propósito de localizar las áreas más aptas para el desarrollo de los cultivos.

García (1979) en un trabajo de regionalización realizado en áreas de Puebla y Tlaxcala, afirma que una estructura metodológica que se considere eficiente para la zonificación de cultivos, debe responder a las siguientes interrogantes: ¿ dónde sembrar ?, ¿ cuándo ? y ¿ cuánto se va a obtener ?. La respuesta a las anteriores interrogantes sólo puede darlas un procedimiento cuantitativo que en lo esencial involucre los pasos que se describen a continuación.

- a.- Recopilación de la información climática, edáfica y del cultivo.
- b.- Análisis de la información.
- c.- Estimación de los datos faltantes.
- d.- Generación de variables climáticas y agroclimáticas.
- e.- Obtener una función de producción.
- f.- Zonificación através de la función de producción.

En la secuencia de pasos descrita, el aspecto más relevante es la función de producción la cual se genera a partir de datos obtenidos de experimentos distribuidos en el área de interés, en distintos sitios y años e involucra factores controlables de la producción referentes al manejo del suelo y factores incontrolables tanto climáticos como fisioedáficos.

Una vez obtenida la función de producción y conociendo la variabilidad climática, edáfica y de manejo se procede a la zonificación de una región determinada.

La metodología propuesta está lógicamente fundamentada, puesto que el mejor criterio de regionalización es en base a la potencialidad productiva derivada de la influencia de los diferentes factores en la producción de los cultivos.

La metodología descrita ha tenido poca aplicación debido a la gran cantidad de información que requiere.

En un estudio anónimo (1980) se desarrolla una zonificación fenoclimática para los principales cultivos del país, valiéndose de los siguientes índices y elementos climáticos:

- Temperatura mínima.
- Temperatura máxima.
- Temperatura media.
- Precipitación pluvial.

A partir de la lluvia y por la experiencia de producción en las regiones de condiciones climáticas similares, obtuvo los rendimientos máximos de los cultivos.

Con los rendimientos estimados y considerando las restricciones del relieve, definió las áreas potenciales para cada una de las variantes de los cultivos (precoces, intermedios, tardíos, etc.).

La FAO (1981) elaboró una metodología con la que efectuó un estudio de los recursos climáticos y edáficos de América Latina para los once cultivos más importantes de la región.

El procedimiento utilizado es conocido como Metodología de Zonas Agroecológicas, cuya serie de etapas es la siguiente:

A.- Inventario climático.

a.- Delimitación de las divisiones climáticas mayores.

En esta fase del método usó la temperatura reducida al nivel del mar, determinando como zonas tropicales aquellas que presentaron una media superior a 18°C en todos los meses del año. Para las zonas con temperaturas menores de 18°C, separó las áreas con temperatura media superior a los 5°C en todos los meses, de las que tuvieron temperaturas mensuales medias inferiores a 5°C, y las designó respectivamente como subtrópicos y zonas templadas. Posteriormente y de acuerdo a las necesidades térmicas de los cultivos subdividió las tres divisiones climáticas descritas, resultando finalmente catorce divisiones climáticas principales.

b.- Cuantificación del período de crecimiento.

El período de crecimiento fué definido como el lapso de tiempo en el que se presentan condiciones óptimas de humedad y temperatura para el desarrollo de los cultivos. Para su cálculo recurrió a un balance simple de humedad usando como variables a la precipitación y la evapotranspiración potencial. Los períodos de crecimiento variaron de 0 a 365 días dependiendo de las condiciones de humedad y temperatura. Posteriormente trazó isolíneas de los períodos de crecimiento cada treinta días (90-119, 120-149, 150-179, etc.).

c.- Caracterización de los elementos climáticos.

Una vez delimitadas las zonas con períodos de crecimiento similares obtuvo los valores promedio de los principales elementos climatológicos (temperatura, lluvia, radiación solar, etc.) que caracterizan al clima, obteniendo así una base para establecer una correlación con las necesidades de los cultivos y con ello calcular los rendimientos.

d.- Elección de los cultivos a niveles alto y bajo de insumos.

Para la selección de los cultivos la FAO consideró conveniente utilizar dos niveles tecnológicos que se resumen así:

- Agricultura de subsistencia con bajo nivel tecnológico, bajo coeficiente de capital y orientada fundamentalmente al autoconsumo.

- Agricultura comercial con elevado nivel tecnológico, alto coeficiente de capital y destinada esencialmente al mercado.

e.- Estimación de rendimientos máximos.

Los rendimientos máximos obtenidos no consideran las reducciones de la producción debidas a la variabilidad climática, ni las pérdidas causadas por plagas, enfermedades, malezas y dificultades para el laboreo.

Las limitaciones agroclimáticas las clasificó en: nula/ligera, moderada o grave, según que la reducción del rendimiento prevista sea de 0, el 25 o el 50% respectivamente. Aplicando las anteriores reducciones obtuvo el rendimiento agroclimáticamente posible.

Los rendimientos agroclimáticamente posibles son válidos en condiciones de suelo ideales y con altos insumos. Los rendimientos agroclimáticamente posibles con bajos insumos fueron obtenidos considerando que representan el 25% de los rendimientos sin limitaciones con altos insumos.

g.- Clasificación agroclimática.

La evaluación agroclimática de cada cultivo con ambos niveles de insumos lo realizó clasificando el rendimiento de cada uno de los períodos de crecimiento en cuatro categorías, definidas según el porcentaje respecto del máximo posible en ausencia de limitaciones.

Cuadro 1. Clasificación agroclimática de tierras.

Categoría de tierras	% de rend. máximo
Muy aptas	> 80
Aptas	40-80
Marginalmente aptas	20-40
No aptas	< 20

Fuente: FAO (1981).

B.- Inventario edáfico.

Para la evaluación del suelo recurrió al mapa de suelos FAO/UNESCO (1968) y la información adicional que presenta relacionada con la pendiente, las fases y la textura.

La caracterización de las unidades de suelos la hizo distinguiendo tres clases básicas de aptitud para cada cultivo y nivel de insumos:

- a.- Muy apto.
- b.- Marginalmente apto.
- c.- No apto.

En el primer caso significa que se trata de un suelo sin limitaciones o muy ligeras, por lo tanto se mantiene la aptitud agroclimática; en el segundo caso es cuando los suelos sólo satisfacen parcialmente las necesidades de los cultivos, por consiguiente la aptitud agroclimática se demerita a una clase inferior; finalmente cuando se presenta el tercer caso significa que las limitaciones edáficas son severas, por ende las tierras se consideran no aptas para el desarrollo de los cultivos.

C.- Clasificación agroecológica.

La clasificación agroecológica la obtuvo combinando la información de las aptitudes agroclimática y edáfica, con lo que resultó la delimitación de áreas con climas y suelos similares, las cuales expresaron la diferente potencialidad agrícola de la región.

La Metodología de Zonas Agroecológicas propuesta por la FAO ha tenido amplia aplicación más como criterio de zonificación agroclimática que como criterio de regionalización agroecológica, debido a la mayor dificultad para integrar las variables

climáticas y edáficas. Además es pertinente destacar que se trata de una metodología generada en el estudio de grandes regiones (continentes), por lo tanto pierde precisión al ser aplicada a regiones relativamente más pequeñas.

En México uno de los primeros trabajos elaborado aplicando la metodología descrita fué el llevado a cabo por Ortiz (1981), el cual tuvo como propósito evaluar la aptitud de las tierras de México para la producción de maíz, frijol y sorgo bajo condiciones de temporal. En su estudio todo el país quedó clasificado como tropical caliente, tropical templado y tropical frío. Posteriormente excluyó de los análisis agroclimático y agroecológico a las tierras con clima tropical frío, por considerar que no reúnen las condiciones térmicas para el desarrollo normal de los cultivos señalados.

Dentro de la Metodología de Zonas Agroecológicas, el período de crecimiento ha servido como criterio de zonificación de cultivos, no obstante tiene el inconveniente de poder ser utilizado únicamente en las regiones que cuentan con estaciones climatológicas con registros suficientes de lluvia, temperatura y evaporación. Sin embargo en el país es frecuente la insuficiencia y falta de datos, por consiguiente se han buscado modelos de regresión para estimar los períodos de crecimiento a partir de variables climáticas más simples y accesibles, en vez de efectuar el balance de humedad. En éste sentido Pájaro (1989) usando información generada por Ortiz (1981), estableció un modelo matemático para predecir el período de crecimiento a partir de la precipitación total anual. Este modelo resultó ser de gran utilidad, pero no eliminó la posibilidad de que el período de crecimiento obtenido sea interrumpido por la presencia de la primera y última heladas. Considerando lo anterior el mismo autor y en el mismo año, formuló una nueva relación matemática para correlacionar el período de crecimiento y la precipitación total anual. Con el nuevo modelo el procedimiento consiste en sobreponer el período de crecimiento obtenido por la disponibilidad de humedad a las fechas de ocurrencia de la primera y última heladas, con lo que se obtiene el período de crecimiento efectivo que es el que presenta condiciones favorables de humedad y temperatura para el adecuado crecimiento de los cultivos.

Con el período de crecimiento efectivo se pueden detectar las áreas potenciales en las que se pueden establecer los cultivos más idóneos.

Turrent (1986) efectuó una estimación del potencial productivo de maíz y frijol en la República Mexicana. Para poder estimar los rendimientos de dichos cultivos, procedió previamente a la estratificación del territorio nacional en agrosistemas en base a características climáticas y edáficas.

Para regionalizar al país en agrosistemas utilizó el siguiente procedimiento:

A.- Recopilación de la información climática, edáfica y rendimientos de maíz y frijol.

B.- Estimación de datos climáticos faltantes.

En este punto la variable estimada fue la evaporación, la cual fue obtenida a partir de un modelo de regresión que tuvo como variables independientes a la latitud, altura y precipitación total anual.

C.- Estratificación por clima y suelo.

a.- Estratificación por contenido de humedad.

Para la zonificación climática usó datos anuales de precipitación, temperatura y evaporación. De la precipitación y evaporación generó un índice de humedad expresado matemáticamente como $2P/E$ que funcionó como estimador del mismo índice, pero para el período junio-septiembre.

El índice de humedad obtenido le sirvió para estratificar las regiones de temporal en seis categorías que variaron de 0.49 para zonas secas a mayores de 2.0 para áreas húmedas.

b.- Estratificación por temperatura.

La temperatura es un elemento climatológico muy importante para la adaptación de los cultivos, por eso fue considerado como criterio de regionalización del país en tres estratos.

A continuación se muestran los criterios de clasificación térmica de la República Mexicana.

Cuadro 2. Criterios de clasificación térmica.

Región	Temperatura
Cálida	> 23 °C
Templada	18-23 °C
Fría	< 18 °C

Fuente: Turrent (1986).

c.- Estratificación por suelo.

Para estratificar las propiedades del suelo consideró la pendiente del terreno y la profundidad.

D.- Delimitación de agrosistemas.

Una vez concluidas las estratificaciones por clima y suelo procedió a definir a los agrosistemas. El agrosistema fue considerado como un cultivo (en este caso maíz y frijol) en el que los factores incontrolables de la producción fluctúan dentro de un ámbito agronómico establecido por conveniencia.

E.- Estimación de rendimientos potenciales.

Los rendimientos los estimó por medio de modelos de regresión considerando a los factores climáticos y edáficos como variables independientes.

Otro enfoque metodológico de gran importancia para zonificar, es el uso de índices agroclimatológicos en combinación con los requerimientos de los cultivos. Según el enfoque los datos climatológicos sólo tienen utilidad práctica en la agricultura en la medida en que sirvan para derivar índices agroclimáticos (lluvia a probabilidades de lluvia, temperatura a unidades calor, evaporación a evapotranspiración, etc.).

En la región bajo estudio Ruiz (1987) llevó a cabo una zonificación agroecológica para maíz, cuyo método se reduce esencialmente a la elaboración de mapas de unidades de suelos y déficit evapotranspirativo, para posteriormente integrarlos en un plano de clasificación agroecológica. En seguida estimó los rendimientos en base a las características climáticas y edáficas, los cuales variaron de 600 a 2500 Kg./Ha.

Los resultados arrojaron lo siguiente:

Las zonas con rendimientos entre 1300 y 1500 Kg./Ha. correspondieron a zonas de alta siniestralidad localizadas en Tlacolula y Ayoquesco. En el caso de Tlacolula es la escasez de lluvia la que reduce el rendimiento, pero en Ayoquesco es la dominancia de suelos de lomerío los que propician los bajos rendimientos.

En el distrito de ETLA, desde Santo Domingo Barrio Bajo hasta Huitzo los rendimientos fluctuaron entre 1500 y 1700 Kg./Ha. en los suelos de planicie. De igual forma se comportaron los rendimientos en el distrito de Miahuatlán.

Excluyendo las áreas indicadas anteriormente, la mayoría de los suelos ubicados en las planicies de los Valles Centrales tuvieron un potencial de rendimiento de 2000-2500 Kg./Ha. de maíz. Estas se localizaron en las poblaciones de Ejutla de Crespo, San Pedro Apóstol, Ocotlán, Zimatlán, Zaachila, Santa María del Tule y Guadalupe ETLA.

Perez y Mejía (1988) citados por Castillo (1990) llevaron a cabo un trabajo con el fin de evaluar el potencial agrícola de los Valles Centrales de Oaxaca. El criterio de evaluación consistió en el uso de probabilidades de las lluvias, de datos

semanales de ocho estaciones climatológicas. Los resultados obtenidos indicaron que los cultivos de ciclo largo (130 días o más), tienen elevadas posibilidades de padecer deficiencias de humedad durante el período comprendido de la semana 26 a la 36 (del 18 de junio al 9 de septiembre).

Nuño (1988) realizó uno de los estudios de zonificación agroclimática más importantes en el estado de Jalisco. El criterio de estratificación fue el Índice de Eficiencia Agroclimática (IEAM) obtenido mediante un modelo estadístico simple, el cual involucró a la temperatura media, índice de humedad y duración del período de crecimiento.

El procedimiento para generar el IEAM consistió:

- a.- Recopilación de datos mensuales de 136 estaciones climatológicas distribuidas en el estado de Jalisco.
- b.- Captura de los datos climatológicos.
- c.- Estimación de los datos faltantes.
- d.- Cálculo de los índices agroclimáticos.
- e.- Cálculo de la matriz de correlaciones.
- f.- Análisis de Componentes Principales.
- g.- Selección de los índices más importantes.
- h.- Cálculo del IEAM.
- i.- Estratificación del estado.

Las principales conclusiones a las que llegó en su trabajo fueron:

- La precipitación pluvial es el elemento climatológico de mayor importancia para la agricultura de temporal, puesto que de ella se derivaron el índice de humedad y la duración del período de crecimiento.
- La eficiencia agroclimática para la producción de maíz en el estado de Jalisco está en función de tres parámetros: temperatura media, índice de humedad y duración del período de crecimiento.

Para San Luis Potosí, Campos (1989) elaboró un trabajo para estimar el potencial agrícola del estado, mediante la aplicación de los índices climáticos de Papadakis, Hargreaves y Turc. Los índices mencionados los calculó en base a los datos de 20 estaciones climatológicas ubicadas por todo el estado, con un período de registro de 30 años (1941-1970). Los valores obtenidos del índice de Turc le permitieron definir tres grupos de estaciones:

a.- Las de la zona Huasteca, que presentan índices mayores de 45, que corresponden a la región de mayor potencial agrícola de temporal, debido a las elevadas precipitaciones que se presentan como consecuencia de las descargas de humedad de los vientos húmedos (alisios) procedentes del Atlántico Norte y por la influencia de los ciclones tropicales originados en las aguas del Golfo de México y Mar de las Antillas.

b.- Las de la porción media del estado con índices de Turc entre 10 y 30, que pertenecen a una zona de bajo potencial para el desarrollo de la agricultura de temporal.

c.- Las estaciones climatológicas que presentaron un índice de Turc menor de 10, que se trata de estaciones localizadas básicamente en el Altiplano Potosino, en las que las posibilidades de desarrollo de la agricultura son mínimas debido a las escasas precipitaciones.

En las dos últimas zonas las bajas precipitaciones se deben a la reducción significativa de la influencia de los vientos húmedos conforme se avanza al interior de la República Mexicana.

Con respecto a los índices de Papadakis y Hargreaves los resultados fueron similares.

Este trabajo demostró que los índices agroclimáticos utilizados resultaron ser buenos indicadores para evaluar el potencial productivo del estado de San Luis Potosí.

Castillo (1990) caracterizó los sistemas agrícolas de los Valles Centrales de Oaxaca en base al clima y al suelo. El procedimiento consistió en la combinación de mapas de unidades de suelos y de climas, con lo que obtuvo un plano de unidades edafoclimáticas (zonificación edafoclimática).

Los resultados de su trabajo indicaron lo siguiente:

La unidad edafoclimática representada por la población de San Pablo Huixtepec en el distrito de Zimatlán, es la que presenta las condiciones más favorables para el desarrollo de la agricultura en cuanto a suelo y clima, ya que existen suelos planos, de textura franca, considerablemente profundos y relativamente ricos en materia orgánica, con un período de crecimiento de 99 a 136 días.

La unidad edafoclimática localizada en Cuilapam de Guerrero en el distrito de Zaachila, presenta graves restricciones a la agricultura, debido a la existencia de suelos poco profundos, de textura franco arenosa y pobres en materia orgánica, a pesar de que la estación de crecimiento es de 99 a 136 días.

La unidad edafoclimática representada por la comunidad de San Nicolás Yaxé, en el distrito de Ocotlán, tiene severas limitaciones a la agricultura de temporal, por la existencia de suelos poco profundos, textura franco arenosa, pobres en materia orgánica y de relieve relativamente accidentado, no obstante el clima relativamente favorable (período de crecimiento de 99 a 136 días).

Rojo y Ruiz (1991) efectuaron una zonificación agroecológica para maíz en el estado de Oaxaca, através de la relación precipitación (P)-evaporación (E) expresada en el cociente $2P/E$ y la profundidad del suelo como criterios de clasificación.

Para obtener el valor $2P/E$ recurrieron a los datos de precipitación y evaporación de 150 estaciones climatológicas distribuidas en el estado.

El método consistió en trazar isolíneas con los valores de $2P/E$ para los rangos: 0.50, 0.50-0.70, 0.70-0.90, 0.90-2.0 y 2.0. A cada isolínea le asociaron un rendimiento de acuerdo al criterio de Turrent (1986), de tal forma que al valor 0.50 le correspondió 983 Kg./Ha. y al rango de 0.90-2.0 le correspondió un rendimiento de 3538 Kg./Ha. En seguida con las cartas de uso del suelo y edafológica delimitaron el tipo de agricultura (temporal y riego) y tres categorías de suelos: someros (<0.50 m), delgados (0.50-1.0 m.) y profundos (>1.0 m). Finalmente sobrepusieron los mapas de isolíneas, uso del suelo y profundidad del suelo, para luego delimitar las diferentes provincias agronómicas de acuerdo a la clasificación propuesta por Turrent (1986).

En su trabajo detectaron que el estado cuenta con una superficie potencial para la producción de maíz de 906,200 hectáreas, de las cuales el 45% fueron de mediana productividad y el 41% resultaron ser de buena productividad.

Las áreas de mayor potencial se localizaron en las regiones de Tuxtepec y la Costa, lo cual es lógico puesto que en esas zonas ocurren las mayores precipitaciones debido a la influencia de las vientos húmedos y de los ciclones tropicales. Las regiones de Valles Centrales, junto con la Mixteca, la Cañada y parte del Istmo de Tehuantepec resultaron ser tierras de mediana productividad, baja productividad y tierras marginales.

Otro criterio utilizado en los estudios de zonificación es el Análisis Multivariado, tal como lo evidencia el trabajo de Green y et al (1992) al aplicar el Análisis de Componentes Principales Temporal (ACPT), para estudiar el comportamiento de la precipitación y la temperatura en combinación con datos de velocidad y dirección del viento, en el sur de California en los Estados Unidos. Los resultados de su investigación concluyeron que tanto la precipitación como la temperatura se explican através de dos componentes.

Los componentes de ambas variables se muestran en los siguientes cuadros.

Cuadro 3. Componentes principales de la precipitación.

Mes	componente 1	componente 2
Enero	0.942	-0.210
Febrero	0.951	-0.216
Marzo	0.979	-0.119
Abril	0.978	-0.141
Mayo	0.891	0.153
Junio	0.468	0.337
Julio	-0.099	0.951
Agosto	0.090	0.913
Septiembre	0.649	0.680
Octubre	0.837	0.252
Noviembre	0.945	-0.208
Diciembre	0.972	-0.081

Fuente: Green et al (1992).

Para la precipitación el primer componente representa el periodo lluvioso del invierno, que se presenta por la influencia de los vientos húmedos procedentes del Océano Pacífico al descargar su humedad en el sur de California, como lo ponen de manifiesto las mayores cargas de la precipitación en los meses correspondientes al invierno y parte de la primavera. Este comportamiento de la precipitación es típico del clima mediterráneo que se produce por el desplazamiento de la faja subtropical de alta presión hacia latitudes más bajas durante el invierno, lo cual provoca que los vientos se muevan del Océano Pacífico con dirección al sur de California y al ponerse en contacto con la orografía origina lluvias significativas en dicha zona. Por lo que toca al segundo componente representa la ocurrencia de las lluvias en el verano, debido al efecto monsonico producto del desigual calentamiento del continente y el océano. Es decir durante el verano el continente se calienta más intensamente que los mares, en consecuencia se genera un

gradiente de presión que provoca que el viento fluya de las aguas oceánicas a tierra firme y al producirse la condensación por el efecto de la orografía originan considerables precipitaciones.

Los dos componentes principales se complementan, ya que el primero refleja el comportamiento de la precipitación en el invierno, y el segundo expresa el comportamiento de la lluvia durante el verano.

Cuadro 4. Componentes principales de la temperatura.

Mes	componente 1	componente 2
Enero	0.606	0.792
Febrero	0.803	0.592
Marzo	0.941	0.291
Abril	0.984	-0.045
Mayo	0.898	-0.412
Junio	0.768	-0.636
Julio	0.698	-0.710
Agosto	0.772	-0.624
Septiembre	0.902	-0.402
Octubre	0.988	0.066
Noviembre	0.767	0.635
Diciembre	0.567	0.814

Fuente: Green et al (1992).

En lo que respecta a la temperatura el primer componente refleja el comportamiento relativamente estable de la temperatura durante el año, como lo evidencian las cargas de dicha variable; en cambio el componente dos expresa como los sitios con veranos cálidos tienden a presentar inviernos frescos y lugares con veranos moderados tienden a presentar inviernos moderados también.

El Análisis de Componentes Principales tanto de la lluvia como de la temperatura nos permite deducir que el primer componente expresa el comportamiento general del fenómeno bajo estudio, y los restantes componentes reflejan particularidades específicas de las variables de interés.

Además del Análisis de Componentes Principales, los autores también recurrieron al Análisis Cluster para la agrupación de los meses del año. Para ello efectuaron tres Clusters con la finalidad de incluir el Invierno, el Verano y la transición entre ambas estaciones.

Es evidente que el Análisis Multivariado tiene gran aplicación en los estudios de zonificación, especialmente el Análisis Cluster y el Análisis de Componentes Principales.

En México el uso generalizado de las microcomputadoras, sobre todo a partir de la segunda mitad de la década de los 80's ha provocado una revolución en el tratamiento de grandes volúmenes de información, lo que ha hecho más accesible las técnicas estadísticas de uso común en los países desarrollados hace muchos años. Este es el caso del Análisis Multivariado. Este está constituido por un conjunto de técnicas estadísticas, entre las que se encuentran el Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis Cluster utilizadas en el presente trabajo.

Gutiérrez (1993) afirma que los objetivos más importantes del ACP, son los siguientes:

- Genera nuevas variables con propiedades convenientes (independientes y de varianza máxima) que reflejan el contenido de la información de un conjunto de datos.
- Simplifica el objeto de estudio al reducir el número de variables.
- Sirve para seleccionar variables altamente correlacionadas.

Para lo anterior el ACP involucra el cálculo de la matriz de correlaciones, componentes principales y cargas o pesos de cada componente.

La matriz de correlaciones sirve para detectar el grado de dependencia entre las variables, por tal motivo se utiliza para la selección de las mismas. En seguida y en base a la matriz de correlaciones se obtienen los componentes principales. Estos son nuevas variables formadas por combinaciones lineales de las variables originales. El primer componente es la combinación lineal con varianza máxima; el segundo es la combinación lineal con varianza máxima, pero independiente del primero; el tercero también maximiza la varianza pero es independiente de los dos primeros, y así sucesivamente. Se pueden calcular tantos componentes como variables originales, pero se espera que con los primeros componentes se pueda explicar la mayor parte de la variabilidad presente en los datos originales. Al analizar pocos componentes se pueden obtener conclusiones más fácilmente acerca de la relación existente entre las variables originales. Por

último la carga o peso de cada componente puede variar de 0 a 1 y dependiendo de su valor será la importancia de la variable que se está estudiando.

En lo relativo al Análisis Cluster, se trata también de una técnica estadística multivariada e involucra una gran cantidad de procedimientos que se utilizan para clasificar o agrupar un conjunto de individuos o datos.

Como es natural para poder efectuar el Análisis Cluster es necesario recurrir a un criterio de clasificación, para medir el grado de similitud de los datos. En éste trabajo se recurrió a la métrica Euclidiana para la agrupación, la cual expresa la diferencia existente entre los datos.

De la revisión de los estudios de zonificación se desprende que existen diversos criterios de clasificación, siendo los más usuales la Metodología de Zonas Agroecológicas y los índices agroclimáticos. Además está el método que considera una función de producción propuesto por Benavides y el uso del Análisis Multivariado, que no obstante su poca aplicación en el presente, en el futuro prometen resultados alentadores por tratarse de metodologías que más pueden aproximarse a la complejidad de los múltiples factores que condicionan la producción de los cultivos.

2.- Requerimientos agroecológicos del maíz.

2.1.- Requerimientos climáticos.

2.1.1.- Radiación solar.

Delorid y Ahlgren (1967) consignan que el tiempo frío y nublado produce un desarrollo vegetativo abundante y bajos rendimientos de grano, en consecuencia el maíz se desenvuelve favorablemente cuando se presentan días soleados (despejados) y noches cálidas, en virtud de que las noches frías retardan su crecimiento y maduración.

Villalpando (1989) explica que el maíz responde a elevadas intensidades de radiación solar (cerca de o mayores de 1 cal/cm²/min.), lo cual es compatible con la eficiencia que presenta para el uso de la luz y el bióxido de carbono para sintetizar compuestos bioquímicos de cuatro carbonos (malato y aspartato). Es por esto que se le clasifica como una planta C₄. Adicionalmente se caracteriza por presentar tasas bajas de fotorrespiración (respiración durante el día), lo cual favorece altas cantidades de acumulación de materia seca (400 a 600 Kg./Ha./día).

2.1.2.- Fotoperíodo.

Ustimenko (1980) describe al maíz como una planta tanto de día largo como de día corto. Sin embargo el día corto es más apropiado para el desarrollo normal del cultivo. La respuesta a días cortos, significa que el maíz florece regularmente cuando los días son menores de 14 horas, de lo contrario se prolonga el desarrollo vegetativo.

2.1.3.- Temperatura.

En lo referente a la temperatura mínima Delorid y Ahlgren (1967) especifican que las heladas constituyen un grave riesgo para la producción de maíz, siendo más dañinas las que se presentan en otoño, puesto que retardan o impiden la maduración, y el rendimiento y la calidad se reducen. Lo anterior explica el porqué el maíz detiene su desarrollo a temperaturas inferiores a 10 °C., por lo que ésta temperatura se ha tomado como base para cuantificar las unidades calor que requiere para su crecimiento. Este concepto se ha utilizado para describir la influencia de la temperatura sobre la fenología de las plantas, y se basa en el principio que establece que el desarrollo de un cultivo depende de la cantidad de calor que recibe. Esto significa que un cultivo alcanzará una determinada etapa fenológica cuando acumula cierta cantidad de calor, independientemente del tiempo requerido para ello.

Nuño (1988) al resumir a otros autores, indica que en la faja maicera de Estados Unidos, el maíz no se desenvuelve satisfactoriamente a temperaturas promedio menores de 19°C. También señala que investigadores de regiones templadas han detectado que la temperatura óptima para que dicho cultivo de desarrolle adecuadamente oscila de 20 a 22 °C.

El maíz prospera en un rango amplio de ambientes climáticos, que van desde regiones frías hasta zonas tropicales secas dónde la temperatura alcanza 30 °C. No obstante Villalpando (1989) menciona que el límite óptimo de temperatura media en las principales regiones del mundo fluctúa de 20 a 24 °C. Para México establece que el rango óptimo de temperatura en los valles altos con una altura mayor de 1800 m. sobre el nivel del mar (temperatura promedio alrededor de 20 °C.), es inferior a los rangos descritos. Esto se debe a que las variedades que se cultivan en los valles altos de México, son de origen templado y se han adaptado a dichas condiciones climáticas.

2.1.4.- Humedad.

Delorid y Ahlgren (1967) precisan que el maíz necesita una precipitación con una distribución adecuada durante el ciclo vegetativo, sobre todo en los meses críticos de julio y agosto, debido al crecimiento rápido y las altas tasas de evaporación del

suelo, así como la evapotranspiración del cultivo. Lo antes expuesto se vuelve más crítico si se considera que en los meses citados ocurre la floración y el inicio de llenado de grano.

Nuño (1988) comenta que el periodo más crítico para el maíz, en sus exigencias de humedad es al inicio de la diferenciación floral y al comienzo del llenado de grano.

Villalpando (1989) opina que las exigencias hídricas del maíz varían de 300 a 850 mm. En otro trabajo Nuño y Villalpando (1989) señalan que el rango de precipitación varía de 410 a 610 mm. para completar su ciclo vegetativo.

Los rangos relativamente amplios de requerimientos hídricos del maíz se deben a varios factores entre los que destacan: el tipo de clima, características físicas y químicas del suelo y los fisiológicos y morfológicos de las variedades del cultivo. Sin embargo el mejor procedimiento para calcular las necesidades hídricas del maíz, es através del balance de humedad del suelo. Con éste criterio se estableció que el maíz que se explota en la región, puede prosperar en un rango de humedad que fluctúa de 314 a 394 mm.

En un clima semiseco semicálido como el que se presenta en la región de los Valles Centrales, la demanda de agua de variedades de maíz similares por su ciclo de desarrollo, es mucho mayor que la que se presenta en las zonas de clima templado, debido a las menores precipitaciones y mayores evaporaciones.

En cuanto a las características edáficas, los suelos de texturas franco arenosas como las que se presentan en la mayor parte del área de estudio, tienen una baja retención de humedad, la cual restringe aún más las disponibilidades de humedad.

2.1.5.- Período de crecimiento.

Pájaro y Ortiz (1988) definen el periodo de crecimiento como el lapso de tiempo durante el año en el que existen condiciones favorables de humedad y temperatura para el desarrollo de los cultivos.

Villalpando (1989) explica que en las zonas de riego, el período de crecimiento para maíz está determinado básicamente por la disponibilidad adecuada de temperatura, combinada con un régimen alto de radiación solar. En cambio en zonas de temporal, la duración del período de crecimiento está definido por la duración del temporal de lluvias, más las reservas de humedad del suelo después de finalizado el temporal. En regiones agrícolas altas la duración del período de crecimiento, además de la humedad está determinado por el período libre de heladas.

Para la producción de maíz, la duración del período de crecimiento en las regiones agrícolas de temporal, debería ser al menos de 100 días en lugares tropicales, en las que dicho cultivo acelera su desarrollo a consecuencia de las elevadas temperaturas; y de 120 días o más en zonas de clima templado.

2.2.- Requerimientos edáficos.

El maíz prospera en distintos ambientes edáficos, no obstante los mejores rendimientos se producen cuando los suelos presentan determinadas características físicas y químicas.

Aldrich y Leng (1965) mencionan que la faja maicera de los Estados Unidos presenta las siguientes propiedades:

- Terrenos casi planos y sólo suavemente ondulados.
- Suelos primordialmente planos de texturas francas con gran capacidad de retención de humedad.

Robles (1975) indica que el maíz se desarrolla en diferentes tipos de suelo en cuanto a textura y estructura. Se siembra en suelos arcillosos, arcillo arenosos, francos, franco arcillo arenosos, etc.; sin embargo los mejores suelos son los que tienen texturas francas, de tal forma que permitan un buen desarrollo del sistema radicular y por consiguiente mayor eficiencia en la absorción de humedad y nutrientes, así como una buena fijación de las plantas para evitar el acame.

Sprage. (1977) coincide con los autores descritos y agrega que en la zona maicera de los Estados Unidos, los rendimientos máximos se producen cuando en el suelo ocurre un pH frecuentemente de 6.

En un estudio para incrementar la producción de maíz en la región maicera de Zapopan, en el estado de Jalisco, un trabajo anónimo (1983) reporta la existencia de suelos normalmente de texturas francas y franco arenosas, relativamente planos, profundos, pH ligeramente ácido y con una elevada capacidad de retención de humedad.

Parsons (1981) sintetiza los requerimientos edáficos del maíz como sigue:

- Suelos profundos y fértiles.
- Suelos con alto contenido de materia orgánica.
- Suelos de textura franca.
- pH entre 6 y 7.

Adicionalmente agrega que los suelos muy arenosos o muy arcillosos, los susceptibles de erosionarse con pendientes fuertes, los muy húmedos y los que tienen un alto contenido de sales, son menos propicios para el desarrollo del maíz.

De la revisión de literatura respecto a las exigencias agroecológicas del maíz se concluye lo siguiente: el maíz se desarrolla normalmente en regiones con clima templado y caluroso, con días soleados y noches calurosas, con temperatura media entre 19 y 20 °C. y con una distribución uniforme de la lluvia durante el ciclo del cultivo. En cuanto a los requerimientos edáficos, se adapta mejor a suelos profundos, de texturas francas, fértiles y con un pH ligeramente ácido.

III.- OBJETIVOS E HIPOTESIS.

A.- Objetivos.

- 1.- Caracterizar el comportamiento del temporal.
- 2.- Definir el inicio del temporal.
- 3.- Detectar el periodo de mayores deficiencias de humedad.
- 4.- Detectar las variables agroclimáticas más importantes que condicionan la agricultura de temporal.
- 5.- Evaluar y zonificar la región.

B.- Hipótesis.

- El Análisis Multivariado es una técnica estadística útil para seleccionar variables, así como para la caracterización y zonificación agroclimáticas.

IV.- MATERIALES Y METODOS.

1.- Materiales.

1.1.- Localización del área de estudio.

Los Valles Centrales es una de las siete regiones en que se divide el estado de Oaxaca, se localiza en su porción media y comprende una superficie aproximada de 624,000 hectáreas.

Castillo (1990) afirma que la región de los Valles Centrales está limitada al norte en los límites con Veracruz por la Sierra Madre de Oaxaca, al sur rumbo al Océano Pacífico por la Sierra Madre del Sur, al oeste por la Sierra de Nochixtlán y al este por las Sierras Orientales. Además agrega que la zona está rodeada al norte por la región de la Cañada, al sur por la región de la Costa, al este por la región del Istmo de Tehuantepec, al noreste por la Sierra Juárez y al noroeste por la región de la Mixteca.

La ubicación geográfica está definida por los paralelos 16° 08' 00" y 17° 21' 30" de Latitud Norte; y por los meridianos 96° 17' 36" y 97° 13' 18" de Longitud Oeste.

Políticamente engloba los siguientes distritos administrativos: ETLA, Centro, Tlacolula, Zaachila, Zimatlán, Ocotlán, Ejutla, Sola de Vega y Miahuatlán.

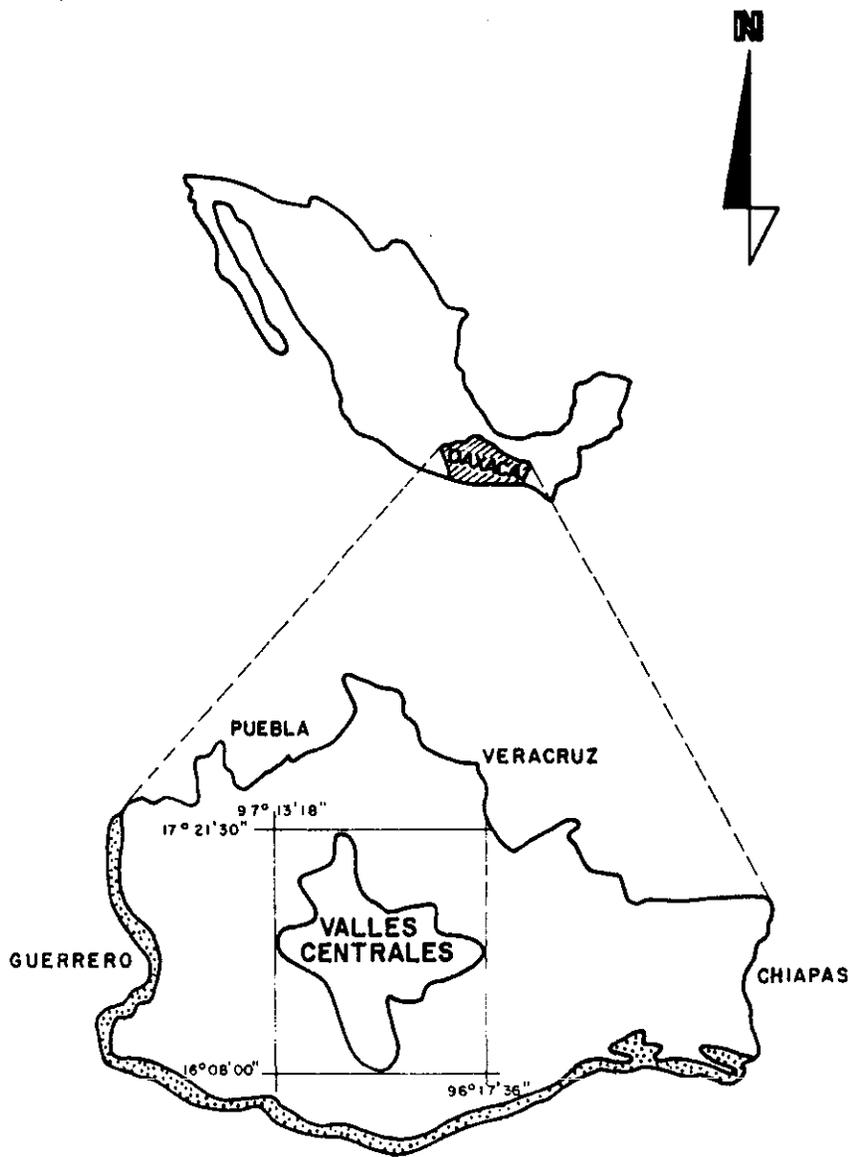


FIGURA 1.- CROQUIS DE LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO

1.2.- Fisiografía.

Para comprender con más claridad la formación de los suelos, es importante conocer la fisiografía o geomorfología de la zona de estudio.

Según Guerra y Jan (1968) la región está conformada por las siguientes geoformas:

A.- Zona montañosa.

Es la parte formada por la porción más elevada y escarpada de la zona.

B.- Zona de pendiente.

Es la parte de la cuesta ubicada inmediatamente abajo de la zona montañosa, con declive menos pronunciado y de pendiente más uniforme.

C.- Zona de falda.

Es la faja más estrecha situada en el quiebre de la cuesta y la planicie.

D.- Zona de planicie.

Es la zona ya estabilizada, compuesta por materiales depositados por las corrientes superficiales más importantes (ríos Atoyac y Salado).

Comprende las terrazas que se indican a continuación:

- Terraza alta.

Es la parte más antigua y más alejada de los ríos.

- Terraza intermedia.

Se localiza en la posición media entre la terraza más próxima a los ríos y la terraza alta.

- Terraza de erosión.

Se encuentra en las márgenes más próximas a los ríos y es de formación reciente.

La fisiografía desempeña un papel fundamental no solamente en el origen de los suelos, sino también en las características del clima de la región pues es evidente que las escasas precipitaciones que se presentan están determinadas esencialmente por la orografía que rodea a los valles.

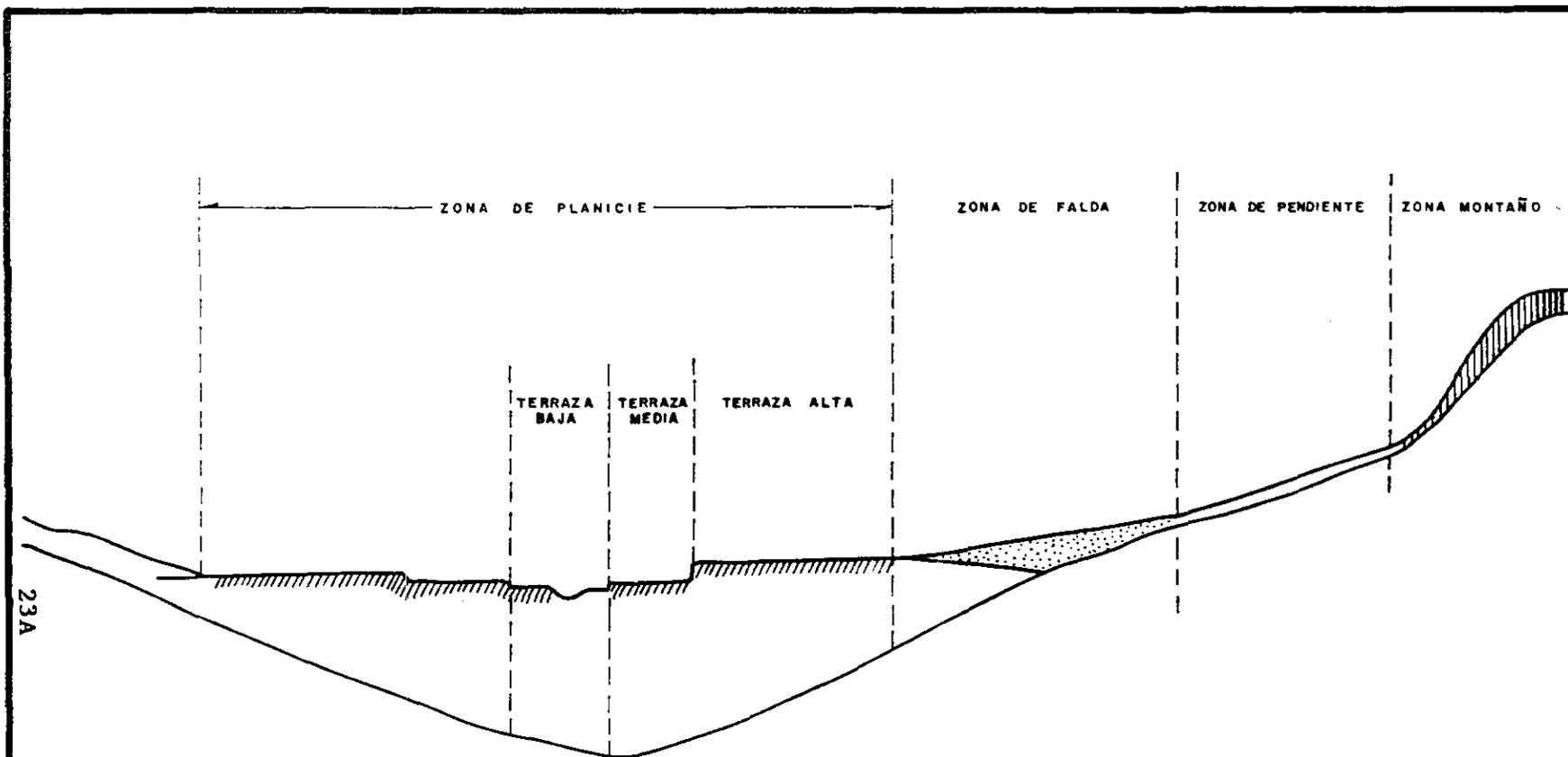


FIGURA 2.- FISIOGRAFIA (CORTE TRANSVERSAL DEL VALLE)

FUENTE: Guerra y Jan (1968)
 recursos de suelos y aptitud
 agrícola en los valles centrales
 de Oaxaca.

1.3.- Geología.

De acuerdo al INEGI (1984) en los Valles Centrales de Oaxaca se localizan rocas metamórficas, volcánicas y sedimentarias.

Las rocas metamórficas son las más antiguas, pues datan de la Era Precámbrica (1100 millones de años) y están representadas básicamente por el gneis, cuya formación es el resultado de la alteración metamórfica del granito.

Las rocas volcánicas son de formación más reciente y fueron originadas por la actividad ígnea extrusiva ocurrida en el Periodo Terciario, particularmente en el Oligoceno y Mioceno de la Era Cenozoica (40 millones de años). Las rocas características de éste periodo son las andesitas y tobas ácidas frecuentemente de tipo riolítico.

Las rocas sedimentarias presentan mayor variedad, ya que están representadas por calizas, lutitas, areniscas y conglomerados, las cuales son de formación intermedia, puesto que cronológicamente se ubican entre la Era Precámbrica y la Era Cenozoica, es decir pertenecen a la Era Mesozoica, específicamente del Jurásico Superior y Cretácico Inferior (130 millones de años).

La composición mineralógica de las rocas existentes es variable. El gneis presenta una composición mineralógica similar a la del granito al ser su equivalente metamórfico.

Pearl (1971) describe al gneis como una roca compuesta por cuarzo; feldespatos, principalmente de potasio (ortoclasa); micas y anfíbola, siendo el cuarzo el más importante al representar el 72.1% de la composición total.

La toba ácida está constituida primordialmente por materiales piroclásticos de origen volcánico de naturaleza riolítica. La riolita es la roca extrusiva equivalente del granito, en consecuencia su composición mineralógica es similar a la descrita para el gneis, con la diferencia de que se trata de materiales finos en estado de compactación.

La andesita es una roca intermedia básica, cuyos constituyentes minerales son los feldespatos, particularmente las plagioclasas (anortita y albita), la augita, el olivino y minerales de hierro.

Según Tellez (1974) la estructura mineralógica de las rocas sedimentarias es la que se detalla: arenisca formada fundamentalmente por cuarzo (70%), feldespatos (8.4%), minerales arcillosos (7%) y calcita y dolomita (10.6%); caliza constituida esencialmente por cuarzo muy fino y arcilla; por último el conglomerado compuesto por grava cementada, cuyos minerales dominantes son el cuarzo y la calcedonia.

Las rocas descritas se distribuyen en diferente proporción en la región. El gneis es la roca que ocupa la mayor extensión en el área de estudio, se distribuye uniformemente en la parte norte del área y en general sigue la margen derecha del río Atoyac en las zonas cerriles, de lomeríos y montañosas.

La toba ácida se localiza en una pequeña porción de la zona de interés y se restringe principalmente al distrito de Tlacolula.

La andesita se extiende en las porciones montañosas aledañas a Ocotlán. Al igual que la toba ácida es muy reducida su distribución en el área.

Las lutitas, areniscas y calizas, generalmente se encuentran muy correlacionadas por tratarse de rocas sedimentarias. Se distribuyen irregularmente en pequeñas porciones dispersas por toda el área de estudio. Se localiza en los distritos de Etlá, Centro, Tlacolula y Sola de Vega.

Por último los conglomerados se encuentran principalmente en el distrito de Miahuatlán en la parte sur de la región.

De todas las rocas descritas, las metamórficas son las más importantes por ocupar la mayor extensión en la región de los Valles Centrales de Oaxaca. Su influencia ha sido marcada en la formación de los suelos.

1.4.- Clima.

En la región bajo estudio el carácter del clima está determinado esencialmente por la interacción de la orografía y la circulación atmosférica, ya que a pesar de situarse geográficamente dentro de la zona tropical, presenta sobre todo en la zona de planicie y de lomeríos un clima semiseco de tipo semiárido, debido a las barreras montañosas existentes en la porción norte de los valles, representadas por la Sierra Madre de Oaxaca, la cual se interpone a la trayectoria de los vientos húmedos (alisios) provenientes del Atlántico Norte, originando así abundantes precipitaciones en los límites con el estado de Veracruz. En contraste en los Valles Centrales dichos vientos llegan con bajos contenidos de humedad, y al descender se calientan provocando mayor capacidad de saturación de vapor de agua de la atmósfera. Esto incrementa la temperatura a la cual el vapor de agua se condensa para originar la formación de los sistemas nubosos, lo que reduce la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones en la zona.

Las pocas y erráticas precipitaciones que se presentan en la región, se deben principalmente a las lluvias de tipo convectivo que se generan por los calentamientos locales de la atmósfera, específicamente por el enfriamiento que se produce por el ascenso de las masas de aire caliente y su posterior precipitación. Otra fuente de precipitaciones es la generada por el efecto de los

ciclones tropicales formados en el Océano Pacífico en las costas de Chiapas y Oaxaca, los cuales en su trayectoria inicial se dirigen al interior del estado de Oaxaca debido a la influencia mínima que ejerce la Fuerza de Coriolis en las latitudes cercanas al ecuador. Conforme avanzan más al norte los ciclones recurvan hacia el noroeste por la acción desviadora de la Fuerza de Coriolis en latitudes más altas.

Durante su trayectoria los sistemas nubosos de algunos ciclones logran internarse a los Valles Centrales, fenómenos meteorológicos que aunque esporádicos constituyen una fuente importante de precipitaciones.

En los Valles Centrales de Oaxaca y particularmente en su parte agrícola, la escasa precipitación no es el único factor climático limitante, sino también la sequía intraestival que se presenta a finales de julio y durante agosto, fenómeno conocido regionalmente como "canícula". Esta representa el período seco del temporal de lluvias y es la causa principal de pérdidas agrícolas por sequías. En el caso del maíz el problema se acentúa debido a la coincidencia de la floración y llenado de grano con la "canícula".

Más específicamente los climas principales en la región, de acuerdo a la clasificación climática de Köppen modificada por García (1988) son los que se desglozan en seguida:

1.4.1.- Clima templado subhúmedo: C (w1) (w).

En general éste clima se identifica por presentar una temperatura media en el mes más frío menor de 18 °C; precipitación del mes más húmedo en el verano mayor de diez veces la del mes más seco, precipitación del mes más seco menor de 40 mm, lluvia invernal menor de 5% y precipitación anual mayor que la que constituye el límite de los climas B y menor que el límite de los climas C(m). Es característico de las partes montañosas donde la precipitación orográfica aumenta en verano por los movimientos convectivos del aire y por la influencia de los ciclones tropicales.

Se define como un clima templado subhúmedo con lluvias en verano y se encuentra en posición intermedia entre los tipos más lluviosos y los menos lluviosos, dentro del grupo que los engloba. Además se caracteriza por presentar una temperatura media anual menor de 18 °C.

Por su naturaleza templada, se distribuye esencialmente en las partes montañosas del área de estudio.

1.4.2.- Clima semicálido subhúmedo: (A) C (w0) (w).

Se distingue por tratarse de un clima de transición entre el templado y el cálido con lluvias en verano. Su contenido de humedad es el más bajo del grupo al que pertenece. En cuanto a su naturaleza térmica, se caracteriza por la existencia de una temperatura media anual entre 18 y 22 °C.

Dadas sus características de humedad y temperatura, se localiza entre las partes más bajas (valles) y las partes más altas (montañas), generalmente en las zonas de lomeríos y cerriles.

1.4.3.- Clima semiseco semicálido : BS1 Hw (w).

Se trata de un clima semiseco o semiárido, cuya característica primordial es la ocurrencia de escasas precipitaciones durante el verano. Se caracteriza por ser intermedio entre los climas muy áridos BW y los húmedos A y C, y su temperatura media oscila de 18 a 22 °C.

Se distribuye fundamentalmente en las áreas más planas y de lomeríos en lo que fisiográficamente se conoce como zonas de planicie y de falda.

Del análisis del clima se deduce que los tipos climáticos están estrechamente relacionados con la fisiografía, puesto que el clima templado subhúmedo se localiza primordialmente en las áreas montañosas que circundan a la región; el clima semicálido subhúmedo existe fundamentalmente en la zona de lomeríos y cerriles, y finalmente el clima semiseco semicálido se ubica en las partes más bajas y más planas del área de estudio (valles).

La fisiografía es un factor muy importante en la modificación del clima en la zona de estudio, ya que las sierras que rodean al valle constituyen verdaderas barreras montañosas sobre las que precipitan los vientos húmedos procedentes del Atlántico Norte y los sistemas nubosos derivados de los ciclones tropicales formados en el Océano Pacífico y Mar de las Antillas, restringiendo así severamente las precipitaciones en la parte agrícola de los Valles Centrales, lo que les confiere el clima semiárido que los caracteriza.

1.5.- Agroclimatología.

La caracterización climática a nivel de tipos de clima como la descrita, se basa en valores anuales promedio de la lluvia, la temperatura y la evaporación; valores que no reflejan las fluctuaciones climáticas y menos durante períodos más cortos relacionados con las exigencias y cambios fenológicos de los cultivos, por eso se hace necesario un análisis climatológico más

riguroso de períodos más cortos (decenales o semanales) en términos de probabilidad de los elementos más importantes para la agricultura, a través de un análisis agroclimático.

Para el análisis agroclimático del presente trabajo se utilizó la información de 8 estaciones climatológicas, de las cuales se seleccionaron los datos correspondientes a los meses del temporal (abril-octubre). Posteriormente al considerar el ciclo de desarrollo del maíz criollo establecido en la región calculado en cuatro meses, se eligió el período junio-septiembre a nivel decenal a partir de datos diarios.

Las estaciones utilizadas y sus características se esquematizan en el cuadro siguiente.

Cuadro 5. Características de las estaciones climatológicas analizadas de los Valles Centrales de Oaxaca (1993-1994).

Estación	localización	altura snm (m)	años obs.
Jalapa	16° 17' LN 97° 47' LW	1650	71-88
Zimatlán	16° 52' LN 96° 47' LW	1496	72-91
Tlapacoyan	16° 45' LN 96° 49' LW	1450	72-91
Etla	17° 43' LN 96° 45' LW	1450	72-88
Miahuatlán	16° 30' LN 96° 35' LW	1505	71-88
S. M. Ejutla	16° 30' LN 96° 30' LW	1360	71-91
Ocotlán	16° 47' LN 96° 40' LW	1460	72-88
Coyotepec	16° 57' LN 96° 42' LW	1460	72-91

En el cuadro se observa que el período de observación de los datos varió de 17 (1972-1988) a 21 años (1971-1991) y la localización sobre el nivel del mar fluctuó de 1360 a 1650 m., existiendo una altura promedio de 1479 m.

Los elementos climatológicos usados en el análisis fueron: temperatura máxima, temperatura mínima, precipitación pluvial, días con lluvia y evaporación; a partir de los cuales se generaron índices agroclimáticos usados en la evaluación y agrupación de las estaciones climatológicas.

1.6.- Vegetación.

El clima es el factor que condiciona el tipo de vegetación existente en los Valles Centrales de Oaxaca.

Según Anglesio (1968) citado por Guerra y Jan en las zonas de planicie y de lomeríos suaves la vegetación natural prácticamente ha sido eliminada por el desarrollo de la agricultura y sólo se reduce a vestigios aislados de bosque espinoso, que se distingue por ser un tipo de vegetación que engloba un grupo heterogéneo de comunidades vegetales, que tienen la característica común de ser bosques bajos y cuyos componentes son esencialmente árboles espinosos. Se desarrolla a menudo en lugares con clima seco y en el área las especies representativas son el mezquite (Prosopis laevigata), guamúchil (Pithecellobium dulce) y huizache (Acacia farnesiana).

El bosque espinoso se adapta mejor en suelos relativamente profundos y es característico de los climas semiáridos del tipo BS1 Hw (w) que se presenta en esta porción de los valles.

Además del bosque espinoso en la zona de planicie principalmente en las partes más húmedas cercanas a las corrientes superficiales, existe un tipo de vegetación hidrófita, que responde más bien a condiciones del suelo y está representada básicamente por sauz (Salix chilensis), fresno (Fraxinus viridis), ahuehuete (Taxodium mucronatum) y carrizo (Phragmites communis).

En las zonas propiamente de lomeríos y en las zonas de pendiente ubicadas inmediatamente abajo de la zona montañosa predominan el Bosque de Quercus y Matorral Xerófito.

El Bosque de Quercus son comunidades cuya altura varía de 2 a 30 m. , generalmente son de tipo cerrado, pero también los hay abiertos. Varían de totalmente caducifolios a totalmente perennifolios y pueden formar masas puras, pero es más frecuente que la dominancia se reparta entre varias especies del mismo género y a menudo están asociados a manchones aislados de pinos, pero regularmente éste tipo de vegetación se localiza como franja a niveles altitudinales inferiores a los del pinar. Se observa sobre diversas clases de rocas, pero en la zona normalmente se haya sobre rocas volcánicas y metamórficas y en suelos someros de terrenos rocosos e inclinados o de pedregales, en los que usualmente se hayan en simbiosis con cierto género de hongos.

En la zona de estudio el Bosque de Quercus está representado por varias especies de encinos agrupadas en el género Quercus y se desarrolla preferentemente en el clima de transición entre el templado subhúmedo y semicálido subhúmedo.

El Matorral Xerófito reúne comunidades de porte arbustivo, propias de zonas áridas y semiáridas, cuyos rasgos climáticos suelen ser elevada radiación solar, humedad atmosférica en general baja, escasas precipitaciones y evaporación y transpiración muy elevadas.

En los valles que se analizan el Matorral Xerófito se desarrolla en el tipo de clima BS1 Hw (w) y en el de transición entre el templado subhúmedo y el semicálido subhúmedo. Se observa prácticamente en todo tipo de condiciones topográficas y no hacen mayor discriminación en lo relativo al sustrato geológico, pero prefieren suelos de texturas arenosas debido a su mayor infiltración, por lo mismo también prosperan en tierras pedregosas. Así no es raro éste tipo de vegetación en laderas rocosas con suelos someros y discontinuos con una biomasa mayor que la de terrenos aluviales más profundos,

El Matorral Xerófito está representado en la región básicamente por nopal (Opuntia sp), tunillo (Lemaireocereus treeasei), maguey (Agave tequilana) y yuca (Yucca sp). Ambos tipos de vegetación son característicos de clima semicálido semiseco.

Finalmente en la zona montañosa domina el bosque de coníferas, particularmente asociaciones de pinos, que se desarrollan en un clima templado subhúmedo y están representados por Pinus patula, Pinus pseudostrobus, Pinus ayacahuite, Pinus rudis, Pinus strobus, Pinus iawasonii y Pinus teocote.

Los bosques de pinos se presentan en la zona en las partes montañosas en donde el clima es relativamente frío y húmedo del tipo Cw en la clasificación de Köppen. En general se trata de áreas afectadas permanente por heladas durante el invierno y la precipitación se concentra en un período de 6 a 7 meses. En la región prefieren los suelos derivados de rocas volcánicas y metamórficas, probablemente por el pH ligeramente ácido que se genera en dichos suelos. En resumen podemos decir que las pináceas son en su mayoría comunidades resistentes a las heladas, a un largo periodo de sequía, a incendios frecuentes, al pastoreo y a otros tipos de maltrato; se establecen a menudo sobre suelos someros y muchas veces pobres en nutrientes minerales.

1.7.- Suelos.

El origen de los suelos de la región se remonta al Período Cuaternario de la Era Cenozoica (1 millón de años) y según la clasificación FAO/UNESCO (1968) y la Taxonomía de Suelos o Sistema Americano resumido por Estrada (1981) son los que se citan en el cuadro siguiente.

Cuadro 6. Suelos existentes en la región de los Valles Centrales de Oaxaca.

Sistema Americano.		Sistema FAO/UNESCO	
Categoría	Suelo	Categoría	Suelo
Orden	Entisol	Unidad	Regosol + Litosol
Suborden	Psamments		
Grangrupo	Ustipsamments		
Subgrupo	Tipic ustipsamments		
Familia	Tipic ustipsamments franco mezclado isotérmico		
Orden	Entisol	Unidad	Fluvisol
Suborden	Fluvents		
Grangrupo	Ustifluvents		
Subgrupo	Tipic ustifluvents		
Familia	Tipic ustifluvents franco mezclado isotérmico		
Orden	Molisol	Unidad	Feozem
Suborden	Ustol		
Grangrupo	Argiustol		
Subgrupo	Udic argiustol		
Familia	Udic argiustol fco. fino mezclado		
Orden	Vertisol	Unidad	Vertisol
Suborden	Uderts		
Grangrupo	Pelluderts		
Subgrupo	Entic pelluderts		
Familia	Entic pelluderts fino mezclado isotérmico		

Fuente: Anónimo (1988).

Del cuadro se desprende que la clasificación FAO/UNESCO es más simple, pues sólo comprende dos categorías conocidas como unidad y subunidad, y son equivalentes al Grangrupo y Subgrupo de la Clasificación Americana.

En el origen de los suelos mostrados en el cuadro han influido los cinco factores de formación (material parental, clima, organismos, relieve y tiempo), pero los de mayor importancia son el material geológico (rocas) y el clima.

En concordancia con la geología dominante de la región representada por rocas metamórficas, particularmente el gneis los suelos predominantes derivados de aquellas son los Regosoles Dústricos y los Litosoles, que en conjunto abarcan el 75% de la superficie total (Castillo, 1990).

Los Regosoles Dústricos son suelos poco desarrollados con características muy ligadas al material parental, poco profundos, texturas generalmente gruesas, incipiente formación de horizontes, pobres en materia orgánica y colores relativamente claros.

Los Litosoles son todavía menos evolucionados que los Regosoles Dústricos y se distinguen por estar más estrechamente relacionados con la roca madre, a tal grado que ni siquiera presentan características de diagnóstico para clasificarlos a nivel de subunidades y normalmente se localizan en áreas accidentadas o montañosas.

Tanto los Regosoles Dústricos como los Litosoles presentan texturas frecuentemente arenosas debido a la influencia determinante del gneis que les ha dado origen. Los constituyentes minerales más importantes del gneis (cuarzo y ortoclasa) se caracterizan por su elevada resistencia a la transformación física y química, por consiguiente los suelos derivados presentan regularmente texturas relativamente gruesas.

En comparación con la geología, el clima ha tenido poca influencia en la formación de los Regosoles Dústricos y los Litosoles, como se infiere del escaso contenido de arcillas de éstos suelos, a pesar de que los feldespatos (ortoclasa) en su proceso de transformación química se convierten en minerales arcillosos, bajo condiciones de precipitaciones intensas, las cuales no ocurren en la región.

Los suelos descritos, se localizan mayoritariamente en las sierras, lomeríos y montañas; por ende son muy susceptibles a la erosión hídrica, dado el relieve relativamente accidentado en el que se encuentran y por las texturas franco arenosas que presentan.

El siguiente grupo de suelos que sigue en importancia es el Feozem Lúvico, el cual representa el 10% de la superficie global (Castillo, 1990). Esta subunidad de suelos se distingue por

presentar un horizonte superficial relativamente obscuro por la considerable cantidad de materia orgánica acumulada y por la presencia de arcilla iluvial depositada en el horizonte subsuperficial. Son suelos que en lo fundamental se han derivado de la asociación de lutitas-areniscas, de allí las texturas frecuentemente francas, franco arcillosas y franco arcillo arenosas que presentan, derivadas de las arcillas de las lutitas y las arenas originadas de las areniscas.

Se trata de suelos muy favorables para la agricultura, debido a su buena capacidad de retención de humedad y su fertilidad natural aceptable.

Se distribuyen esencialmente en las márgenes de los ríos Atoyac y Salado a una distancia en la que ya no se manifiesta la influencia de los materiales aportados por los escurrimientos superficiales.

Los Vertisoles Pélicos ocupan una superficie aproximada del 4% del área total (Castillo, 1990).

Aguilar (1969) comenta que las rocas con minerales ricos en fierro, calcio y magnesio, como es el caso de las andesitas y las calizas bajo condiciones moderadas de humedad, dichas rocas se transforman en minerales arcillosos del tipo de la montmorillonita, que es el constituyente principal de los Vertisoles Pélicos.

Dadas las características restrictivas de humedad que impone el clima semiárido de la región, es muy probable que las andesitas y calizas en su proceso de intemperismo físico y químico dieron origen a los Vertisoles Pélicos de la zona de estudio.

La montmorillonita característica típica de los Vertisoles Pélicos es la que explica el agrietamiento periódico que padecen éstos suelos en correspondencia con los períodos secos del año.

Se trata de suelos relativamente favorables a la agricultura por su elevada capacidad de retención de humedad, alta capacidad de intercambio catiónico y por su significativa fertilidad natural, siempre y cuando se les de un buen manejo.

Los Vertisoles Pélicos se distribuyen en las proximidades dónde sobreyacen las andesitas y calizas básicamente en las zonas aledañas a Ocotlán, Zimatlán, San Bartolo Coyotepec y Etlá.

Finalmente los Fluvisoles Dístricos que son los que se han formado en las áreas de influencia de los ríos y arroyos, por consiguiente son el resultado de las continuas depositaciones provenientes de las partes altas.

Son suelos que presentan estratos en los que predominan las texturas franco arenosas derivadas de la descomposición de las rocas dominantes (gneis), de las cuales provienen los materiales arrastrados por las corrientes superficiales.

Los Fluvisoles Dústricos se localizan primordialmente en las márgenes más próximas de los ríos Atoyac y Salado.

Del análisis precedente se concluye que los suelos más difundidos en la región son los Regosoles Dústricos y los Litosoles, que por sus texturas franco arenosas, baja capacidad de retención de humedad y baja fertilidad natural, son los menos adecuados para el desarrollo de la agricultura.

Los suelos dedicados a la agricultura son fundamentalmente los que se localizan en la zona de lomeríos y la planicie, en las que se han desarrollado suelos del tipo de los Feozems Lúvicos, Vertisoles Pélicos, Fluvisoles Dústricos y Regosoles Dústricos de porciones relativamente planas de la región, que en conjunto engloban aproximadamente el 29% de la superficie total.

Los análisis de suelos de los estudios agrológicos revisados reportan un pH que oscila de ligeramente alcalino a neutro, debido posiblemente al intemperismo de las calizas y de las andesitas, escasas precipitaciones, altas evaporaciones, y probablemente al hecho de tratarse de una cuenca que con las erupciones vocánicas del Terciario se convirtió en una cuenca cerrada.

Las características más comunes de los suelos de la región son la presencia de texturas franco arenosas, pobres en materia orgánica, poca profundidad y pH ligeramente alcalino, que comparadas con las exigencias edáficas del maíz resulta que no son las más propicias para el desarrollo óptimo de dicho cultivo. Si a lo anterior aunamos el manejo y primordialmente el establecimiento legendario del monocultivo del maíz, entonces entenderemos la baja fertilidad de los suelos de los Valles Centrales de Oaxaca, pues según Guerra y Jan (1968) las tierras de la región fueron ocupadas por los zapotecos en el año 1000 a. de C. y para el período 900-300 después de C. estaban totalmente poblados por agricultores zapotecos y mixtecos.

2.- Método.

La secuencia de pasos para la elaboración del presente trabajo son los que se desglosan a continuación.

2.1.- Elección del área de estudio.

Se eligió la región de los Valles Centrales por tratarse de una zona con severas restricciones climáticas para el desarrollo de la agricultura de temporal, particularmente la escasa e

irregular precipitación que se presenta durante el período lluvioso y sobre todo por ser una zona en la que se concentra una considerable población del estado, particularmente de las cabeceras municipales de los distritos de Etna, Oaxaca, Tlacolula, Zimatlán, Ocotlán, Ejutla, Sola de Vega y Miahuatlán, localizadas principalmente en la parte agrícola de los valles.

2.2.- Recopilación de la información.

En esta etapa del trabajo se recurrió a la Gerencia de la Comisión Nacional del Agua en el estado de Oaxaca, para solicitar los datos diarios de todas las estaciones climatológicas existentes en los Valles Centrales. Finalmente se eligieron ocho estaciones que reunieron la mayor información para el análisis.

Además se recabó la información edafológica contenida en los estudios agrológicos disponibles de la región realizados entre los años 1968 y 1988, así como la información relacionada con el cultivo del maíz.

2.3.- Organización decenal de los datos climatológicos.

Para conocer los requerimientos climáticos del cultivo de maíz durante su ciclo de desarrollo, especialmente en lo referente a sus necesidades hídricas y térmicas, se procedió a la agrupación decenal de los datos diarios de temperaturas (máxima y mínima), lluvia, días con lluvia y evaporación.

2.4.- Captura de los datos climatológicos.

Dado que los datos climatológicos fueron muy numerosos, se procedió a su captura con el propósito de facilitar su posterior tratamiento estadístico.

La captura de los datos se efectuó en microcomputadora en hoja electrónica (Lotus 123 versión 2.0) y en Harvard Graphics versión 2.3 se efectuó la elaboración de las gráficas de los períodos de crecimiento.

2.5.- Estimación de los datos faltantes.

Todas las variables climáticas presentaron datos "perdidos" en diverso grado, por lo que se planteó la necesidad de estimar los datos faltantes.

Para las temperaturas (máxima y mínima) y la evaporación, la estimación se hizo a través de la media, dado que se trata de variables que generalmente siguen una Distribución Normal debido a su comportamiento relativamente estable durante el año, y con mayor razón cuando se trata del período junio-septiembre como en el presente trabajo.

Para la lluvia y los días con precipitación el procedimiento para el cálculo de los datos inexistentes se realizó mediante la moda, en virtud de que se trata de variables meteorológicas que no se ajustan a una distribución de tipo gaussiano, debido a sus comportamientos erráticos durante el temporal.

2.6.- Cálculo del período de crecimiento.

Para determinar la estación de crecimiento se optó por la aplicación del método gráfico propuesto por Fréré y Popov (1980), el cual consiste en el cálculo de un balance simple de humedad. Las variables involucradas fueron la evapotranspiración potencial (ETP) y la lluvia promedio y al 70% de probabilidad de ocurrencia.

La evapotranspiración potencial se calculó según el criterio propuesto por Benavides (1979), el cual consiste en afectar a la evaporación por 0.80.

El procedimiento establece que el inicio del período de crecimiento se produce en el punto en el que se cruzan la precipitación y el 50% de la ETP. Este criterio no es arbitrario sino que es el resultado de muchas experiencias a nivel mundial, en las que se evidenció que las necesidades de germinación de los cultivos son más o menos equivalentes a la cantidad de lluvia en el momento que se iguala a la mitad de la ETP. En cuanto a la terminación de la estación de crecimiento también considera que se produce de nuevo en el cruce de la precipitación con el 50% de la ETP.

2.7.- Cálculo del balance de humedad del suelo.

Para cuantificar las disponibilidades de humedad para el cultivo de maíz, se contabilizaron los aportes proporcionados por la lluvia (PP), la evapotranspiración del maíz (ETC) y la capacidad de almacenamiento del suelo.

La evapotranspiración del cultivo (ETC) se generó al afectar a la evapotranspiración potencial (ETP) por el coeficiente de desarrollo del maíz, el cual varió de acuerdo a las diferentes etapas fenológicas del cultivo.

Con las anteriores variables se obtuvo la evapotranspiración real (ETR), las reservas de humedad del suelo (RS), los déficits de humedad y el índice de humedad (IH). Este se determinó mediante la siguiente expresión matemática:

$IH = 100 - [(DEF/\Sigma ETC) * 100]$ en la que:

IH = índice de humedad (%).

DEF = déficit de humedad (mm).

ETC = evapotranspiración del cultivo (mm).

El balance hídrico es una herramienta muy útil para detectar los períodos críticos en los que se presentan deficiencias de humedad, las etapas en que los cultivos satisfacen sus demandas hídricas, las fases del ciclo en las que pueden ocurrir excedencias y la variación de las reservas de humedad del suelo.

El índice de humedad es una variable agroclimática muy importante, ya que refleja las condiciones de humedad y porque en su cálculo intervienen una serie de variables climáticas, agroclimáticas y edáficas.

2.8.- Cálculo de los índices agroclimáticos.

Con los valores de las temperaturas (máxima y mínima) se generó la temperatura promedio, con la simple suma de ambas y dividiendo entre dos. Además con dichas temperaturas se obtuvieron las unidades calor para el cultivo de maíz.

El método para el cálculo de las unidades calor fue el residual, cuya expresión es:

$$UC = [(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})/2] - 10 \text{ dónde:}$$

UC = unidades calor.

T_{máx} = temperatura máxima (°C).

T_{mín} = temperatura mínima (°C).

10 = temperatura base del maíz.

Las temperaturas menores de 10°C y mayores de 30°C se consideraron iguales a los valores señalados, ya que en ambos casos al rebasarse el rango de temperaturas en el que puede prosperar el maíz se afecta su desarrollo.

Además de la temperatura media y las unidades calor, también de las temperaturas máximas se obtuvo la temperatura máxima promedio, por considerar que dichas temperaturas pueden afectar el desarrollo normal del maíz, no así las temperaturas mínimas que en general no descienden por abajo de la temperatura base de dicho cultivo.

La lluvia recibió un tratamiento especial, por tratarse de un elemento climatológico cuyo comportamiento dista mucho de ser normal, dada su gran variabilidad tanto espacial como temporal, sobre todo cuando el período de análisis es relativamente corto, como es el caso del presente trabajo en el que los datos están referidos a nivel decenal. Es por esto que se decidió utilizar la Distribución Gamma para el cálculo de las probabilidades de lluvia al 70%, por ser una función de probabilidad a la cual se ajustan satisfactoriamente los datos de lluvia.

Adicionalmente se cuantificó la lluvia promedio con el propósito de conocer la sobrestimación de la precipitación cuando se utilizan valores promedio.

Por último de los registros diarios de lluvia se generaron los días con precipitación decenales.

En suma se generaron los siguientes índices agroclimáticos:

- Temperatura máxima promedio (Tmáx).
- Temperatura media (Tmed).
- Unidades calor (UC).
- Lluvia promedio y al 70% de probabilidad (P70).
- Días con lluvia (DCP).
- Índice de humedad (IH).

2.9.- Aplicación del Análisis Multivariado a los índices.

El Análisis Multivariado se efectuó mediante el paquete estadístico Statgraphics versión 5.0.

Antes de someter a las variables agroclimáticas al Análisis Multivariado, particularmente el Análisis de Componentes Principales (ACP) y el Análisis Cluster, se estandarizaron los datos de los índices para evitar la influencia de las unidades de medición en los resultados.

2.9.1. Aplicación del ACP.

El ACP se aplicó:

- A las variables para conocer su correlación y el número de componentes principales, con el fin de detectar cuáles fueron los índices que más influyeron en cada una de las ocho estaciones climatológicas.
- Al ciclo del cultivo para detectar en que decenas tiene más influencia cada uno de los índices agroclimáticos estudiados, específicamente de la temperatura media, probabilidad de lluvia al 70%, días con lluvia y el índice de humedad, por tratarse de las variables más importantes que condicionan el comportamiento de la agricultura en la zona de estudio.

Con el ACP se detectaron las variables clave y las decenas más críticas para el desarrollo del maíz.

2.9.2. Aplicación del Análisis Cluster.

El Análisis Cluster se aplicó para:

- Agrupar las ocho estaciones climatológicas de acuerdo a la temperatura media e índice de humedad, por ser los índices agroclimáticos más importantes.

-Agrupar las decenas de las ocho estaciones climatológicas en base a las variables estudiadas, para conocer el comportamiento del temporal.

2.10.- Zonificación agroclimática.

Combinando la información obtenida de los períodos de crecimiento, balance de humedad del suelo y fundamentalmente del Análisis de Componentes Principales y el Análisis Cluster, se procedió finalmente a la agrupación de las estaciones climatológicas de los Valles Centrales de Oaxaca, tomando como criterios los índices agroclimáticos más importantes (temperatura media e índice de humedad).

V.- RESULTADOS Y DISCUSION.

Los resultados del Análisis de Componentes Principales (ACP) y Análisis Cluster son los que se muestran y se discuten en seguida.

1.- ACP en las estaciones climatológicas representativas.

1.1.- ACP en la estación Coyotepec.

Cuadro 7. Matriz de correlaciones en la estación Coyotepec.

	Tmáx	Tmed	P(70)	DCP	UC	IH
Tmáx	1.000					
Tmed	0.996	1.000				
P(70)	-0.951	-0.958	1.000			
DCP	0.702	0.723	-0.858	1.000		
UC	0.752	0.724	-0.638	0.522	1.000	
IH	-0.792	-0.774	0.649	-0.500	-0.976	1.000

En el cuadro es evidente que existe un comportamiento opuesto de las temperaturas (máxima y media) con el total de precipitación al 70% de probabilidad, es decir conforme se incrementan las temperaturas disminuyen las lluvias. La correlación inversa que se presenta entre las temperaturas con la lluvia al 70% de probabilidad, es característica de las precipitaciones de tipo convectivo que se presentan en la zona, ya que los calentamientos locales incrementan la capacidad de saturación de vapor de agua de la atmósfera y con ello disminuyen las posibilidades de formación de sistemas nubosos, reduciendo así las probabilidades de ocurrencia de lluvias.

El comportamiento del índice de humedad con las unidades calor es similar al que existe entre las temperaturas y las precipitaciones, lo cual es lógico ya que las unidades calor se derivan de las temperaturas y en el índice de humedad está implícita la lluvia.

Un aspecto interesante que se aprecia en el cuadro, es la correlación inversa que existe entre la precipitación al 70% de probabilidad y los días con precipitación, cuya interpretación significa que a mayores precipitaciones se reducen los días con lluvia. Aparentemente se debe a una situación anormal, pero en realidad se trata de una característica típica de las regiones

con clima semiárido, en las que el temporal de lluvias se caracteriza por su corta duración y por la ocurrencia de algunas precipitaciones torrenciales (Kenneth, 1985), sobre todo al inicio y fin del temporal, probablemente debido a precipitaciones derivadas de ciclones tropicales, los cuales a pesar de ser pocos los eventos aportan considerables cantidades de agua.

Cuadro 8. Componentes principales en la estación Coyotepec.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	81.03	81.03
2	13.25	94.28
3	5.25	99.53
4	0.45	99.98
5	0.02	100.00
6	0.00	100.00

Del cuadro se desprende que únicamente dos componentes principales son suficientes para explicar más del 90% de la varianza en la estación climatológica Coyotepec, de los cuales el primero explica el 81% y el segundo el 13.25%.

Cuadro 9. Cargas de los principales componentes en la estación Coyotepec.

Variable	componente 1	componente 2
T _{máx}	0.439	-0.074
T _{med.}	0.438	-0.122
P(70)	-0.427	0.362
DCP	0.360	-0.509
UC	0.386	0.544
IH	-0.394	-0.541

Las cargas relativamente altas del primer componente, así como su poca variabilidad indican que en la estación Coyotepec las seis variables estudiadas son significativas. Por otro lado y de acuerdo al signo de las cargas se observa que conforme

aumentan las temperaturas (máxima y mínima), las unidades calor y los días con lluvia, disminuyen la precipitación y el índice de humedad.

En lo que se refiere al segundo componente aparecen explicadas las variables días con precipitación, unidades calor e índice de humedad. Además se puede ver un comportamiento opuesto entre las unidades calor con los días con lluvia, el cual ya fue explicado en el cuadro relacionado con la matriz de correlaciones.

1.2.- ACP en la estación Ejutla.

Cuadro 10. Matriz de correlaciones en la estación Ejutla.

	Tmáx	Tmed	P(70)	DCP	UC	IH
Tmáx	1.000					
Tmed	0.988	1.000				
P(70)	-0.614	-0.698	1.000			
DCP	0.242	0.324	-0.859	1.000		
UC	0.638	0.537	0.015	-0.123	1.000	
IH	-0.711	-0.615	-0.003	0.183	-0.985	1.000

En el cuadro se observa una correlación inversa de las temperaturas con la precipitación al 70% de probabilidad y con el índice de humedad, debido probablemente al efecto que tiene el aumento de las temperaturas sobre la atmósfera al incrementar su capacidad para contener mayor cantidad de vapor de agua, con lo que se reducen las posibilidades de nubosidad y con ello de las probabilidades de precipitación. En cuanto al índice de humedad el comportamiento opuesto con las temperaturas se explica por tratarse de una variable en la que están implícitas tanto las temperaturas como las precipitaciones.

Además existe una elevada correlación del índice de humedad con las unidades calor, lo cual no es casual ya que las unidades calor se derivaron de las temperaturas (máxima y mínima).

En lo que concierne a los días con lluvia se aprecia un comportamiento opuesto con la lluvia al 70% de probabilidad, que significa que al aumentar las precipitaciones disminuyen los días con precipitación, característica común en las zonas semiáridas como es el caso de los Valles Centrales de Oaxaca.

La baja correlación que se presenta de la precipitación al 70% de probabilidad con el índice de humedad y los días con lluvia, se deben posiblemente a lo errático del temporal en el que se tienen decenas con precipitación abundante y otras con precipitación nula y/o escasa, por esa razón la disponibilidad de agua se representa mejor con el índice de humedad derivado del balance hídrico en el que está implícita la capacidad de almacenamiento del suelo.

Cuadro 11. Componentes principales en la estación Ejutla.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	58.25	58.25
2	34.49	92.74
3	7.08	99.82
4	0.14	99.96
5	0.04	100.00
6	0.00	100.00

Del cuadro se deriva que con sólo dos componentes principales se explica el 92.74% de la variabilidad en la estación climatológica de Ejutla, de los cuales el primero representa el 58.25% y el segundo el 34.49%.

Cuadro 12. Cargas de los principales componentes en la estación Ejutla.

Variable	componente 1	componente 2
Tmáx	0.520	0.008
Tmed.	0.509	0.094
P(70)	-0.329	-0.546
DCP	0.180	0.589
UC	0.396	-0.411
IH	-0.416	0.421

Las variables temperatura máxima promedio, temperatura media e índice de humedad aparecen mejor explicadas por el primer componente principal y se puede ver una relación opuesta entre el índice de humedad y la precipitación al 70% de probabilidad con las temperaturas (máxima y media). También se observa que la variable que tiene menor influencia en la estación Ejutla es la relativa a los días con lluvia, de dónde se infiere que se trata en general de una zona relativamente seca.

En el segundo componente principal aparecen con mayor peso la precipitación al 70% de probabilidad, días con lluvia, unidades calor e índice de humedad, lo cual nos induce a pensar que regularmente es una región seca, pero también se presentan algunas decenas con precipitaciones considerables en asociación con bajas temperaturas.

1.3.- ACP en la estación Jalapa.

Cuadro 13. Matriz de correlaciones en la estación Jalapa.

	Tmáx	Tmed	P(70)	DCP	UC	IH
Tmáx	1.000					
Tmed	0.962	1.000				
P(70)	-0.669	-0.757	1.000			
DCP	-0.219	-0.118	-0.554	1.000		
UC	0.309	0.111	0.253	-0.511	1.000	
IH	-0.394	-0.204	-0.300	0.703	-0.964	1.000

En la estación climatológica Jalapa se observa una correlación significativa y opuesta de la precipitación al 70% de probabilidad con las temperaturas, no así con el índice de humedad el cual resultó independiente de las temperaturas, posiblemente por tratarse de una zona en la que las lluvias son más frecuentes en comparación con las estaciones secas y dadas éstas condiciones de humedad considerable el suelo pasa a segundo plano, por eso la baja correlación del índice de humedad con la lluvia.

Una correlación lógica es la que se observa entre los días con precipitación y el índice de humedad, la cual es razonable pues es evidente que a medida que aumentan los días con lluvia también se incrementa el índice de humedad.

Cuadro 14. Componentes principales en la estación Jalapa.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	47.39	47.39
2	42.44	89.83
3	9.83	99.66
4	0.28	99.94
5	0.06	100.00
6	0.00	100.00

En la estación Jalapa se puede ver que los dos componentes principales que explican la variabilidad de su área de influencia, no se diferencian significativamente, pues mientras el primero explica el 47.39% , el segundo lo hace en un 42.44% y globalmente explican el 89.83% de la varianza.

Cuadro 15. Cargas de los principales componentes en la estación Jalapa.

Variable	componente 1	componente 2
Tmáx	-0.441	0.411
Tmed.	-0.358	0.483
P(70)	0.034	-0.615
DCP	0.401	0.318
UC	-0.481	-0.242
IH	0.533	0.246

De acuerdo a las cargas de las variables del primer componente, se aprecia que conforme aumentan los días con lluvia disminuyen las temperaturas debido a la mayor nubosidad que se presenta en una zona relativamente húmeda como la que se discute. Además se observa que los días con precipitación y el índice de humedad presentan cargas considerables y del mismo signo, lo que significa que conforme aumentan los días con lluvia también se incrementa la disponibilidad de agua en el suelo (índice de humedad).

En lo que respecta al segundo componente se observa que existe una relación opuesta de las temperaturas con la precipitación al 70% de probabilidad, lo cual refuerza lo dicho al describir el primer componente en el sentido de disminución de las temperaturas cuándo ocurren mayores precipitaciones.

Lo señalado en la descripción de los dos componentes se confirma aún más por tratarse de una estación localizada a una altura promedio al nivel del mar de 1650 m. y rodeada por sierras aledañas, aspectos que conjuntamente contribuyen al clima relativamente húmedo y fresco que se presenta en esta parte de los Valles Centrales.

1.4.- ACP en la estación Tlapacoyan.

Cuadro 16. Matriz de correlaciones en la estación Tlapacoyan.

	Tmáx	Tmed	P(70)	DCP	UC	IH
Tmáx	1.000					
Tmed	0.987	1.000				
P(70)	-0.536	-0.602	1.000			
DCP	-0.169	-0.114	-0.701	1.000		
UC	0.794	0.714	0.032	-0.574	1.000	
IH	-0.821	-0.751	-0.015	0.595	-0.995	1.000

La lluvia al 70% de probabilidad presentó correlación significativa y opuesta solamente con la temperatura media y los días con precipitación. En el primer caso se debe a los efectos de calentamiento que producen los aumentos de temperatura y con ello mayor capacidad de la atmósfera para retener agua en estado gaseoso, originando de ésta forma el incremento de la temperatura a la cual el vapor de agua se transforma en nubes, dando como resultado la ocurrencia de menores precipitaciones de tipo convectivo. En el segundo caso se refiere a la presencia de lluvias esporádicas pero muy intensas durante la época de actividad ciclónica en el Océano Pacífico, puesto que la estación Tlapacoyan se localiza entre la Sierra Madre del Sur y dicho Océano.

En lo relativo al índice de humedad se observa que tiene una considerable correlación con ambas temperaturas y de signo negativo, lo cual indica que a mayores temperaturas disminuyen las reservas de humedad del suelo, provocadas principalmente por los procesos de evapotranspiración. Lo antes expuesto indica que en las regiones con lluvia irregular resulta muy importante considerar el efecto del suelo, ya que la escasa precipitación se puede aprovechar o no dependiendo de la capacidad de almacenamiento del suelo.

Cuadro 17. Componentes principales en la estación Tlapacoyan.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	62.88	62.88
2	33.97	96.85
3	2.99	99.84
4	0.11	99.95
5	0.05	100.00
6	0.00	100.00

El primer componente explica la mayor cantidad de variabilidad en la estación Tlapacoyan, dado que representa el 62.88% de la varianza y conjuntamente con el segundo componente explica el 96.85% de los cambios.

Cuadro 18. Cargas de los principales componentes en la estación Tlapacoyan.

Variable	componente 1	componente 2
Tmáx	0.490	0.209
Tmed.	0.470	0.261
P(70)	-0.132	-0.675
DCP	-0.221	0.603
UC	0.482	-0.190
IH	-0.492	0.183

Se puede observar que las variables más importantes del primer componente fueron la temperatura máxima promedio, la temperatura media, las unidades calor y el índice de humedad, siendo la precipitación y los días con lluvia insignificantes. Las cargas pequeñas de los DCP y la P(70) significan que comúnmente se trata de una zona con escasas precipitaciones (zona seca).

Las cargas pequeñas de los días con precipitación y de la precipitación al 70% de probabilidad del primer componente, indican que se trata de una zona comúnmente seca, pero en el segundo componente aparecen con valores más elevados lo que significa que también se presentan algunas decenas con mayores precipitaciones en el período junio-septiembre.

2.-ACP Temporal para las variables más importantes.

En el ACP en las estaciones climatológicas considerando las seis variables generadas (temperatura máxima promedio, temperatura media, precipitación al 70% de probabilidad, días con precipitación, unidades calor e índice de humedad), fueron evidentes dos aspectos:

- Elevada correlación entre la temperatura máxima promedio, la temperatura media y las unidades calor.
- En un ambiente que se caracteriza por el desenvolvimiento de un temporal de alta incertidumbre el suelo desempeña un papel fundamental, sobre todo la capacidad de almacenamiento, aspecto que está implícito en el índice de humedad. Además engloba también aspectos climáticos y del cultivo, por ende se trata de un índice agroclimático muy representativo de las condiciones ambientales en que se desarrollan los cultivos.
- Adicionalmente se analizó el comportamiento temporal de la precipitación al 70% de probabilidad y de los días con lluvia para complementar y reforzar el análisis del índice de humedad, por tratarse de las variables más importantes que condicionan el comportamiento de la agricultura de temporal.

Por lo anterior se excluyeron la temperatura máxima promedio, las unidades calor, lluvia al 70% de probabilidad y días con lluvia, quedando únicamente la temperatura media y el índice de humedad para el posterior nivel de análisis.

2.1.- ACP Temporal de la temperatura media.

Cuadro 19. Componentes principales de la temperatura media.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	93.27	93.27
2	3.31	96.58
3	1.85	98.43
4	0.94	99.37
5	0.13	99.79
6	0.11	99.90
7	0.10	100.00

Del cuadro de componentes principales de la temperatura media se desprende que de los doce componentes correspondientes a las doce decenas del ciclo de cultivo del maíz, sólo siete son suficientes para explicar el 100% de la varianza; sin embargo sólo un componente principal explica el 96.58% que es el que se muestra y se describe en seguida.

La existencia de un sólo componente principal para explicar el comportamiento de la temperatura media durante el período junio-septiembre, indica que se trata de una variable climatológica relativamente estable en el lapso de tiempo correspondiente al ciclo del cultivo de maíz.

Cuadro 20. Cargas de los componentes principales de la temperatura media.

Decena	componente 1
1ra. junio	0.250
2da. junio	0.292
3ra. junio	0.279
1ra. julio	0.287
2da. julio	0.298
3ra. julio	0.295
1ra. agosto	0.297
2da. agosto	0.297
3ra. agosto	0.293
1ra. septiembre	0.294
2da. septiembre	0.293
3ra. septiembre	0.286

Según las cargas mostradas en el cuadro, se puede observar que en general la temperatura media es significativa en las doce decenas que comprende el ciclo de desarrollo del cultivo de maíz; no obstante se aprecia también que en el período correspondiente de la segunda decena de julio a la segunda decena de agosto las temperaturas medias son ligeramente superiores, debido a la mayor incidencia de insolación solar al presentarse más frecuentemente días despejados y soleados por el efecto de las menores precipitaciones. Esto significa que en algunos años del período de observación se presentaron en dichas decenas temperaturas relativamente elevadas que probablemente coinciden con la presencia de "canículas" marcadas, causadas por el incremento en el calentamiento de la atmósfera, el cual provoca también el aumento de la temperatura a la cual el vapor de agua contenido en el aire se transforma en nubes (gotas microscópicas de agua), en consecuencia se reducen las posibilidades de precipitaciones de tipo convectivo que son las que están asociadas a los movimientos ascendentes y descendentes del aire debidos a los cambios de temperatura. Morales (1989) complementa la anterior explicación y establece que la presencia de la sequía intraestival tiene como causa el debilitamiento de los vientos alisios, al interactuar con los ciclones tropicales que en esa temporada

pasan por el Golfo de México. Ambos procesos explican el porqué el período seco del temporal se presenta frecuentemente durante ese período, particularmente en la última decena de julio y las dos primeras decenas de agosto.

2.2.- ACP temporal del índice de humedad.

Cuadro 21. Componentes principales del índice de humedad.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	72.88	72.88
2	22.27	95.15
3	3.56	98.71
4	0.86	99.57
5	0.40	99.97
6	0.03	100.00

En el cuadro es evidente que de los doce componentes principales sólo seis bastan para englobar el 100% de la varianza en la región de los Valles Centrales de Oaxaca, de los cuales dos son suficientes para describir el comportamiento de las condiciones de humedad en el área de estudio, ya que ambos comprenden el 95.15% de la variabilidad.

A diferencia de la temperatura media para el índice de humedad se requieren dos componentes principales para explicar su comportamiento en los meses que dura el ciclo del cultivo de maíz, lo que significa que se trata de un índice variable que refleja las condiciones cambiantes de las variables que le dan origen, principalmente la lluvia.

Cuadro 22. Cargas de los componentes principales del índice de humedad.

Decena	componente 1	componente 2
1ra. junio	0.245	-0.406
2da. junio	0.245	-0.406
3ra. junio	0.245	-0.406
1ra. julio	0.267	-0.340
2da. julio	0.266	-0.255
3ra. julio	0.322	0.159
1ra. agosto	0.295	0.270
2da. agosto	0.294	0.281
3ra. agosto	0.318	0.201
1ra. septiembre	0.319	0.190
2da. septiembre	0.318	0.180
3ra. septiembre	0.310	0.198

Los valores de las cargas indican que las disponibilidades de humedad son relativamente bajas en el mes de junio y en las dos primeras decenas de agosto, contrastando con el resto de las decenas en las que la humedad es mayor.

Para conocer si las decenas de menor contenido de humedad mencionadas, son críticas es necesario correlacionarlas con las necesidades hídricas del maíz. En este sentido es obvio que en las primeras decenas de crecimiento el cultivo considerado no requiere de grandes exigencias de humedad dado su incipiente desarrollo vegetativo, en cambio durante la primera y segunda decenas de agosto el maíz se encuentra en la etapa de floración e inicio de la formación de grano, por consiguiente sus necesidades de humedad se han incrementado enormemente en comparación con las primeras fases de desarrollo fenológico. Es por esto que las dos primeras decenas de agosto si son críticas para el cultivo de maíz, a pesar de presentar mayores precipitaciones que las que ocurren en las decenas del mes de junio.

Es pertinente destacar que las decenas más críticas descritas, del mes de agosto coinciden con la "canícula", por eso las deficiencias de humedad se tornan más severas en dicho período.

2.3.- ACP Temporal de la precipitación al 70% de probabilidad.

Cuadro 23. Componentes principales de la precipitación al 70%.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	39.07	39.07
2	26.88	65.95
3	14.58	80.53
4	12.99	93.52
5	4.10	97.62
6	1.70	99.32
7	0.68	100.00

La gran variabilidad que caracteriza a la precipitación se refleja en los cuatro componentes principales que requiere para explicar su comportamiento temporal, ya que en conjunto explican el 93.52% de la varianza.

Cuadro 24. Cargas de los componentes principales de precipitación al 70%.

Decena	comp. 1	comp. 2	comp. 3	comp. 4
1ra. junio	-0.099	-0.476	0.173	0.149
2da. junio	-0.016	0.107	0.015	0.749
3ra. junio	0.155	-0.504	-0.018	0.104
1ra. julio	0.307	-0.214	0.416	-0.175
2da. julio	0.161	-0.280	-0.496	0.215
3ra. julio	0.399	0.015	0.081	-0.324
1ra. agosto	0.377	-0.224	-0.107	0.278
2da. agosto	0.167	0.197	-0.588	-0.166
3ra. agosto	0.409	-0.077	-0.270	-0.158
1ra. septiembre	0.348	0.294	0.109	0.248
2da. septiembre	0.420	0.039	0.301	0.048
3ra. septiembre	0.228	0.450	0.107	0.174

El primer componente refleja el comportamiento general de la lluvia e indica que la precipitación es insignificante en las dos primeras decenas de junio y sólo durante la tercera decena del mismo mes aumenta ligeramente, y dadas las pocas demandas hídricas del maíz en sus etapas iniciales de evolución es probable que la humedad disponible sea suficiente para la germinación, en consecuencia las fechas de siembra pueden establecerse con mayores posibilidades de éxito en la tercera decena de junio. Posteriormente la lluvia aumenta hasta la tercera decena de julio, a excepción de la segunda de dicho mes para luego descender en las primeras decenas de agosto. Las cargas de la primera y segunda decenas de agosto nos indican que la calma de agosto no es propiamente la parte del temporal con menor precipitación, sino más bien representa un descenso de las precipitaciones una vez que se ha regularizado el temporal.

Después, a partir de la última decena de agosto y hasta la segunda decena de septiembre el temporal es relativamente bueno, descendiendo finalmente en la tercera decena de septiembre.

En lo relativo a los otros tres componentes indican que en algunas decenas del mes de junio y las iniciales del mes de agosto las lluvias serán considerables, pero son casos esporádicos que se "desvian" del comportamiento general.

2.4.- ACP Temporal de los días con lluvia.

Cuadro 25. Componentes principales de los días con lluvia.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	44.04	44.04
2	18.03	62.07
3	13.46	75.53
4	11.14	86.67
5	8.33	95.00
6	2.77	97.77
7	2.23	100.00

Al igual que la lluvia los días con precipitación se distinguen por ser muy erráticos, por eso necesitan de cinco componentes principales para explicar la variabilidad temporal en la zona de estudio, pues únicamente así pueden involucrar el 95% de la varianza de la región en cuanto al mencionado factor se refiere.

Los cinco componentes señalados se muestran y se discuten en el cuadro siguiente.

Cuadro 26. Cargas de los componentes principales de los días con lluvia.

Decena	comp. 1	comp. 2	comp. 3	comp. 4	comp. 5
1ra. junio	0.056	0.579	0.039	-0.390	0.037
2da. junio	-0.196	-0.562	-0.076	-0.160	0.189
3ra. junio	-0.350	-0.253	-0.130	-0.037	-0.343
1ra. julio	-0.242	0.099	-0.267	-0.600	0.194
2da. julio	-0.245	-0.350	0.414	-0.264	-0.154
3ra. julio	-0.415	0.141	-0.024	-0.124	0.097
1ra. agosto	-0.378	0.145	0.052	-0.103	0.257
2da. agosto	-0.321	0.199	0.004	0.162	-0.521
3ra. agosto	-0.336	0.193	0.388	0.077	-0.198
1ra. septiembre	-0.199	0.113	0.491	0.358	0.430
2da. septiembre	-0.291	-0.023	-0.315	0.325	0.434
3ra. septiembre	-0.250	0.143	-0.489	0.316	-0.158

Los pesos de las decenas del primer componente principal indican que los días con precipitación son insignificantes en la primera decena de junio y sólo se incrementan ligeramente en la segunda decena del mismo mes. Únicamente en la tercera decena de junio la lluvia es considerable, lo que refuerza la idea esbozada anteriormente en el sentido de considerar a la tercera decena de junio como la más viable para establecer las fechas de siembra del maíz. Después de un leve descenso de los días con lluvia en la primera decena de julio, dicha variable se incrementa hasta la tercera decena de julio para luego descender en las primeras decenas de agosto. Posteriormente asciende ligeramente en la tercera decena de agosto. En seguida, durante las decenas iniciales de septiembre aumenta gradualmente para luego declinar en la última decena del mes mencionado. El comportamiento de las decenas del primer componente principal también complementan la idea de que la calma de agosto no es necesariamente la porción del temporal de menor precipitación, sino que es la parte en la que se produce un descenso de la lluvia cuándo se ha normalizado el temporal. La "canícula" por si misma no expresa deficiencias de humedad. Adquiere ese carácter en el momento que no alcanza a

cubrir las necesidades hídricas del maíz en las fases de mayor demanda de dicho cultivo (floración e inicio de llenado de grano).

El resto de componentes principales expresan la presencia de algunas decenas iniciales de junio y las de septiembre con significativas precipitaciones, pero de ninguna manera reflejan la característica típica de los Valles Centrales.

3.- Análisis Cluster.

El Análisis Cluster es una poderosa herramienta estadística que sirve principalmente para la agrupación de los datos en base a ciertos criterios de clasificación.

En éste trabajo el Análisis Cluster se efectuó para clasificar las ocho estaciones climatológicas de acuerdo a las variables más importantes (temperatura media e índice de humedad).

El índice de humedad se eligió no sólo por su mayor correlación con la precipitación al 70% de probabilidad y los días con lluvia, sino también por tratarse de una variable generada por medio del balance hídrico en el que participaron la lluvia al 70% de probabilidad de ocurrencia; las evapotranspiraciones potencial y real del cultivo, déficits de humedad y la capacidad de almacenamiento del suelo. Por consiguiente es el factor más significativo en la explicación del temporal en la zona.

La temperatura media se eligió como variable representativa de los índices relacionados con las condiciones térmicas en las que se desarrolla el maíz.

Para detectar los rangos de las variaciones de los índices considerados se efectuaron cuatro clusters, con los que fue posible agrupar las estaciones en cuatro categorías que fluctuaron desde las más secas hasta las más húmedas; en cuanto a la temperatura media resultó estrechamente relacionada con la altura, lo cual se puso de manifiesto en la clasificación de las ocho estaciones climatológicas, ya que el rango de oscilación de la temperatura promedio de las estaciones utilizadas es mínimo, dada la relativa constancia de dicho fenómeno meteorológico en el período estudiado.

Por otro lado también se le aplicó el Análisis Cluster a las doce decenas que comprende el ciclo de desarrollo del maíz, con el propósito de conocer el comportamiento de la precipitación al 70% de probabilidad. Lo anterior para tener una idea del inicio y fin del temporal, incluyendo sus etapas intermedias.

3.1.- Análisis Cluster de la temperatura media.

Cuadro 27. Análisis Cluster para la temperatura media.

Grupo	estación
1	Ejutla
	Tlapacoyan
2	Coyotepec
	Ocotlán
3	Etla
	Jalapa
4	Miahuatlán
	Zimatlán

Una vez efectuado el Análisis Cluster, los cuatro grupos detectados fueron los que más se emparentaron espacial y altimétricamente.

El primer grupo estuvo formado por las estaciones climatológicas de San Miguel Ejutla y Tlapacoyan. La primera se localiza a una altura de 1360 m. sobre el nivel del mar y la de Tlapacoyan a una altitud aproximada sobre el nivel del mar de 1450 m., por consiguiente presentan una diferencia altimétrica de 90 m., los cuales no son significativos como para producir un cambio brusco de temperatura, pues se ha demostrado que la temperatura disminuye 0.65°C por cada 100 m. de altura (García, 1989). Así pues, tanto espacial como altitudinalmente ambas estaciones no difieren significativamente, por eso el Análisis Cluster las clasificó como similares desde el punto de vista de sus características térmicas.

El grupo dos estuvo compuesto por las estaciones climatológicas de Coyotepec y Ocotlán. Las dos estaciones están muy próximas entre sí, puesto que sólo las separa una distancia de 18 km. En cuánto a la altura ambas estaciones se localizan a 1460 m. sobre el nivel del mar, por consiguiente sólo se diferencian espacialmente y no siendo considerable la distancia que las separa, entonces térmicamente son similares tal como lo prueba el Análisis Cluster al agruparlas dentro de la misma categoría.

El tercer grupo está constituido por las estaciones climatológicas ubicadas en las poblaciones de Etna y Jalapa. Estas se localizan en el noroeste de la región y están separadas por sólo 20 km. de distancia. Respecto a la altura, la estación Etna está a 1450 m. sobre el nivel del mar y la estación Jalapa se localiza a una altura promedio de 1650 m. sobre el nivel del mar, es decir presentan un desnivel de 200 m. A pesar de que el desnivel aparentemente es grande en una distancia relativamente corta, aplicando el anterior criterio que considera las variaciones de la temperatura en función de la altura, resulta que en 200 m. la temperatura promedio en la estación Jalapa descendería 1.3°C. en comparación con la estación Etna. No obstante la disminución no es lo suficientemente grande como para que el Análisis Cluster las haya considerado diferentes en lo referente a la temperatura media.

El grupo cuatro estuvo integrado por las estaciones climatológicas de Miahuatlán y Zimatlán separadas aproximadamente por 65 km. de distancia. En lo relativo al desnivel que presentan, la primera alcanza una altura sobre el nivel del mar de 1505 m. en cambio la estación Zimatlán está localizada a 1496 m. en referencia al nivel del mar, valores que prácticamente pueden considerarse iguales. La diferencia significativa de las magnitudes que caracterizan tanto a la distancia como a la altura, pone en evidencia que la variación espacial tiene poca influencia en el comportamiento de las temperaturas, no así los cambios altimétricos que pesaron más para que el Análisis Cluster haya clasificado a las estaciones bajo estudio como similares.

En general las zonas siguieron un gradiente de temperatura que aumenta de la parte norte a la porción sur, conforme se avanza hacia la costa del Océano Pacífico; por eso la zona más calurosa resultó ser la representada por las estaciones climatológicas localizadas en San Miguel Ejutla y Tlapacoyan, y área menos calurosa fue la formada por las estaciones Etna y Jalapa del Valle ubicadas en el norte de la región.

3.2.- Análisis Cluster del índice de humedad.

Cuadro 28. Análisis Cluster del índice de humedad.

Grupo	estación
1	Coyotepec
	Ocotlán
2	Ejutla
	Miahuatlán
3	Etla
	Tlapacoyan
4	Jalapa
	Zimatlán

El Análisis Cluster realizado para clasificar a las estaciones climatológicas, en base al índice de humedad arrojó los siguientes resultados.

Para una mejor discusión de los resultados del índice de humedad se hará referencia a los cuadros de balance de humedad del suelo contenidos en el anexo, en virtud de que dicho índice se derivó através del cálculo de dicho balance.

El primer grupo estuvo formado por las estaciones climatológicas localizadas en las poblaciones de San Bartolo Coyotepec y Ocotlán. Las áreas de influencia de ambas estaciones se caracterizan por la existencia de suelos de texturas francas y franco arcillosas, las cuales desempeñan un papel muy importante en la retención de humedad del suelo, sobre todo en regiones dónde la precipitación es escasa y errática como es el caso de los Valles Centrales, en las que contribuyen considerablemente al incremento de las reservas de humedad y con ello reducen los déficits hídricos al disminuir la evapotranspiración real. Por lo tanto las estaciones descritas son similares, principalmente en las primeras cinco decenas del temporal, en las que las necesidades del cultivo de maíz se satisfacen en general en forma satisfactoria, no así en las posteriores decenas del ciclo en las que se reducen los valores del índice de humedad en las dos estaciones, más rápidamente en la estación Ocotlán con respecto a la de Coyotepec.

Es pertinente aclarar que el índice de humedad es acumulativo, por consiguiente si desde el inicio del temporal no se satisfacen los requerimientos del cultivo de maíz en un 100%, los rendimientos se reducen sucesivamente a pesar de que posteriormente se presenten precipitaciones suficientes para cubrir las necesidades evapotranspirativas del cultivo señalado. Este es el caso de la estación Ocotlán en la que en la primera decena de junio la lluvia al 70% de probabilidad es escasa de tal manera que no alcanza a satisfacer las demandas del maíz, por eso el índice de humedad indica que sólo se cubre el 93% de dichas demandas. En la siguiente decena la precipitación es muy significativa, a tal grado que no sólo se satisfacen totalmente los requerimientos del cultivo, sino que además se acumulan reservas en el suelo, y, a pesar de ello el índice de humedad se mantiene constante (93%). Lo mismo puede decirse del período seco del temporal ("canícula"), cuyo inicio se pone de manifiesto por la disminución brusca del índice de humedad en la tercera decena de julio, pero no es evidente su conclusión ya que el citado índice agroclimático se comporta relativamente constante durante el resto de ciclo del maíz.

En general se puede decir que se trata de una parte semihúmeda en la que el cultivo de maíz puede prosperar sin graves restricciones de humedad.

El grupo dos está compuesto por las estaciones climatológicas de las localidades de San Miguel Ejutla y Miahuatlán. En las zonas de influencia de ambas estaciones se presentan suelos de texturas franco arcillosas y franco arenosas respectivamente, que se caracterizan por tener una capacidad de almacenamiento de humedad opuesta, ya que los suelos arcillosos tienen mayor fuerza para retener humedad en comparación con los suelos franco arenosos, por tal razón son menores las reservas de humedad en el área de influencia de la estación Miahuatlán. En la estación Ejutla durante el mes de junio se satisfacen totalmente las demandas hídricas de maíz, tal como lo muestra el valor 1 del índice de humedad en cada una de las tres decenas. En las posteriores decenas se reduce gradualmente para concluir el ciclo del cultivo con un 48%. En la estación Ejutla las restricciones de humedad son más severas, pues ni siquiera en el inicio del temporal alcanzan a cubrirse los requerimientos del mencionado cultivo, puesto que únicamente se cubre el 96% de dichos requerimientos, según lo indica el valor del índice de humedad. En seguida las disponibilidades de humedad se restringen al terminar el ciclo, en virtud de que el índice decrece hasta el 36%.

Las disponibilidades de humedad sólo pueden considerarse satisfactorias hasta la segunda decena de julio, período en el que más del 86% de las necesidades hídricas del maíz son satisfechas, pero posteriormente se reducen al iniciarse la "canícula" en la tercera decena de julio.

El análisis de éste grupo nos induce a pensar que se trata de una zona seca, en la que el maíz se desarrolla con serias limitaciones de agua. Esto no significa que el cultivo no pueda prosperar, simplemente indica que se desarrollará con grandes deficiencias; en consecuencia las sequías son frecuentes y los rendimientos muy bajos.

Las características del grupo descrito se presentan también en la porción oriente de la región en las áreas aledañas a la población de Tlacolula, según lo reportado por Ruiz (1987).

El tercer grupo está constituido por las estaciones climatológicas correspondientes a las poblaciones de Etila y Tlapacoyan. Los suelos ubicados en los alrededores de las estaciones de éste grupo se distinguen por presentar texturas franco arenosas, las cuales son las más desfavorables para la retención de agua dada la gran capacidad de infiltración que les es inherente, lo que conlleva a la reducción de la ya de por sí raquíutica precipitación que ocurre en la zona.

En concordancia con los valores del índice de humedad mostrados en los balances de humedad del suelo, se observa que normalmente en la tercera decena de julio ya no se cumplen satisfactoriamente las necesidades del cultivo de interés, etapa que coincide con el período seco del temporal. La reducción de las disponibilidades de humedad es más marcado en la estación Etila, pues el índice de humedad disminuye de 100% en la segunda decena de julio a 76% en la siguiente decena lo que significa que se ha iniciado la "canícula". En la estación Tlapacoyan sólo se satisface el 94% de las necesidades hídricas del maíz y se reduce el índice de humedad en la siguiente decena a 87%, lo que indica que también ha comenzado la "calma de agosto". De lo descrito se desprende que la "canícula" es ligeramente más severa en el área de influencia de la población de Etila en relación a la de Tlapacoyan.

De la breve discusión se deriva que en las dos zonas de influencia el clima que se presenta es de tipo semiseco, por lo que el maíz se desarrolla con deficiencias considerables de agua, por consiguiente los rendimientos son bajos y no son raros los casos que se presenten pérdidas parciales y/o totales por la ocurrencia de sequías.

El grupo cuatro está compuesto por las estaciones climatológicas ubicadas en las localidades de Jalapa del Valle y Zimatlán. Las áreas dominadas por las estaciones de éste grupo se caracterizan por la existencia de suelos, cuyas texturas varían de francas a franco arenosas. Las primeras son las que conservan la mayor cantidad de agua disponible, por eso desde el punto de vista edafológico los suelos de Zimatlán son mejores que los de Jalapa del Valle. Además en este último poblado la mayoría de suelos son de lomerío, lo cual favorece el escurrimiento superficial que aunado a las pérdidas por infiltración agravan aún más las deficiencias de humedad.

En las dos estaciones el cultivo de maíz se desarrolla satisfactoriamente hasta la segunda decena de julio, período en el que el índice de humedad vale 100%, posteriormente el contenido de humedad se reduce tal como lo prueba la disminución del índice, hasta culminar en ambos casos al final del ciclo con un valor que fluctúa entre 65 y 67%.

En éstas estaciones la "canícula" no es tan severa como en los otros casos, principalmente en los grupos dos y tres, por eso es que en el grupo que se describe el maíz puede desenvolverse sin graves limitaciones de humedad.

En general se presentó un rango de variación de las estaciones que van desde un grupo relativamente húmedo hasta otro considerablemente seco. El primero estuvo integrado por las estaciones Jalapa del Valle y Zimatlán, y el segundo por las estaciones climatológicas Ejutla y Miahuatlán. Los otros dos grupos resultaron intermedios y estuvieron constituidos por las estaciones Coyotepec, Ocotlán, Etna y Tlapacoyan.

3.3.- Análisis Cluster de las decenas.

Para complementar el ACP de las variables más importantes, se procedió al Análisis Cluster del ciclo agrícola del maíz (decenas), con el fin de definir periodos estacionales similares en lo que respecta al contenido de humedad proveniente de las precipitaciones, en forma semejante al efectuado por Green et al (1992) en el sur de California, para caracterizar el comportamiento anual de la lluvia.

Los grupos resultantes son los que se muestran en el cuadro siguiente.

Cuadro 29. Análisis Cluster para el ciclo de desarrollo del maíz (decenas).

Grupo	decena	observación
1	1ra junio	inicio y fin del temporal
	3ra agosto	
	3ra septiembre	
2	2da junio	período húmedo
	3ra junio	
	1ra julio	
	2da julio	
	2da septiembre	
3	3ra julio	período húmedo
	1ra septiembre	
4	1ra agosto	período seco ("canícula")
	2da agosto	

El cuadro muestra que existen afinidades entre la primera decena de junio y las últimas decenas de agosto y septiembre, y dado que expresan la cantidad de precipitación que ocurre, entonces puede decirse que éste grupo representa el inicio y el fin del temporal de lluvias. Lo anterior no significa que en la primera decena de junio se establezcan las fechas de siembra del maíz, ya que en ese lapso de tiempo generalmente el contenido de humedad en el suelo es muy escaso, por consiguiente el Análisis Cluster expresa simplemente la similitud en cuanto a la poca lluvia de las decenas englobadas en el grupo, independientemente de las necesidades del cultivo.

El grupo dos formado por las decenas dos y tres de junio, primera y segunda de julio y segunda de septiembre, se caracteriza por presentar mayor contenido de humedad por ende se trata de una etapa relativamente húmeda del temporal, en la cual se pueden establecer las fechas de siembra principalmente a partir de la tercera decena de junio, cuando ya se han acumulado cantidades suficientes de agua en el suelo para cubrir las necesidades hídricas iniciales del maíz.

El tercer grupo involucra únicamente a la tercera decena de julio y primera decena de septiembre, se refiere también a otro período relativamente húmedo del temporal de lluvias, en el que las restricciones de humedad no son tan severas.

Finalmente el cuarto grupo estuvo integrado por la primera y segunda decenas de agosto, que dadas sus características de baja precipitación caracteriza al período seco del temporal conocido comúnmente en la región como "canícula". En él se presentan las mayores deficiencias de humedad en virtud de que coincide con las etapas de desarrollo fenológico del maíz (floración e inicio de llenado de grano) en las que dicho cultivo es más exigente en sus necesidades de agua.

VI.- CONCLUSIONES.

1.- Las variables más importantes que condicionan el comportamiento de la agricultura de temporal en la región de los Valles Centrales de Oaxaca, son la temperatura media y el índice de humedad.

2.- Los efectos de las mayores temperaturas medias se producen desde la segunda decena de julio hasta la segunda decena de agosto, período que engloba la parte seca del temporal.

3.- Los menores índices de humedad se presentan en las dos primeras decenas de agosto.

4.- El período seco del temporal, comúnmente conocido en la región como "canícula" se inicia en la tercera decena de julio y culmina en la segunda decena de agosto.

5.- Los períodos más críticos para el maíz en cuanto a sus requerimientos hídricos son, la floración y el inicio del llenado de grano, etapas fenológicas que generalmente coinciden con el período seco del temporal.

6.- Las fechas de siembra con mayores probabilidades de éxito se presentaron en la tercera decena de junio.

7.- Las siembras tempranas de mayo y parte de junio tienen escasas posibilidades de prosperar satisfactoriamente, por lo tanto estarán sujetas a pérdidas frecuentes por sequías.

8.- Solamente maíces de ciclo corto (120 días) adaptados a las condiciones de escasez de humedad tendrán mayores posibilidades de prosperar en la región.

9.- Los suelos dominantes en la región no son los más adecuados para el establecimiento del maíz, dada su baja capacidad de retención de humedad la cual acentúa aún más las deficiencias hídricas de dicho cultivo.

10.- Se detectaron cuatro grupos de estaciones:

a.- El primero formado por las estaciones Coyotepec y Ocotlán, en el que el maíz puede desarrollarse sin graves limitaciones de humedad, dado su clima semihúmedo que lo caracteriza.

b.- El grupo dos compuesto por las estaciones Ejutla y Miahuatlán, en el que se presentan las mayores deficiencias de humedad, por ende el maíz frecuentemente será afectado por sequías y los rendimientos serán muy bajos.

c.- El tercer grupo constituido por las estaciones Etila y Tlapacoyan, en el que las deficiencias de agua son moderadas; por consiguiente el maíz se desenvuelve con algunos déficits, por lo tanto será afectado por la presencia de sequías esporádicas.

d.- El cuarto grupo formado por las estaciones Jalapa y Zimatlán, que se caracteriza por ser el más húmedo y en el que el maíz se desarrolla con las menores deficiencias de agua.

11.- Dadas las restricciones de humedad en diverso grado, sólo pueden establecerse maíces criollos adaptados a la región o variedades resistentes a la sequía.

12.- El Análisis Multivariado resultó muy útil para la evaluación y zonificación agroclimáticas.

VII.- BIBLIOGRAFIA CITADA.

- 1.- Aguilar, C.R. 1969. Intervenciones de la geología en la agricultura, particularmente en el Valle de Canatlán, edo. de Durango. Tesis. IPN. México, D.F. pp. 1-84.
- 2.- Anglesio, P. 1968. Vegetación. Estudio de los recursos del estado de Oaxaca. Plan Oaxaca. Mimeografiado. México, D.F.
- 3.- Aldrich, S.; Leng, E. 1965. Producción moderna de maíz. Trad. Ed. Hemisferio Sur 1974. Buenos Aires, Argentina. pp. 1-27.
- 4.- Anónimo. 1983. Programa de Incremento a la Producción de Maíz (PIPMA) en Zapopan, Jal. Mimeografiado. pp. 52.
- 5.- Anónimo. 1986. Estudio agrológico semidetallado del proyecto de riego los "Ocotes" (margen derecha) Ejutla, Oax. Mimeografiado. pp. 86.
- 6.- Anónimo. 1980. Zonificación fenoclimatológica. Chiapas. Serie No. 1. México, D.F. pp. 39.
- 7.- Castillo, P.T. 1990. Los sistemas agrícolas de los Valles Centrales de Oaxaca. C.P. Montesillos, estado de México. pp. 175.
- 8.- Delorid, J.R.; Ahlgren, L.H. 1967. Producción agrícola. CEGSA. México, D.F. pp. 175.
- 9.- Estrada, B.W. 1981. Taxonomía de Suelos o Sistema Americano. UACH. Depto. de Suelos. Chapingo, edo. de México. pp. 52.
- 10.- FAO. 1981. Informe del proyecto de Zonas Agroecológicas. Vol. 3. Metodología y resultados para América del Sur y Central. Roma, Italia. pp. 252.
- 11.-FAO/UNESCO. 1968. Leyenda del Mapa de Suelos del Mundo FAO/UNESCO. México, D.F. pp. 125.
- 12.- García, B.J. 1979. Estructura metodológica para la caracterización agroecológica de áreas por procedimientos cuantitativos y su posterior zonificación. C.P. Chapingo, edo. de México. pp. 451.
- 13.- García, E. 1988. Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. Cuarta edición corregida y aumentada. México, D.F. pp. 217.
- 14.- —————. 1989. Apuntes de climatología. UNAM. México, D.F. pp. 155.

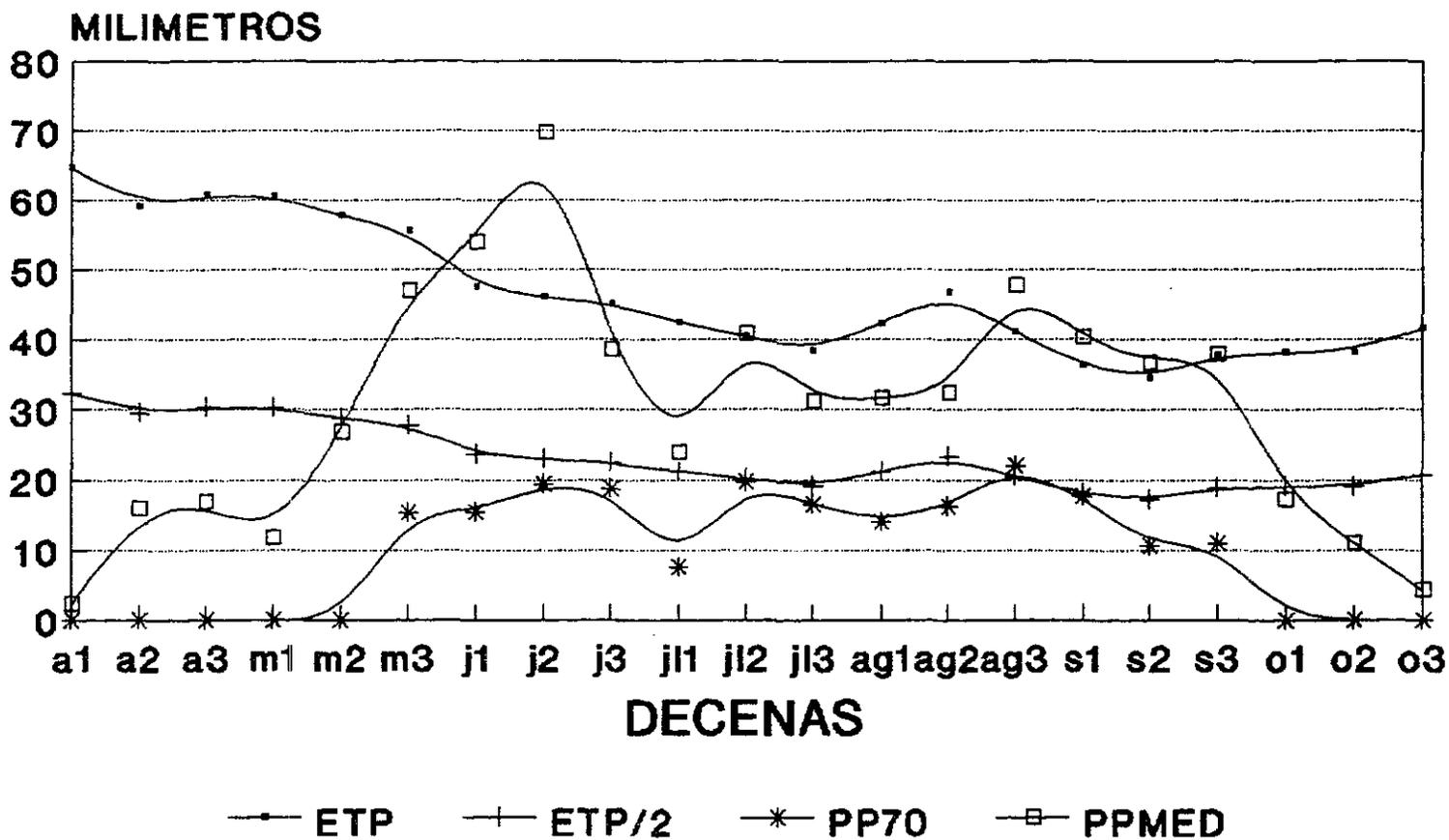
- 15.- Green, M.C.; et al. 1992. Use of Temporal Principal Components Analysis to determine seasonal periods. Journal of Applied Meteorology. Vol. 32. Davis, California. USA. pp. 985-995.
- 16.- Guerra, P.; Jan, B.K. 1968. Recursos de suelos y aptitud agrícola en los Valles Centrales del estado de Oaxaca. Mimeografiado. México, D.F. pp. 101.
- 17.- Gutiérrez, P. 1993. Métodos Multivariados con aplicaciones. Universidad de Guadalajara. Mimeografiado. Guadalajara, Jal. pp. 57.
- 18.- INEGI. 1984. Cartas geológicas (Zaachila y Oaxaca) escala 1: 250,000. México, D.F.
- 19.- Kenneth, H.F. 1985. Sequía, variación climática y desertificación. Organización Meteorológica Mundial. Vol. No. 653. Ginebra Suiza. pp. 35.
- 20.- Morales, M.C. 1989. Relación entre los ciclones tropicales, los vientos alisios, la sequía y las heladas intraestivales en la República Mexicana. Memorias de la II Reunión Nacional de Agroclimatología. UACH. Chapingo, edo. de México. pp. 306-314.
- 21.- Nuño, R.R. 1988. Determinación de zonas de eficiencia agroclimática para el maíz. Tesis de Maestría. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. pp. 57.
- 22.- Nuño, R.R.; Villalpando, I.F. 1989. Determinación de zonas de eficiencia para el maíz en Jalisco. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal. pp. 4.
- 23.- Ortiz, S.C. 1981. Evaluación de la aptitud de las tierras de México para la producción de maíz, frijol y sorgo en condiciones de temporal. Serie Cuadernos de Edafología No. 8. C.P. Chapingo, edo, de México. pp. 39.
- 24.- Pájaro, H.D.; Ortiz, S.C. 1989. Estimación del periodo de crecimiento por disponibilidad de agua y libre de heladas para la República Mexicana. Memorias de la II Reunión Nacional de Agroclimatología. Chapingo, edo. de México. pp. 145-163.
- 25.- Parsons, M.D. 1981. El Maíz. Traducción SEP. Editorial Trillas. México, D.F. pp. 56.
- 26.- Pearl, R. 1980. Geología. Traducción de López, R.M. CECSA. México, D.F. pp. 105-118.
- 27.- Perez, Z.O.; Mejía, A.C. 1988. Potencial agrícola de los Valles Centrales de Oaxaca con base en la probabilidad de lluvia. SARH-INIFAP. Folleto No. 71. México, D.F.

- 28.- Robles, S.R. 1975. Producción de granos y forrajes. Tercera edición. Ed. Limusa. México, D.F. pp. 9-140.
- 29.- Rojo, S.J.; Ruiz, V.J. 1991. Provincias Agronómicas para el cultivo de maíz de temporal en el estado de Oaxaca. INIFAP. Mimeografiado. Oaxaca. Oax.
- 30.- Ruiz, V.J. 1987. Zonificación agroecológica del cultivo de maíz en los Valles Centrales de Oaxaca. Mimeografiado. INIFAP. pp. 14.
- 31.- Sprage. 1977. Corn and corn improvement number 18 in the series agronomy. American Society Agronomy, Inc. publisher Madison, Winsconsin, USA. pp. 625-662.
- 32.- Tellez, B.F. 1974. Geología. Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo, Guerrero. pp. 32-52.
- 33.- Turrent, F.A. 1986. Estimación del potencial productivo de maíz y frijol en la República Mexicana. C.P. Chapingo, edo. de México. pp. 129.
- 34.- Ustimenko, B.G. 1980. El cultivo de las plantas tropicales y subtropicales. Traducción del ruso por Ed. MIR. Moscú. pp. 60-81.
- 35.- Villalpando, I.F. 1989. Agrometeorología del maíz. Simposium internacional sobre tecnología de producción de maíz. Guadalajara, Jal. pp. 15.

ANEXOS.

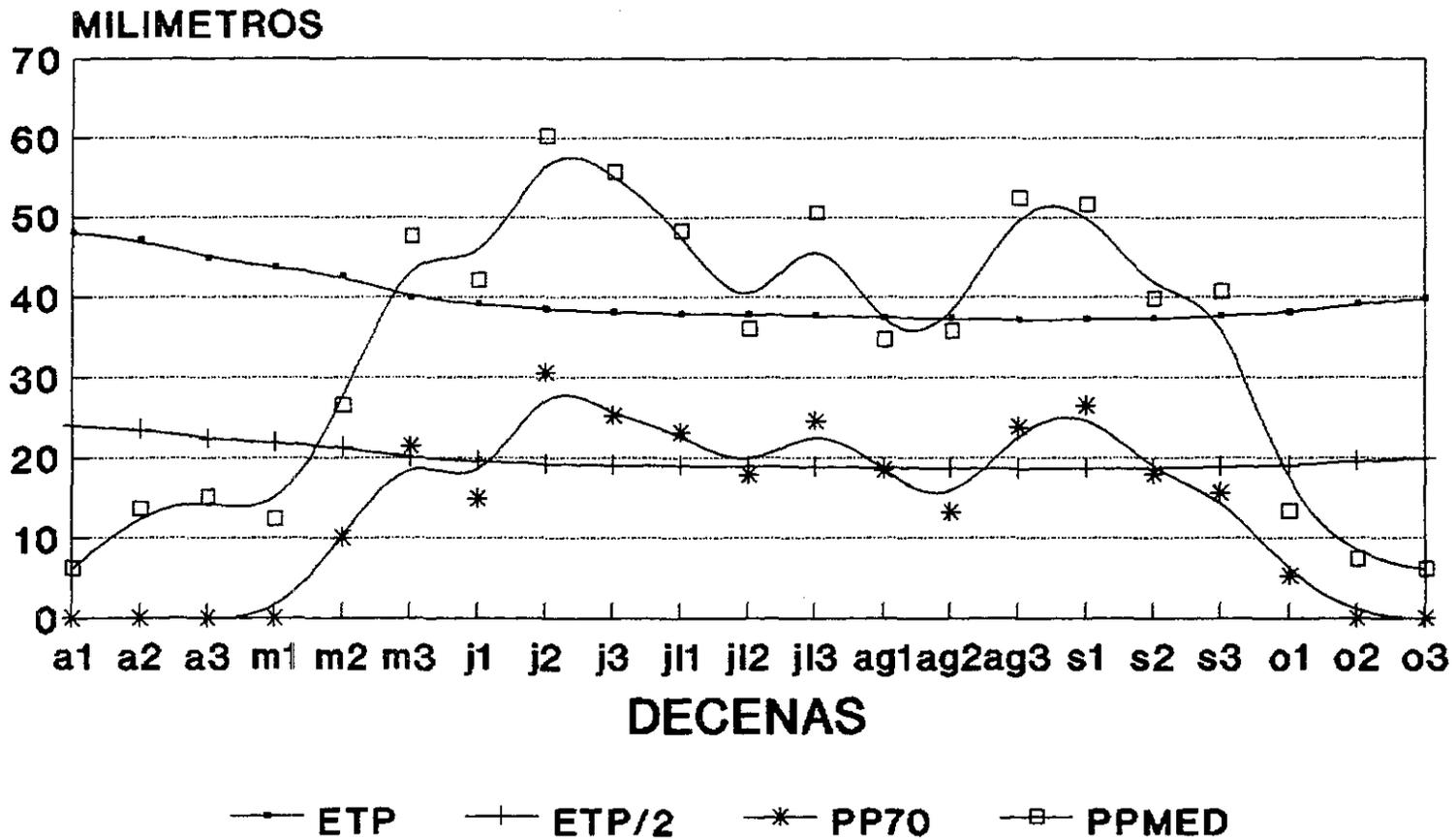
- PERIODOS DE CRECIMIENTO.
- BALANCES DE HUMEDAD DEL SUELO.
- ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.
- PLANO GENERAL DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA.

Gráfica 1. Período de crecimiento Estación : Ejutla.



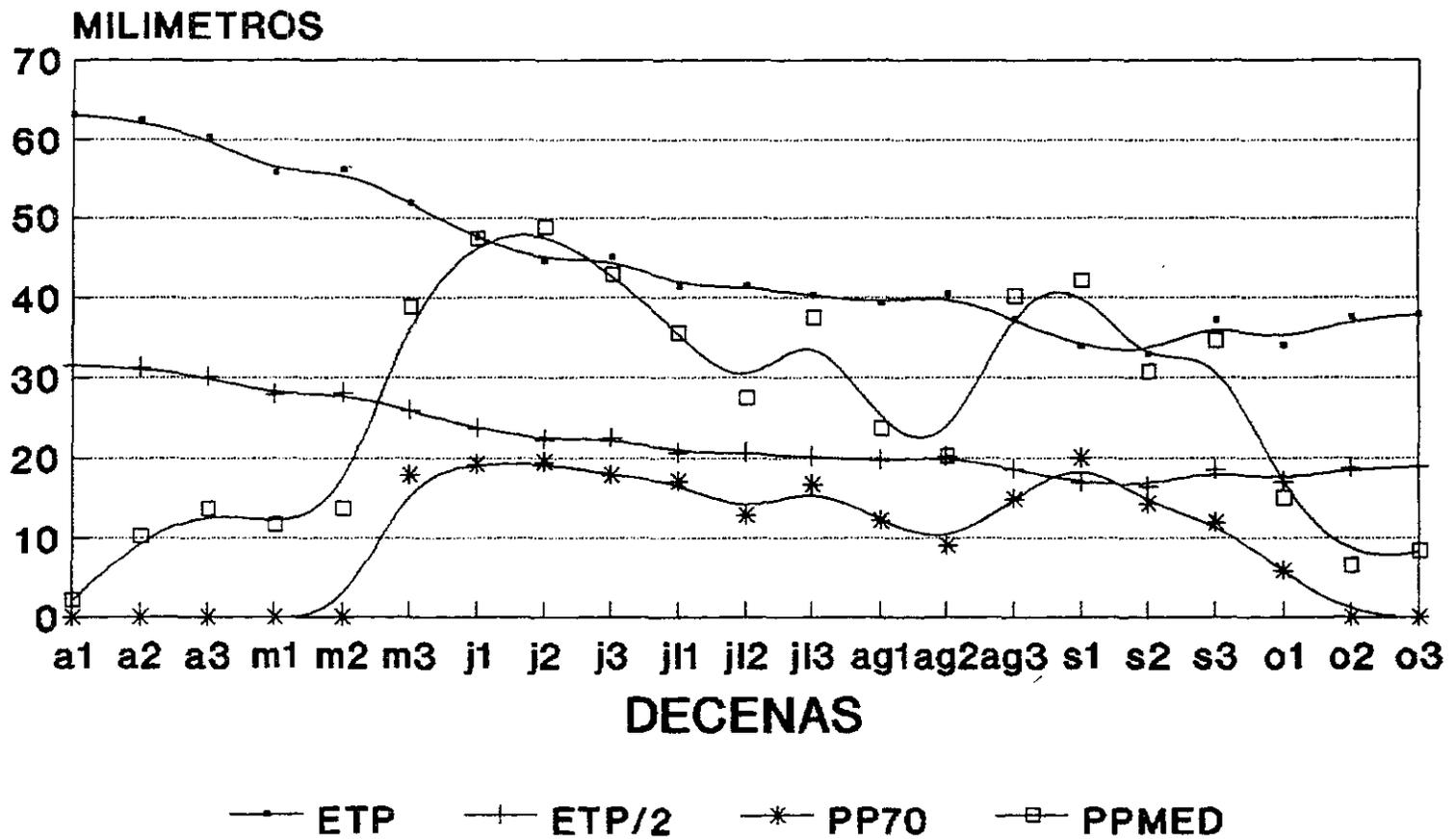
Gráfica 2. Período de crecimiento.

Estación : Zimatlán.

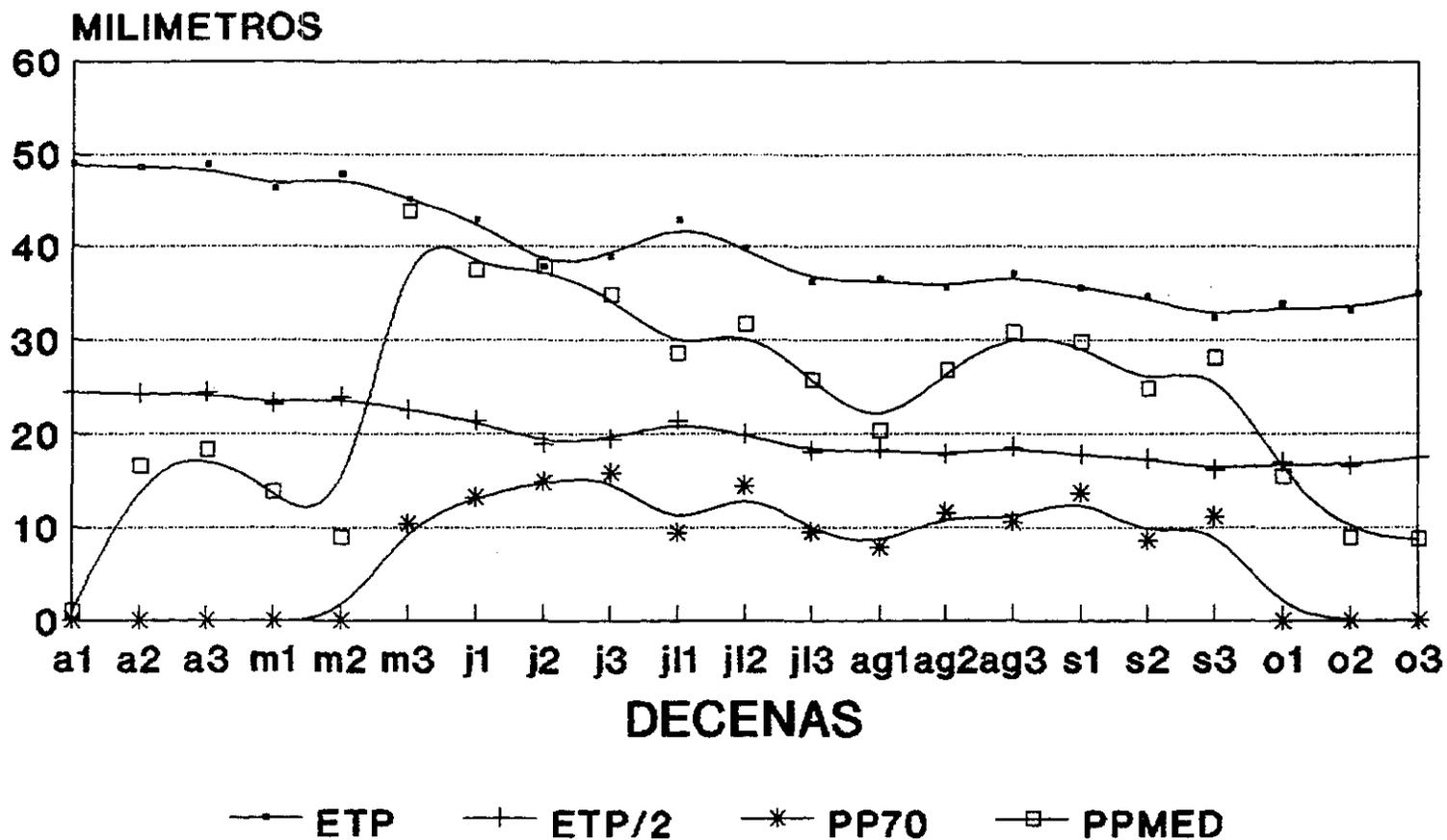


Gráfica 3. Período de crecimiento.

Estación : Tlapacoyan.

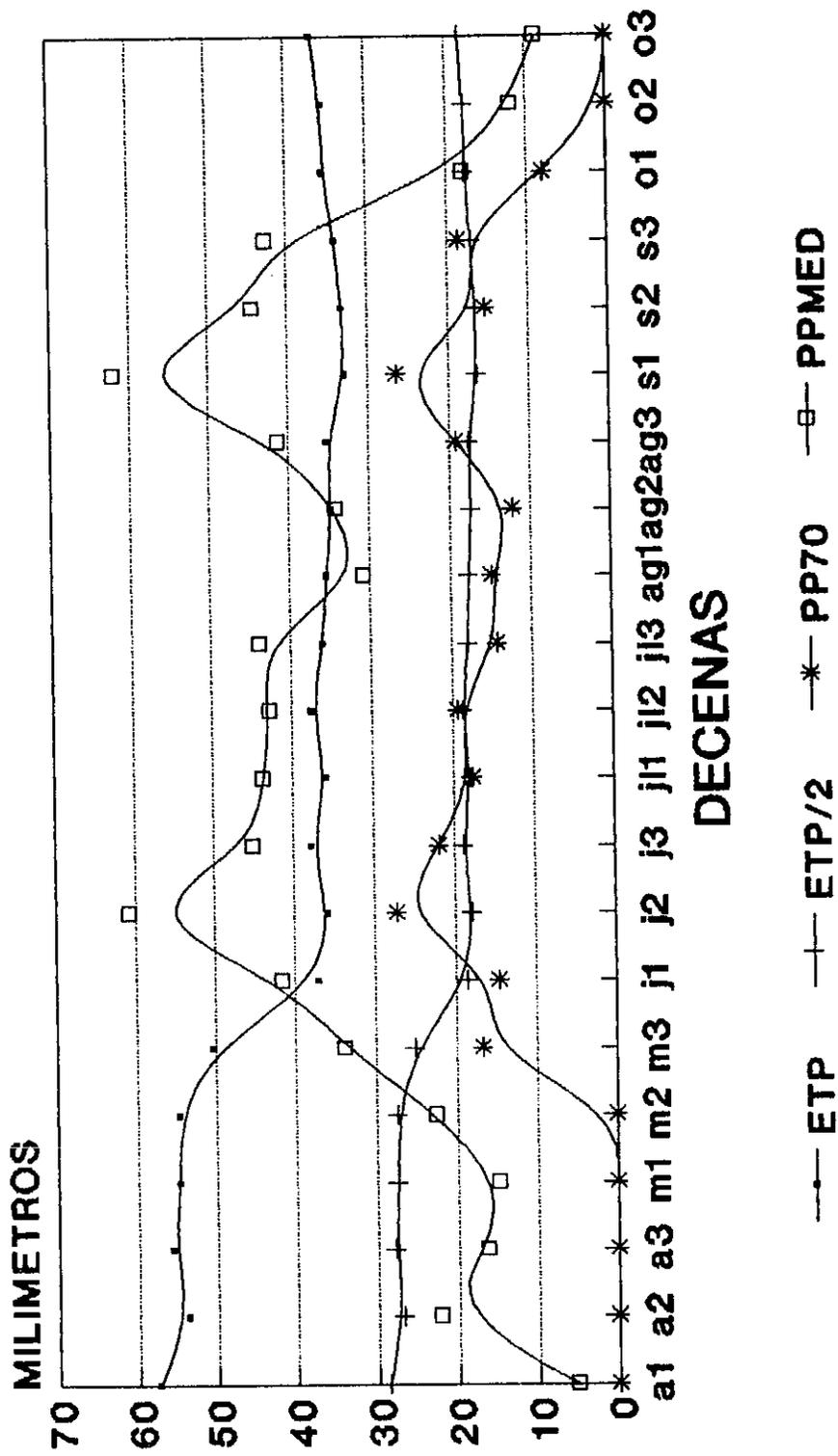


Gráfica 4. Período de crecimiento. Estación : Miahuatlán.



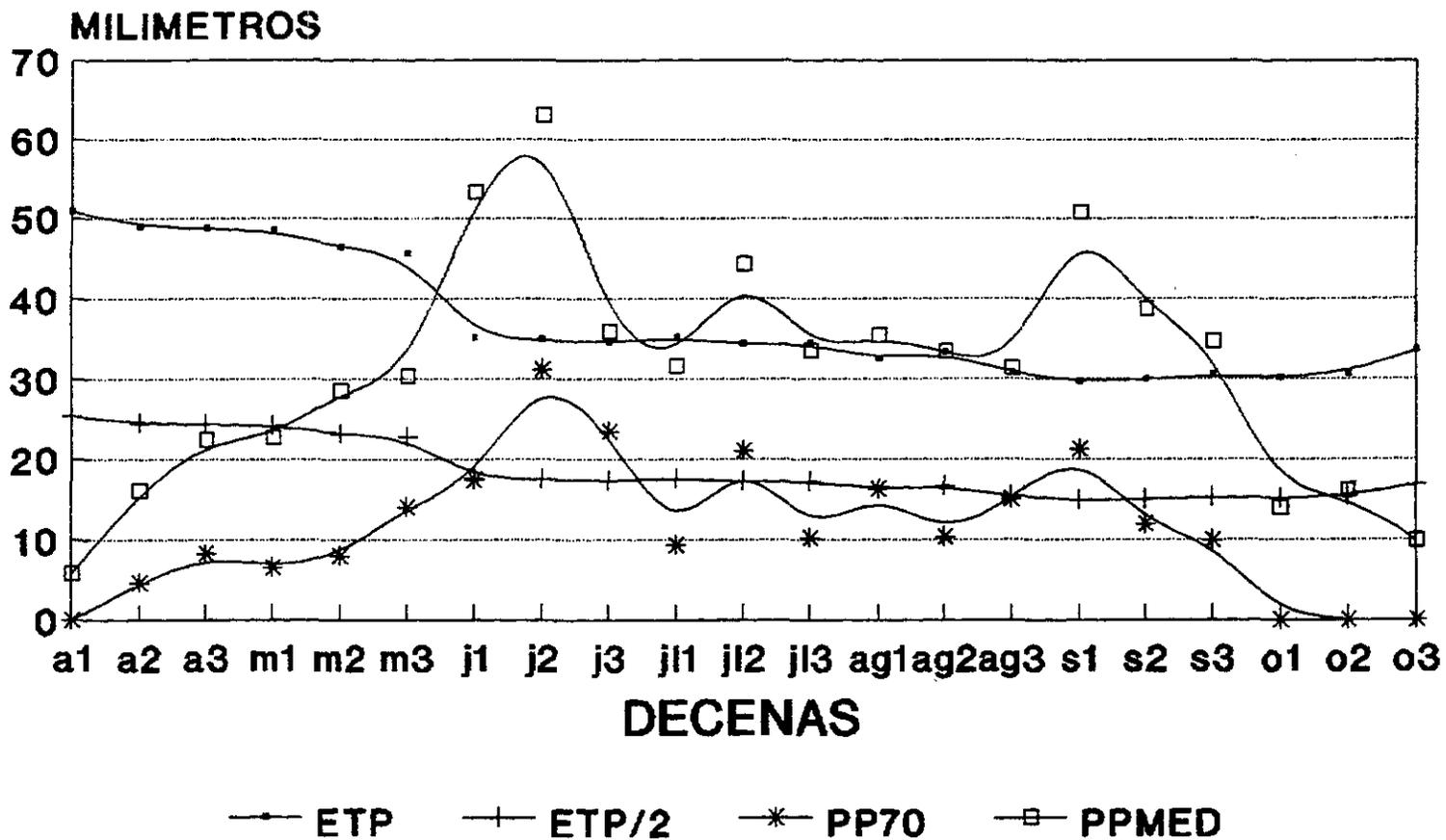
Gráfica 5. Período de crecimiento.

Estación : Jalapa.



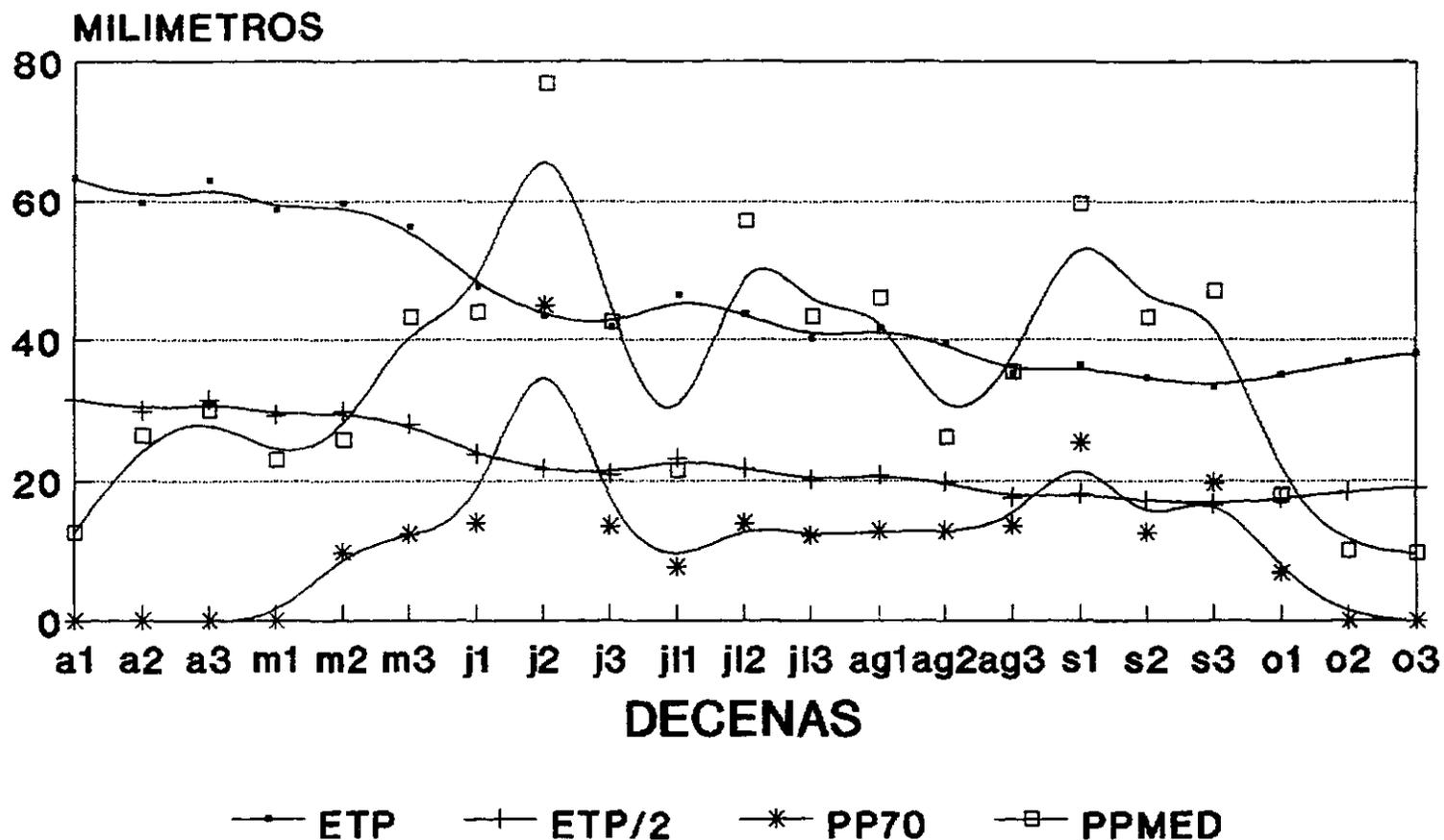
Gráfica 6. Período de crecimiento.

Estación : Etna.



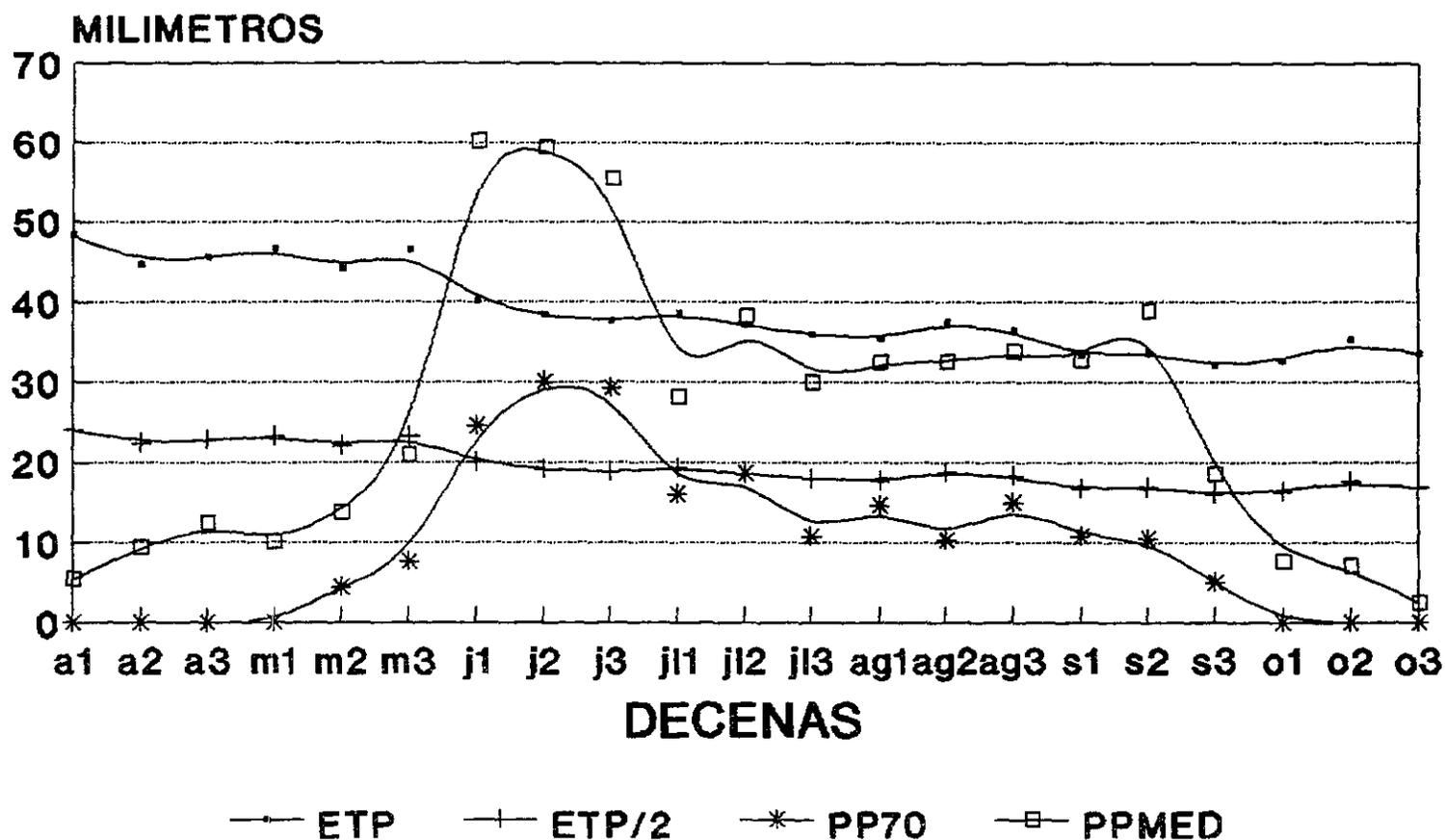
Gráfica 7. Período de crecimiento

Estación : Ocotlán.



Gráfica 8. Período de crecimiento.

Estación : Coyotepec.



BALANCES DE HUMEDAD DEL SUELO.

Cuadro 1. Balance de humedad del suelo para maíz criollo en los Valles Centrales de Oaxaca. Estación climatológica: Ejutla. Ciclo del cultivo: 120 días. Textura del suelo: franco arcillosa. Capacidad de almacenamiento: 51.3 mm. Precipitación al 70% de probabilidad (mm.).

Dec	JN1	JN2	JN3	JL1	JL2	JL3	AG1	AG2	AG3	SP1	SP2	SP3
P70	15.5	19.4	18.7	7.6	19.7	16.6	14.1	16.2	22.0	17.1	10.7	11.0
ETP	47.4	46.0	45.0	42.5	40.4	38.4	42.2	46.7	41.0	36.2	34.5	37.7
KC	0.32	0.32	0.40	0.58	0.91	1.10	1.18	1.18	1.10	1.06	0.89	0.60
ETC	15.2	14.7	18.0	24.6	36.7	42.2	49.8	55.1	45.1	38.4	30.7	22.6
ETR	15.2	14.7	18.0	13.3	19.7	16.6	14.1	16.2	22.0	17.7	10.7	11.0
RS	0.32	5.0	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	0.0	0.0	0.0	11.3	17.0	25.6	35.7	38.9	23.1	20.7	20.0	11.6
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NR	0.32	4.7	0.7	-17	-17	-26	-36	-39	-23	-21	-20	-12
IH	1.00	1.00	1.00	0.97	0.93	0.86	0.77	0.67	0.61	0.56	0.51	0.48

Cuadro 2. Balance de humedad del suelo para maíz criollo en los Valles Centrales de Oaxaca.
 Estación climatológica: Etna.
 Ciclo del cultivo: 120 días.
 Textura del suelo: franco arenosa.
 Capacidad de almacenamiento: 38.7
 Precipitación al 70% de probabilidad (mm.).

Dec	JN1	JN2	JN3	JL1	JL2	JL3	AG1	AG2	AG3	SP1	SP2	SP3
P70	17.4	31.1	23.4	9.32	21.0	10.2	16.2	10.3	15.0	21.2	11.9	9.9
ETP	35.1	34.9	34.5	35.2	34.3	34.4	32.5	33.3	30.7	29.7	29.9	30.5
KC	0.32	0.32	0.40	0.58	0.91	1.10	1.18	1.18	1.10	1.06	0.89	0.60
ETC	11.2	11.2	13.8	20.4	31.2	37.8	38.3	39.3	33.8	31.5	26.6	18.3
ETR	11.2	11.2	13.8	24.6	31.2	24.6	16.2	10.3	15.0	21.2	11.9	9.9
RS	6.18	26.1	35.8	0.0	14.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.2	22.1	29	18.8	10.2	14.7	8.4
EXC	0.0	19.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NR	6.18	19.9	9.6	-11	-10	-28	-22	-29	-19	-10	-15	-8.0
IH	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.76	0.57	0.48	0.48	0.45	0.40	0.38

Cuadro 3. Balance de humedad del suelo para maíz criollo en los Valles Centrales de Oaxaca.
 Estación climatológica: Jalapa.
 Ciclo del cultivo: 120 días.
 Textura del suelo: franco arenosa.
 Capacidad de almacenamiento: 38.7 mm.
 Precipitación al 70% de probabilidad (mm.).

Dec	JN1	JN2	JN3	JL1	JL2	JL3	AG1	AG2	AG3	SP1	SP2	SP3
P70	14.6	27.3	21.8	17.6	19.4	14.3	14.9	12.2	19.2	26.5	15.4	18.6
ETP	37.0	35.8	37.7	35.8	37.5	36.0	35.4	34.7	35.2	32.9	33.2	34.0
KC	0.32	0.32	0.40	0.58	0.91	1.10	1.18	1.18	1.10	1.06	0.89	0.60
ETC	11.9	11.4	15.1	20.7	34.1	39.6	41.8	40.9	38.7	34.9	29.6	20.4
ETR	11.9	11.4	15.1	20.7	34.1	21.8	14.9	12.2	19.2	26.5	15.4	18.6
RS	2.8	18.6	25.4	22.2	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.8	26.9	28.7	19.5	8.4	14.2	-1.8
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NR	2.8	15.9	6.8	-3.0	-15	-25	-27	-29	-20	-8.4	-14	-1.8
IH	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.95	0.87	0.78	0.73	0.70	0.66	0.65

Cuadro 4. Balance de humedad del suelo para maíz criollo en los Valles Centrales de Oaxaca. Estación climatológica: Zimatlán. Ciclo del cultivo: 120 días. Textura del suelo: franca. Capacidad de almacenamiento: 63 mm. Precipitación al 70% de probabilidad (mm.).

Dec	JN1	JN2	JN3	JL1	JL2	JL3	AG1	AG2	AG3	SP1	SP2	SP3
P70	14.9	20.0	25.2	23.1	17.9	24.6	18.4	13.2	23.8	26.5	17.9	15.6
ETP	39.1	38.5	38.1	37.9	37.8	37.7	37.4	37.3	37.1	37.2	37.3	37.6
KC	0.32	0.32	0.40	0.58	0.91	1.10	1.18	1.18	1.10	1.06	0.89	0.60
ETC	12.5	12.3	15.2	21.9	34.4	41.4	44.2	43.9	40.8	39.4	33.2	22.6
ETR	12.5	12.3	15.2	21.9	34.4	29.3	18.4	13.2	23.8	26.5	17.9	15.6
RS	2.38	10.1	20.0	21.2	4.66	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.2	25.8	30.8	17.0	12.9	15.3	6.96
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NR	2.38	7.69	10.0	1.15	-16	-17	-26	-31	-17	-13	-15	-7.0
IH	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.97	0.90	0.81	0.76	0.73	0.69	0.67

Cuadro 5. Balance de humedad del suelo para maíz criollo en los Valles Centrales de Oaxaca. Estación climatológica: Tlapacoyan. Ciclo del cultivo: 120 días. Textura del suelo: franco arenoso. Capacidad de almacenamiento: 38.7 mm. Precipitación al 70% de probabilidad (mm.).

Dec	JN1	JN2	JN3	JL1	JL2	JL3	AG1	AG2	AG3	SP1	SP2	SP3
P70	19.2	19.5	17.8	17.1	12.9	16.7	12.2	9.0	14.8	20.0	14.3	11.9
ETP	47.4	44.5	44.9	41.4	41.4	40.2	39.3	40.4	37.2	33.8	32.9	37.1
KC	0.32	0.32	0.40	0.58	0.91	1.10	1.18	1.18	1.10	1.06	0.89	0.60
ETC	15.2	14.2	17.9	23.9	37.6	44.2	46.3	47.6	40.9	35.8	29.2	22.2
ETR	15.2	14.2	17.9	23.9	15.2	16.7	12.2	9.0	14.8	20.0	14.3	11.9
RS	4.02	9.29	9.14	2.25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	0.0	0.0	0.0	0.0	22.4	27.5	34.1	38.6	26.1	15.8	14.9	10.3
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NR	4.02	5.27	-0.2	-6.9	-25	-27	-34	-38	-26	-16	-15	-10
IH	1.00	1.00	1.00	1.00	0.94	0.87	0.78	0.67	0.60	0.56	0.52	0.49

Cuadro 6. Balance de humedad del suelo para maíz criollo en los Valles Centrales de Oaxaca. Estación climatológica: Coyotepec. Ciclo del cultivo: 120 días. Textura del suelo: franca. Capacidad de almacenamiento: 63 mm. Precipitación al 70% de probabilidad (mm.).

Dec	JN1	JN2	JN3	JL1	JL2	JL3	AG1	AG2	AG3	SP1	SP2	SP3
P70	24.5	30.0	29.3	16.0	18.6	10.7	14.6	10.3	14.9	10.8	10.5	5.0
ETP	40.1	38.2	37.6	38.5	37.1	36.0	35.3	37.5	36.4	33.3	33.7	32.1
KC	0.32	0.32	0.40	0.58	0.91	1.10	1.18	1.18	1.10	1.06	0.89	0.60
ETC	12.8	12.2	15.0	22.3	33.7	39.6	41.7	44.2	40.0	35.3	30.0	19.2
ETR	12.8	12.2	15.0	22.3	33.7	33.2	14.6	10.3	14.9	10.8	10.5	5.0
RS	11.7	29.5	44.0	37.7	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	27.1	33.9	25.1	26.5	19.5	14.2
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NR	11.7	17.8	14.2	-6.4	-15	-29	-27	-34	-25	-25	-19	-14
IH	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.98	0.90	0.80	0.73	0.66	0.61	0.56

Cuadro 7. Balance de humedad del suelo para maíz criollo en los Valles Centrales de Oaxaca. Estación climatológica: Ocotlán. Ciclo del cultivo: 120 días. Textura del suelo: franco arcillosa. Capacidad de almacenamiento: 51.3 mm. Precipitación al 70% de probabilidad (mm.).

Dec	JN1	JN2	JN3	JL1	JL2	JL3	AG1	AG2	AG3	SP1	SP2	SP3
P70	14.1	45.0	13.5	7.7	14.0	12.2	12.8	12.8	13.6	25.3	12.6	19.6
ETP	47.5	43.2	41.6	46.3	43.5	40.1	41.5	39.5	35.1	36.2	34.5	33.2
KC	0.32	0.32	0.40	0.58	0.91	1.10	1.18	1.18	1.10	1.06	0.89	0.60
ETC	15.2	13.8	16.6	26.8	39.6	44.1	48.9	46.6	38.6	38.4	30.7	19.9
ETR	14.1	13.8	16.6	26.8	22.6	12.2	12.8	12.8	13.6	15.3	12.6	19.6
RS	0.0	31.0	27.8	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	1.1	0.0	0.0	0.0	17.0	31.9	36.1	33.8	25.0	13.1	18.1	0.3
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NR	-1.1	31.0	-3.2	-19	-26	-32	-36	-34	-25	-13	-18	-0.3
IH	0.93	0.93	0.93	0.93	0.89	0.80	0.71	0.62	0.55	0.52	0.47	0.47

Cuadro 8. Balance de humedad del suelo para maíz criollo en los Valles Centrales de Oaxaca. Estación climatológica: Miahuatlán. Ciclo del cultivo: 120 días. Textura del suelo: franco arenosa. Capacidad de almacenamiento: 38.7 mm. Precipitación al 70% de probabilidad (mm.).

Dec	JN1	JN2	JN3	JL1	JL2	JL3	AG1	AG2	AG3	SP1	SP2	SP3
P70	13.2	14.8	15.8	9.4	14.4	9.5	7.8	11.5	10.5	13.7	8.6	11.1
ETP	42.8	37.7	38.8	42.8	39.7	36.1	36.4	35.5	37.0	35.5	34.6	32.2
KC	0.32	0.32	0.40	0.58	0.91	1.10	1.18	1.18	1.10	1.06	0.89	0.60
ETC	13.7	12.1	15.5	24.8	36.1	39.7	43.0	41.9	40.7	37.6	30.8	19.3
ETR	13.2	12.1	15.5	12.3	14.4	9.5	7.8	11.5	10.5	13.7	8.6	11.1
RS	0.0	2.7	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DEF	0.5	0.0	0.0	12.5	21.7	30.2	35.2	30.4	30.2	23.9	22.2	8.2
EXC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
NR	-0.5	2.7	0.24	-15	-22	-30	-35	-30	-30	-24	-22	-8
IH	0.96	0.96	0.96	0.93	0.87	0.78	0.68	0.59	0.51	0.44	0.38	0.36

ANALISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES.

Cuadro 9. Matriz de correlaciones en la estación Zimatlán.

	Tmáx	Tmed	P(70)	DCP	UC	IH
Tmáx	1.000					
Tmed	0.976	1.000				
P(70)	-0.803	-0.840	1.000			
DCP	0.253	0.291	-0.755	1.000		
UC	0.505	0.390	0.002	-0.387	1.000	
IH	-0.483	-0.377	-0.078	0.520	-0.984	1.000

Cuadro 10. Componentes principales en la estación Zimatlán.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	53.81	53.81
2	40.36	94.17
3	5.55	99.72
4	0.25	99.97
5	0.03	100.00
6	0.00	100.00

**Cuadro 11. Cargas de los principales compo-
tes en la estación Zimatlán.**

Variable	componente 1	componente 2
Tmáx	0.549	-0.024
Tmed.	0.534	-0.087
P(70)	-0.441	0.392
Dcp	0.155	-0.559
Uc	0.323	0.490
Ih	-0.301	-0.534

**Cuadro 12. Matriz de correlaciones
en la estación Miahuatlán.**

	Tmáx	Tmed	P(70)	DCP	UC	IH
Tmáx	1.000					
Tmed	0.987	1.000				
P(70)	-0.471	-0.564	1.000			
DCP	0.102	0.152	-0.660	1.000		
UC	0.825	0.743	-0.073	0.110	1.000	
IH	-0.875	-0.806	0.092	-0.053	-0.989	1.000

Cuadro 13. Componentes principales en la estación Miahuatlán.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	63.19	63.19
2	26.64	89.83
3	9.71	99.54
4	0.43	99.97
5	0.03	100.00
6	0.00	100.00

Cuadro 14. Cargas de los principales componentes en la estación Miahuatlán.

Variable	componente 1	componente 2
Tmáx	0.502	-0.044
Tmed.	0.491	0.040
P(70)	-0.242	-0.656
Dcp	0.129	0.657
Uc	0.457	-0.252
Ih	-0.472	0.267

Cuadro 15. Matriz de correlaciones en la estación Etlá.

	Tmáx	Tmed	P(70)	DCP	UC	IH
Tmáx	1.000					
Tmed	0.988	1.000				
P(70)	-0.739	-0.799	1.000			
DCP	0.331	0.410	-0.846	1.000		
UC	0.806	0.728	-0.262	-0.120	1.000	
IH	-0.797	-0.722	0.214	0.182	-0.991	1.000

Cuadro 16. Componentes principales en la estación Etlá.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	66.30	66.30
2	30.81	97.11
3	2.56	99.67
4	0.27	99.94
5	0.60	100.00
6	0.00	100.00

Cuadro 17. Cargas de los principales componentes en la estación Etlá.

Variable	componente 1	componente 2
Tmáx	0.497	-0.009
Tmed.	0.491	0.068
P(70)	-0.374	-0.484
Dcp	0.188	0.657
Uc	0.415	-0.388
Ih	-0.406	0.424

Cuadro 18. Matriz de correlaciones en la estación Ocotlán.

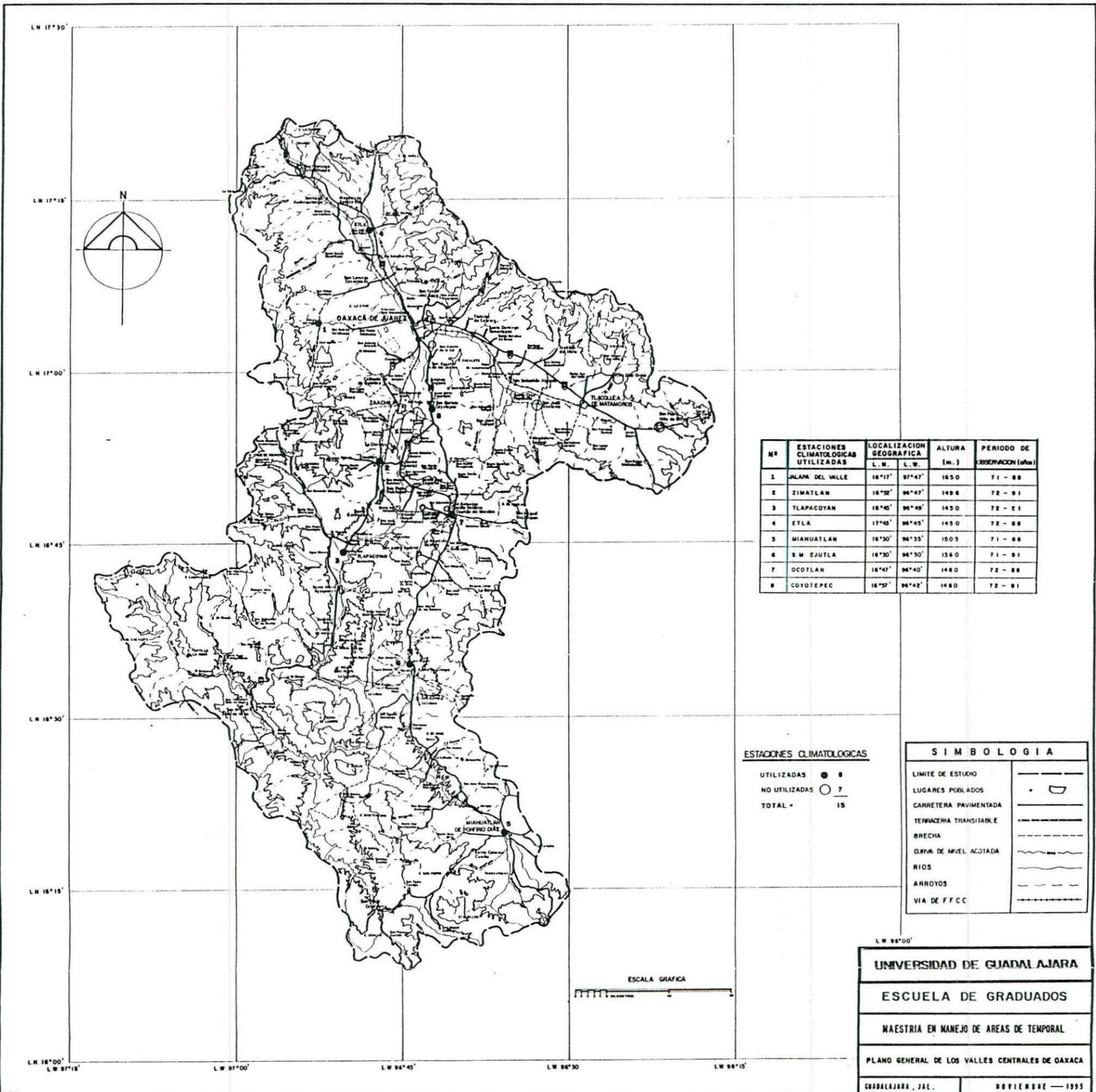
	Tmáx	Tmed	P(70)	DCP	UC	IH
Tmáx	1.000					
Tmed	0.818	1.000				
P(70)	-0.197	-0.658	1.000			
DCP	-0.108	0.259	-0.846	1.000		
UC	0.459	-0.111	0.609	-0.462	1.000	
IH	-0.487	0.086	-0.669	0.572	-0.985	1.000

Cuadro 19. Componentes principales en la estación Ocotlán.

Componente	varianza (%)	acumulada (%)
1	54.05	54.05
2	35.72	89.77
3	9.89	99.66
4	0.21	99.87
5	0.13	100.00
6	0.00	100.00

Cuadro 20. Cargas de los principales componentes en la estación Ocotlán.

Variable	componente 1	componente 2
Tmáx	0.114	0.664
Tmed.	-0.200	0.614
P(70)	0.501	-0.277
Dcp	-0.448	0.080
Uc	0.485	0.221
Ih	-0.509	-0.225



Nº	ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA		ALTURA (m.)	PERIODO DE OBSERVACIÓN (años)
		L. N.	L. W.		
1	JALAPA DEL VALLE	16°12'	97°47'	1650	71 - 88
2	ZIMATLAN	16°52'	96°47'	1486	72 - 81
3	TLAPACOYAN	16°40'	96°49'	1450	72 - 81
4	ETLA	17°43'	96°45'	1450	72 - 88
5	MIANUATLAN	16°50'	96°55'	1503	71 - 88
6	S. M. EJUTLA	16°50'	96°50'	1540	71 - 81
7	OCOTLAN	16°47'	96°40'	1480	72 - 88
8	COYOTEPEC	16°57'	96°42'	1460	72 - 81

ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS

UTILIZADAS ● 8
 NO UTILIZADAS ○ 7
 TOTAL = 15

SIMBOLOGÍA

LÍMITE DE ESTUDIO	— — — — —
LUGARES POBLADOS	•
CARRETERA PAVIMENTADA	—————
TERRACERA TRANSITABLE	- - - - -
BRECHA
CURVA DE NIVEL ACOTADA	~~~~~
RIOS	~~~~~
ARROYOS	~~~~~
VIA DE FFCC	+++++



L. W. 96°00'

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

ESCUELA DE GRADUADOS

MAESTRIA EN MANEJO DE AREAS DE TEMPORAL

PLANO GENERAL DE LOS VALLES CENTRALES DE OAXACA

GUADALAJARA, JAL. NOVIEMBRE — 1993