



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

DISTRIBUCIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA SEQUÍA EN EL VALLE DE TEHUACÁN-CUICATLÁN, PUE-OAX., MÉXICO

295167

## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :  
B I Ó L O G O  
P R E S E N T A :  
FERNANDO CATALÁN ZAVALETA



FACULTAD DE CIENCIAS UNAM



DIRECTOR DE TESIS: DRA. MARLENE GUZMÁN HERNÁNDEZ CERDA

FACULTAD DE CIENCIAS SECCIÓN ESCOLAR



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA III  
MEXICO

**M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA**  
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo de Tesis:

Distribución espacio-temporal de la sequía en el Valle de Tehuacán-Cuicatlán  
Pue-Oax., México.

realizado por Fernando Catalán Zavaleta

con número de cuenta 8720656-0 , pasante de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis	Dra. María Engracia Hernández Cerda	<i>Ma Engracia Hernández Cerda</i>
Propietario	M. en C. Gloria Alfaro Sánchez	<i>Gloria Alfaro Sánchez</i>
Propietario	Lic. en Geog. Germán Carrasco Anaya	<i>Germán Carrasco Anaya</i>
Suplente	M. en C. Fernando Aceves Quesada	<i>Fernando Aceves Quesada</i>
Suplente	Biól. Verónica Aguilar Zamora	<i>Verónica Aguilar Zamora</i>

**FACULTAD DE CIENCIAS**  
U. N. A. M.

Consejo Departamental de Biología

*Patricia Ramos Morales*  
Dra. Patricia Ramos Morales



**DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA**

## **Agradecimientos**

Muy en especial la Dra. Ma. Engracia Hernández C. (Mary) por la dirección de esta tesis, pero sobre todo por ese derroche de amistad y comprensión que es toda ella.

Al Lic. en Geog. Germán Carrasco, por su disposición y la riqueza de sus comentarios.

A los miembros del jurado integrado por la Dra. Ma. Engracia Hernández Cerda, la M. en C. Gloria Alfaro Sánchez, el Lic. en Geog. Germán Carrasco Anaya, el M. en C. Fernando Aceves Quesada y la Biol. Verónica Aguilar Zamora por la revisión de la tesis y acertados comentarios para la conclusión de este trabajo.

A los compañeros del Instituto de Geografía por el apoyo y la amistad que siempre me han brindado.

A mis hermanos Elena, Migue, Lety y Dany por que de alguna forma siempre han estado junto a mi.

A Gaby por hacer que la vida sea un poco más complicada.....pero más divertida.

## Índice general

I. Introducción.....	2
II. Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos particulares.....	3
III. Antecedentes.....	4
1. Sequía meteorológica.....	4
2. Posibles causas de la sequía.....	9
3. Efectos de la sequía.....	10
4. Importancia biológica del agua.....	13
5. Valle de Tehuacan-Cuicatlán.....	16
a. Ubicación geográfica.....	16
b. Hidrología.....	18
c. Climatología.....	19
d. Flora y fauna.....	21
IV. Metodología.....	24
1. Registros climatológicos.....	24
2. Cálculo del IS.....	24
3. Cartografía.....	25
4. Estadística.....	26
V. Resultados y Discusión.....	27
1. Análisis de mapas.....	28
a. Sequía media anual.....	28
b. Distribución de la severidad de la sequía.....	30
c. Descripción de los mapas por grupo.....	31
2. Prueba estadística.....	35
3. El IS en zonas con vegetación natural y zonas agrícolas.....	40
VI. Conclusiones.....	45
Literatura citada.....	46
Índice de figuras.....	50
Apéndice 1.....	54

## I. Introducción

La sequía es un fenómeno meteorológico natural que ha causado y continúa ocasionando daños en diferentes regiones del mundo. En México es altamente recurrente y se tienen datos de presencia de sequías con efectos muy significativos para la población desde la época prehispánica. En tiempos recientes los avances científicos han permitido conocer y caracterizar de mejor manera la presencia y efectos de la sequía en el mundo y en nuestro país. Por tanto se ha propuesto que se deben buscar mecanismos operativos (infraestructura) y aplicar paliativos para mitigar o controlar parcialmente sus impactos en el hombre y sus recursos. Para llevar a efecto esto es necesario identificar las características de las sequías, su frecuencia así como su distribución temporal y espacial.

Se han propuesto diferentes formas de evaluar a la sequía, en particular su severidad que consiste en determinar la magnitud del fenómeno a través del tiempo, así como considerar su frecuencia y extensión.

Es por ello que en este trabajo se utilizó un índice que además de aportar elementos básicos para caracterizar la severidad de la sequía, para su cálculo requiere de información meteorológica que está disponible en nuestro país y de un proceso matemático sencillo.

El área de estudio seleccionada fue el valle de Tehuacán-Cuicatlán, ubicada al sur del Trópico de Cáncer considerado como una zona árida por efecto de sombra pluviométrica, que resalta por su alta diversidad florística de cactáceas en México.

Un rasgo muy importante de la zona de estudio, es que a pesar de presentar condiciones de aridez, la variabilidad de la lluvia es baja en comparación con las zonas del norte de México. De esta forma resulta muy importante caracterizar al fenómeno de la sequía en esta zona del país y poder relacionarlo con procesos tan importantes como el uso de suelo que tiene el área de estudio.

## **II. Objetivos**

### **Objetivo general**

Establecer las áreas con mayor frecuencia de sequía meteorológica mediante el uso de un índice en el valle de Tehuacán-Cuicatlán para el periodo 1970-1983, así como su relación con las zonas agrícolas y la vegetación natural dominante de la región

### **Objetivos particulares**

- Determinar la distribución espacial de la sequía meteorológica a nivel anual para el periodo 1970-1983
- Indicar la severidad y frecuencia de la sequía en zonas con cultivos de temporal y con la vegetación natural dominante del valle



### **III. Antecedentes**

#### **1. Sequía meteorológica**

El problema de la sequía no es nuevo para el hombre ya que es un fenómeno que se ha presentado con relativa frecuencia a través del tiempo, afectando de manera directa todas sus actividades.

Kulicov y Rudnev (1980) mencionan que, según datos estadísticos, aproximadamente 85% de las tierras emergidas del planeta está sometido en uno u otro grado a la acción de la sequía. Incluso en la zona de clima tropical húmedo, no están excluidas las sequías y los fenómenos de aridez. Una de las sequías que acaparó la atención a nivel mundial es la que se presentó en la región del Sahel en África a principios de la década de 1970 y que en la opinión de muchos expertos continuaba hasta la década de 1990, provocando la muerte de entre 50,000 y 250,000 personas, cerca de 3.5 millones de cabezas de ganado, y en menor cantidad ovejas, chivos y camellos (Caldwell, 1984 y Kates et al., 1977; citados en Grainger, 1990).

En México existen reportes desde tiempos prehispánicos de sequías que han azotado a sus pobladores, provocando la pérdida de sus cultivos, su ganado y hasta sus viviendas. Así es como los primeros historiadores hablan de que durante el reinado de Moctezuma Ilhuicamina, las madres llegaron a vender a sus hijos por la falta de subsistencias. En 1503, 1505 y 1520 se tienen noticias de intensas sequías. En 1784, por las sequías y las heladas tempranas, se perdieron las cosechas y las enfermedades subsecuentes ocasionaron cerca de 300 000 defunciones (Noble y Lebrija, 1957). De 1853 a 1951 existen registros continuos de fenómenos meteorológicos que ocasionaron pérdidas en la agricultura y en la infraestructura del país, el cuadro 1 contiene citas referentes a graves sequías en varios lugares de México.

Mayo 4 de 1875:	se sabe que en el interior del país la sequía causa grandes estragos en la ganadería, particularmente en Zacatecas y San Luis Potosí.
Junio 15 de 1892:	en estos días se han estado recibiendo noticias de muchos puntos de la república, participando los perjuicios que en el ganado y labores agrícolas está produciendo la sequía que este año se ha prolongado más que otros. La mortandad de ganado es tal, que se encuentran lugares donde se percibe a distancia una fetidez insoportable, debido al estado de putrefacción de las reses muertas. Las cosechas de cereales se pierden por donde quiera, y todo este conjunto de calamidades debe producir necesariamente el hambre y la miseria.
Junio 28 de 1932:	después de extremada sequía cae en San Jerónimo, Oax., lluvias torrenciales.
Junio 30 de 1932:	la sequía en todo el país, ha sido extrema, augurando un pésimo resultado para las cosechas.
Diciembre 22 de 1949:	terrible sequía en la Huasteca Tamaulipeca. Se pierden 39 000 cabezas de ganado.
Febrero 3 de 1951:	en la región del Mayo, Sonora, la sequía amenaza con serios daños.
Abril 24 de 1951:	de Guanajuato informan que la sequía ha alcanzado ya al 50% de las cosechas.

Cuadro 1. Fenómenos meteorológicos (sequía) que ocasionaron pérdidas en la agricultura en los años de 1853 a 1951. (Fuente: Noble y Lebrija, 1957.)

Para hacer frente a las sequías es necesario encontrar e implementar medidas estructurales (infraestructura) y no estructurales (acciones) para mitigar o controlar parcialmente su impacto en los humanos y sus recursos; lo que requiere:

- a. conocer las características de las sequías en el tiempo y el espacio (frecuencia de ocurrencia y extensión);
- b. identificar su influencia en el medio y las consecuencias como respuesta a los cambios inducidos y
- c. el diseño de medidas de mitigación para decrecer su impacto en el futuro (Campos, 1996).

Sin embargo, la sequía es un término impreciso en sus límites geográficos y en su inicio y finalización. No existe una definición exacta para este fenómeno debido a que cada investigador lo aborda desde su muy particular punto de vista, el cual depende de sus intereses y del área sobre la que esté trabajando. Las variables que se utilizan para definirla son la precipitación, temperatura del aire, humedad del aire, evaporación de los cuerpos de agua, humedad del suelo, condición vegetal, etc. (WMO, 1975).

Subrahmanyam (1967) señala una serie de definiciones para diferentes especialistas: Los agricultores consideran la sequía como una escasez de humedad para sus cultivos. Los hidrólogos la consideran como la responsable en la disminución de las corrientes en las depresiones y en los niveles superficiales y subterráneos de agua. Los economistas piensan que la escasez de agua afecta negativamente la economía establecida en una región (WOM, 1975).

De las variables antes mencionadas, la precipitación ha sido de las más utilizadas desde hace mucho tiempo; en el cuadro 2 se muestran algunas de las definiciones de la sequía tomando como factor determinante este elemento.

La temperatura en combinación con la precipitación han servido de igual forma para la "delimitación" de regiones afectadas por la sequía. De Martone, en 1926, desarrolló un índice de aridez,  $I = \frac{P}{t+10}$  donde  $P$  es la precipitación mensual (mm) y  $t$  es la temperatura media mensual (°C). Un índice mensual de 1 es indicador aproximado de aridez; este índice se usa para definir límites desérticos, praderas y bosques. Thornthwaite (1931) considera la precipitación efectiva como una función de la temperatura media. Köppen (1931) define climas secos con:  $p < 2t$  para regiones de lluvia invernal y  $p < 2t + 14$  para regiones con lluvia de verano o sin estación lluviosa donde  $p$  es la precipitación anual en cm y  $t$  es la temperatura media en °C; este método es usado ampliamente en la clasificación de los climas secos del mundo. En 1955, Emberger se basa en el índice De Martone y genera un índice de continentalidad:

$$I = \frac{100p}{(M - m)(M + m)}$$

Donde  $M$  es la temperatura media máxima en el mes caliente y  $m$  es la temperatura media mínima en el mes frío;  $p$  está en mm y  $M$  y  $m$  en °C.

Otras definiciones de la sequía se han elaborado también tomando como punto de partida la humedad del suelo y algunos parámetros agrícolas (cuadro 3); además se han utilizado más variables como la evaporación, la evapotranspiración, etc.

Autor	Definición de sequía	Región y comentarios
Bronov (principios siglo)	Diez días con una pp que no excede 5 mm.	Ref. Tannehill (1947)
Henry (1906)	21 días o más con una pp 30% o menos del promedio para un tiempo y lugar. Sequía extrema cuando la falta de precipitación se prolonga 10% de lo normal por 21 días más.	Estados Unidos de América.
Bates (1935)	Cuando la pp anual es el 75% de lo normal o cuando la pp mensual es el 60% de lo normal.	Estados Unidos de América.
British Rainfall Organisation (1936)	Sequía absoluta: por lo menos 15 días consecutivos en los que no se ha recibido ni 0.25 mm. Sequía parcial: por lo menos 15 días durante los cuales la precipitación media no excede 0.25 mm por día. Sequía temporal: 15 días consecutivos y ninguno ha recibido 1 mm.	Gran Bretaña; inadecuado en regiones normalmente secas.
Hoyt (1936)	Cantidad de pp menos del 85% de lo normal.	Estados Unidos de América.
Blumenstock (1942)	Menos que 2.5 mm en 48 hrs.	Ref. Thorntwaite (1941).
Conrad (1944)	Un periodo de 20 (o 30) días consecutivos o más sin 6.4 mm de pp en 24 horas, inclusive durante la estación de marzo a septiembre.	Estados Unidos de América.
Ramdas (1950)	Cuando la pp actual para una semana es la mitad o menos de la normal.	India.
Fitzpatrick (1953)	Periodo finalizado con por lo menos 6.4 mm durante 48 horas.	Australia (basado en Blumenstock)
Gibbs y Maher (1967)	La precipitación es el mejor índice de la sequía y usa deciles de pp para demostrar su distribución espacial y temporal. Áreas con pp en el primer rango decil coinciden con áreas secas.	Australia. Proporciona una presentación útil de la distribución espacial de la sequía.

Cuadro 2. Definiciones de sequía tomando como elemento determinante la precipitación (Modificado de: WOM, 1975).

El manejo de los términos de sequía y aridez puede ser motivo de confusiones para la mayor parte de la gente, que aún cuando pueden estar muy estrechamente relacionados no son sinónimo uno del otro. La aridez se define en términos de bajo promedio de lluvia o de agua disponible e ignorando el cambio climático; es una característica climática permanente de la región, caracterizada por escasa lluvia y altas temperaturas.

Autor	Definición de sequía	Región y comentarios
Bova (1941)	Uso el índice de sequía K $k = \frac{10(H+Q)}{\sum t}$ Donde H es la humedad productiva del suelo en mm en el tope 100 cm del suelo a principios de la primavera; Q es la pp acumulada, en mm, diariamente al comienzo de la primavera; $\sum t$ es la sumatoria de la temperatura (°C) estimada de los días del paso de la temperatura media diaria hasta cero.	Cuando $K \leq 1.5$ el principio de la sequía daña a las plantas indicadas.
Barger y Thom (1949)	Evaluando la precipitación climática del desempeño productivo de los cultivos.	Estados Unidos de América.
Van Bavel (1953)	La sequía agrícola sería definida sobre las bases del estatus suelo-agua y del comportamiento vegetal obtenido.	Estados Unidos de América.
Thornthwaite y Maher (1955)	Usaron el concepto balance acuoso con una variable provisión de agua del suelo.	
White (1955)	Define la sequía con respecto a especies xerófilas con observaciones de la condición de la pastura como guía.	
Foley (1957)	Usó reportes de las condiciones de cultivos y ganado publicados en boletines oficiales o periódicos y análisis de precipitación.	Australia.
Palmer (1965)	Un modelo de balance acuoso que involucra lluvia, un coeficiente de evapotranspiración, corrientes y agua disponible del suelo.	Estados Unidos de América. Método basado en el concepto de Thornthwaite de evapotranspiración potencial.
Rickard (1966)	La sequía agrícola existe cuando el agua del suelo en la zona de raíces está cerca o por debajo del porcentaje permanente de marchitez. La condición continúa hasta que la lluvia cae en un exceso de evapotranspiración diaria.	Nueva Zelanda. La mitigación de la sequía no ocurre con un día de exceso de precipitación (2.5-5mm).
Palmer (1968)	Severidad de sequía agrícola está definida en términos de la magnitud del déficit de evapotranspiración anormal calculado y expresado como un índice de humedad de cultivos.	Estados Unidos de América. Utiliza valores semanales de temperatura y precipitación.

Cuadro 3. Definiciones de sequía tomando como elemento determinante el agua del suelo y parámetros agrícolas (modificado de : WOM, 1975).

La sequía, en cambio, es una característica temporal, debido a la variabilidad y experimentada únicamente cuando la lluvia disminuye apreciablemente de su valor normal; lógicamente es factible en cualquier régimen de lluvia o temperatura. Las actividades de las zonas áridas están adaptadas a la permanencia de la aridez; en contraste, la presencia de la sequía origina la interrupción de las actividades normales en todas las zonas (Campos, 1996).

Desde un punto de vista meteorológico, el que se utiliza en este trabajo, la sequía puede definirse en función del grado de falta de agua (expresado en por ciento con respecto a la pluviosidad media anual o estacional a largo plazo) y de su duración en una región dada (Hernández, 1994).

## **2. Posibles causas de la sequía**

La sequía es considerada como una manifestación regional de la fluctuación climática general asociada con anomalías a gran escala de la circulación atmosférica. Por ello los meteorólogos comúnmente explican las sequías de una región dada, en términos de patrones de circulación atmosférica anormales, los cuales favorecen la subsidencia sobre dicha región. Probablemente parece que estas anomalías meteorológicas son explicables en términos de: **a.** las fuerzas físicas que determinan los modelos de la circulación atmosférica de gran escala y, **b.** factores regionales y locales que provocan particularidades climáticas en el sistema climático de gran escala. Hay también quienes creen que las sequías son fenómenos cíclicos y por consiguiente predecibles por métodos estadísticos.

En tanto las causas de las fluctuaciones y variaciones climáticas no han sido identificadas con certeza, existen interesantes hipótesis al respecto. Dichas hipótesis pueden separarse en dos categorías, las que se basan en fuerzas extraterrestres para los cambios de circulación atmosférica y las que consideran los cambios como evoluciones propias del complejo tierra-océano-atmósfera. La última explicación dada para la sequía incluye alguno de los siguientes factores:

"La gran capacidad de los océanos para almacenar calor y el evidente intercambio de energía que tienen lugar entre la atmósfera y los océanos hacen de la interacción aire-océano una probable causa de variaciones climáticas. Estas interacciones son extremadamente complicadas y a la fecha están pobremente comprendidas. Sin embargo, es difícil no considerar a este inmenso sistema de energía en las fluctuaciones climáticas.

Otra hipótesis supone que la cantidad y calidad espectral de la radiación solar varía continuamente en un ciclo de 80 a 90 años. Hay también un ciclo en las manchas solares, pero no hay evidencia contundente sobre tales ciclos. Si estos ciclos existen, la circulación atmosférica está en un estado continuo de reajuste de acuerdo a la mayor o menor energía recibida. Como los reajustes evolucionan, las sequías pueden aparecer, primero en una región y después en otra.

También existen razones para suponer que las sequías pueden resultar debido a cambios en la composición de la atmósfera, lo que produce alteraciones en sus patrones de circulación a gran escala. Los gases más frecuentemente mencionados en este sentido son el vapor de agua, el dióxido de carbono y el ozono, los cuales, siendo absorbentes selectivos de la radiación, pueden modificar el balance de calor de la Tierra.

Una hipótesis más asume que la inyección de grandes cantidades de ceniza y polvo a la atmósfera por las erupciones volcánicas alteran el balance de radiación de la tierra y por tanto se crean ajustes compensatorios en la circulación, que conllevan a fluctuaciones climáticas ( WOM, 1975)."

### **3. Efectos de la sequía**

Las sequías son fuente de graves perjuicios económicos y sociales, sus efectos abarcan desde un deterioro leve hasta la pérdida total de la producción, seguida por el alza general en precios de origen agrícola. En los casos más graves, las sequías son las responsables de la ruina de los pequeños y medianos productores y de la importación de grandes volúmenes de granos y otros artículos básicos de consumo popular. La Comisión del Plan Nacional Hidráulico de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH, 1980), realizó una comparación de los siete años en que se registraron sequías extremadamente intensas en el siglo XX,

para evaluar su efecto en los principales productos agrícolas; llegando a la conclusión de que los productos más dañados fueron los básicos (trigo, arroz, frijol y maíz) y secundarios (papa, chile verde y haba). También fueron afectados pero en menor grado productos de exportación (algodón jitomate y café), y de transformación industrial (cebada, caña de azúcar y cacao). La ganadería ha sido otra de las actividades más dañadas por las sequías. Como ocurre con la agricultura, los efectos causados por estos fenómenos repercutieron de manera distinta en los productores, según el tipo de explotación que realizaban, los recursos que rodearon el producto y su acceso a los créditos.

De las repercusiones sociales que generan las sequías destacan el desempleo y las migraciones, debido a la incapacidad de la pequeña economía campesina, agrícola o ganadera, para enfrentar la crisis que aflora con las sequías, aunado a esto se encuentran las epidemias y el aumento en la mortalidad, sobre todo en los infantes debido a la deshidratación. Todo lo anterior son factores que generan conflictos sociales que pueden convertirse en manifestaciones más sistemáticas y organizadas de carácter político (SARH, 1978).

Durante los periodos de sequía el riesgo de incendios en la vegetación se incrementa por su bajo contenido de humedad. El fuego en los bosques es probablemente lo más destructivo del potencial comercial de la madera; en pastizales y arbustos pelagra la vida del ganado y el hombre en tiempos de sequía. La condición de los granos cuando han sido indebidamente desecados por sequía, es muy vulnerable a daños por fuego antes o durante la cosecha. No únicamente el fuego causa grandes pérdidas económicas, en todo caso, la destrucción de la vida silvestre es también muy grande (WOM, 1975).

La desertificación es un fenómeno que ha sido tema de mucha discusión desde muchos puntos de vista debido a la diversidad de intereses que afecta el sólo uso de este. El propósito de abordar el tema se debe a la relación que existe entre la sequía y la desertificación, ya que aún cuando la primera es un fenómeno completamente natural, actúa como un detonador de la segunda, sobre todo en tierras que han sido mal utilizadas y en donde la presión de la población humana

es muy frecuente sobre el medio. Es un hecho que los lugares más vulnerables a la desertificación corresponden a las zonas áridas y semiáridas del país, no sólo por la posición geográfica que tienen, sino también por la sobreexplotación de los recursos; sin embargo este problema ha rebasado los límites de estas zonas extendiéndose a otras áreas donde se ha intensificado el uso del suelo con fines, principalmente, de producción alimentaria (Oropeza y Alfaro, 1994). Este fenómeno es visto como un proceso, pero también es utilizado para describir un estado final de un proceso o procesos (Thomas, 1994).

La definición de desertificación surgida de la Conferencia de las Naciones Unidas en 1977(en Oropeza y Alfaro, 1994) es la siguiente:

"La disminución o destrucción del potencial biológico de la tierra lo cual conduciría definitivamente a la formación de condiciones similares a los desiertos.

Más tarde la FAO/UNEP (1984) definió el problema desde una perspectiva más humana:

La expresión de procesos económicos y sociales así como aquellos naturales e inducidos que destruyen el equilibrio del suelo, aire, agua y vegetación en áreas sujetas a aridez edáfica y/o climática. Con un deterioro sostenido se llega al decremento o destrucción del potencial biológico de la tierra, deterioro de las condiciones de vida y un incremento en el paisaje desértico.

En el capítulo 12 de la Agenda XXI de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Ecología y Desarrollo (ONU, 1992; citado por CONAZA, 1993) se adoptó la siguiente definición:

Desertificación es la degradación de la tierra en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas, resultado de varios factores que incluyen variaciones climáticas y actividades humanas.

Definición que considera sequías en periodos cortos, fluctuaciones climáticas a largo plazo y degradación de la tierra por actividades del hombre. En esta última fase, degradación de la tierra, no sólo se contempla la degradación del suelo, sino de cualquier otro de los elementos biológicos y físicos del terreno, como son la

cubierta vegetal, la biota animal, los recursos hídricos, etc. Esta base conceptual determina que el problema de la desertificación sea integral y comprenda los diversos componentes físicos, químicos y biológicos, interactuando con las variables sociales y económicas de un área, o región específica (CONAZA, 1993).

#### **4. Importancia biológica del agua**

La distribución de la vegetación en la superficie de la Tierra está más controlada por la disponibilidad de agua que por cualquier otro factor aislado. La importancia ecológica del agua se debe a su importancia fisiológica ya que casi todo proceso vegetal está directa o indirectamente influenciado por el abastecimiento de agua (Kramer, 1974). Por ejemplo, la respiración de las semillas jóvenes es muy alta, pero disminuye regularmente durante la maduración al reducirse el contenido hídrico. El crecimiento de las plantas está controlado por los coeficientes de división y ensanchamiento de las células y por el abastecimiento de componentes orgánicos o inorgánicos necesarios para la síntesis de protoplasma y paredes celulares. El ensanchamiento de la célula depende especialmente de, por lo menos, un grado mínimo de turgencia, y el alargamiento del tallo y la hoja es controlado o detenido rápidamente por déficit de agua (Loomis, 1934; Miller, 1965; Thut y Loomis, 1944, citados por Kramer, 1974). La disminución de agua contenida reduce invariablemente el coeficiente de fotosíntesis y generalmente también la tasa de respiración (Brix, 1962; citado por Kramer, 1974).

El agua tiene diversas funciones en la vida de las plantas: es el elemento esencial del protoplasma, ya que constituye del 80 al 90% del peso fresco de la mayoría de las partes de plantas herbáceas y más de 50% del peso fresco de plantas leñosas. Por otra parte, la mayoría de las sustancias orgánicas se encuentran en el protoplasma de forma hidratada afectando sus propiedades físicas y químicas, cuando el protoplasma está deshidratado se detiene su vida activa y por debajo de cierto contenido de agua las plantas mueren (Kramer, 1974).

Se puede seguir hablando de más y más casos en los que el agua interviene de forma directa para que las plantas se desarrollen, sin embargo, la conclusión es que, un déficit de agua tiene un gran impacto sobre muchos aspectos del crecimiento, desarrollo y funcionamiento de la planta.

La magnitud de los efectos de un déficit de agua depende del tipo de planta, etapa de desarrollo y procesos de vida considerados. Las etapas de crecimiento y desarrollo en las cuales sucede estrés hídrico pueden ejercer gran influencia en el rendimiento final de algunos cultivos, especialmente en el caso de los cereales anuales los cuales parecen ser muy sensibles a la escasez de humedad durante la formación de los órganos reproductivos y la floración (Jackson, 1989).

En general, las plantas disponen de tres medios a los cuales recurrir en condiciones de sequía: a. escape a la sequía.- por cierre de su historia de vida antes de un serio déficit de agua; b. anulación de la sequía.- incrementando la toma de agua y reduciendo la pérdida (transpiración), y por almacenaje; c. tolerancia a la sequía por medio de mecanismos que permiten mantener la turgencia y mantenimiento bajo condiciones de déficit acuoso.

Los efectos de la sequía, especialmente si son prolongados, son generalmente considerados adversos a la agricultura, En la mayor parte de los casos esto es cierto, pero la sequía proporciona cierta compensación al eliminar pérdidas económicas por algunas enfermedades y plagas (WOM, 1975). La sequía tiene variados efectos sobre la población y la sobrevivencia de muchas plagas y, probablemente, los más afectados son los insectos que se alimentan de las hojas de las plantas; un ejemplo es el caso de los áfidos, que se alimentan directamente de nutrientes vegetales y son responsables de propagar ciertas enfermedades vírales. La sequía está usualmente asociada con altas temperaturas y baja humedad, condiciones generalmente desfavorables para el desarrollo de las poblaciones de estos organismos. La población de áfidos es entonces reducida debido a las condiciones meteorológicas, reducción de zonas cultivadas y de maleza (Gear, 1970, citado por WOM, 1975).

Las condiciones meteorológicas juegan parte vital en el ciclo de vida de la langosta, particularmente en sus primeras fases: el huevo de langosta es sometido a condiciones de sequía a menudo, para un mayor desarrollo es importante la presencia de humedad en el suelo y de un pequeño crecimiento vegetativo para protegerlos antes de que puedan volar (Rainey, 1963). Muchas especies de escarabajos y mariposas consumen parte de su ciclo de vida como huevos o larvas bajo tierra, y la sequía en esta etapa de su vida causa alta mortalidad en muchos casos (WOM, 1975).

Un interesante efecto de la sequía es el incremento en la cantidad de polvo abrasivo llevado por el viento. Esto puede llegar a dañar a las plantas, y aunque algunos insectos se encuentran más o menos resguardados en las plantas, muchos de estos predadores o parásitos mueren o son lastimados, también de sufrir de una reducción en el suministro de comida (WOM, 1975).

Además de las consideraciones anteriores, varias enfermedades tienen que ver con la cantidad de precipitación, y frecuentemente están relacionadas a la humedad del suelo. Con suelos secos se reduce la oportunidad para el desarrollo de enfermedades o plagas perjudiciales para los animales domésticos. La sequía por consiguiente juega un papel importante en la reducción de la incidencia de algunas enfermedades. Un ejemplo de lo anterior fue la severidad de una epidemia de gusanos intestinales en ovejas, influenciada principalmente por la humedad; esto porque los gusanos pasan parte de su historia de vida en caracoles, los cuales son menos numerosos durante las sequías debido a la alta mortalidad de sus huevos en tiempos secos (WOM, 1975).

## 5. Valle de Tehuacán-Cuicatlán

### a. Ubicación geográfica

Este trabajo se basó en la delimitación elaborada por Hernández (inédito), quien considera el valle de Tehuacán-Cuicatlán como una unidad climática.

El área de estudio se localiza en el Centro-Sur de la República Mexicana (fig.1), y abarca el extremo sureste del estado de Puebla y noroeste de Oaxaca, entre los 17°18' y 19°00' latitud norte, y los 96°38'y 97°57' latitud oeste cubriendo un área de alrededor de 7203 km<sup>2</sup>.

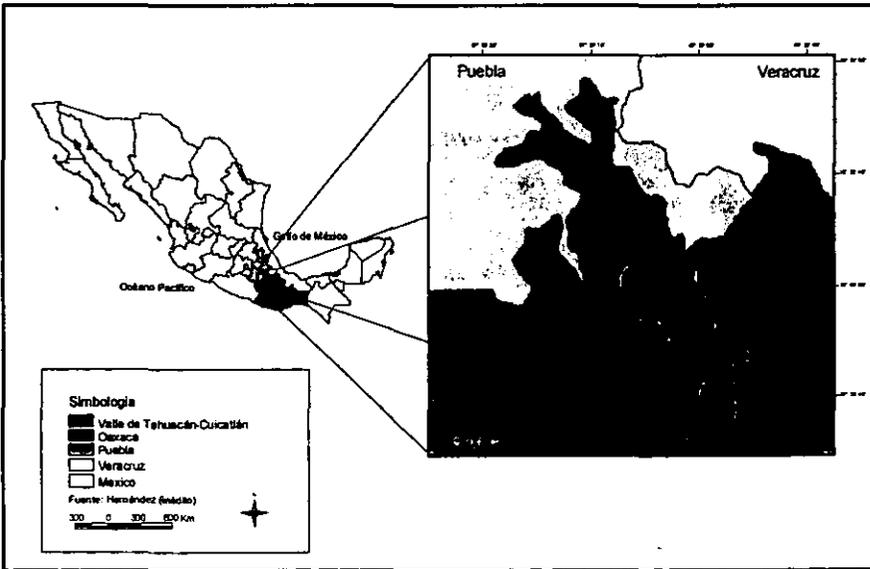


Fig 1. Localización Valle de Tehuacán-Cuicatlán, Pue-Oax., Mex.

El valle al norte, se encuentra limitado por el Pico de Orizaba que presenta altitudes que sobrepasan los 4000 m, al este está bordeado por la sierra Zongolica que forma parte de las estribaciones de la Sierra Madre Oriental y con altitudes superiores a los 3000 m. Al sureste se encuentra la sierra Mazateca que alcanza de 2500 a 3000 msnm. Al sur y oeste del valle se localizan la sierra de Zapotitlán y otras cordilleras que bordean la Mesa del Sur y que pertenecen a la Mixteca alta o Sierra Mixteca (fig.2)

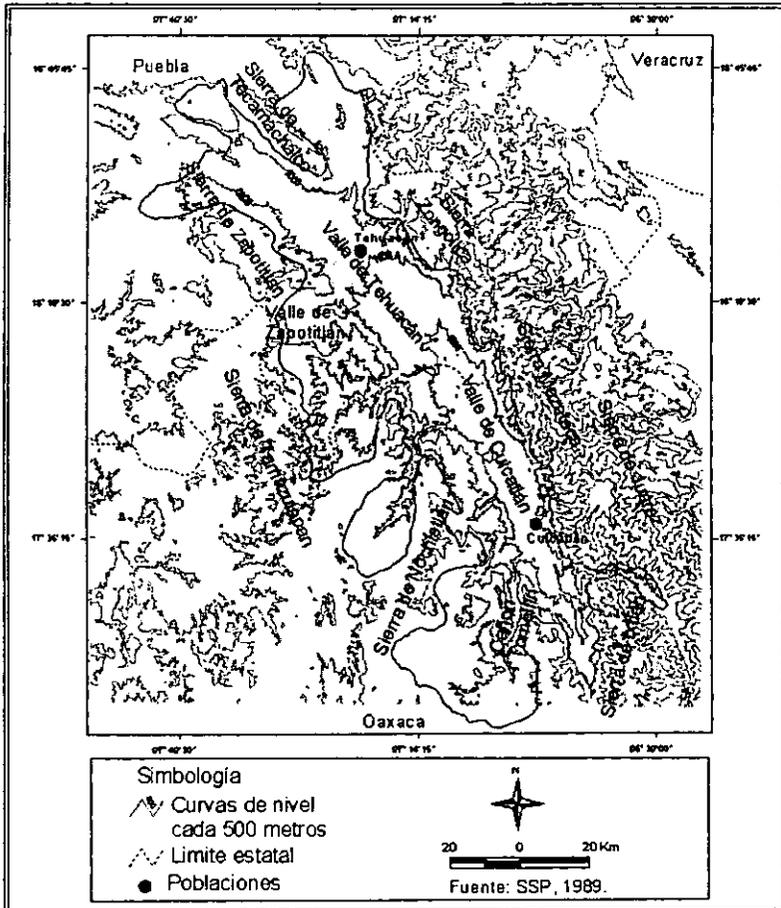


Fig. 2. Aspectos fisiográficos del Valle de Tehuacán-Cuicatán.

Ochoa (2001) menciona que por su morfología, el valle de Tehuacán-Cuicatlán presenta las características de una fosa tectónica que tiene continuación hacia la ciudad de Oaxaca y reconoce tres unidades principales mayores de relieve:

**Depresiones:** el valle de Tehuacán-Cuicatlán es una depresión ancha de 10 a 15 km, y con una longitud de 150 km. delimitada en ambos lados por elevaciones montañosas, principalmente de rocas calizas. Por la altitud, la depresión se subdivide en tres porciones: a. septentrional, b. central y c. meridional.

**Lomeríos:** se reconocen principalmente en la porción suroccidental. También se encuentran bordeando a las depresiones septentrional y meridional y están dispuestos a manera de un piedemonte.

**Montañas:** el relieve dominante de la cuenca de Tehuacán-Cuicatlán es montañoso, de estructura geológica compleja, donde afloran gneises precámbricos, rocas sedimentarias cretácicas y rocas volcánicas terciarias y cuaternarias. Todo esto refleja un proceso orogénico, en especial a partir de fines del Eoceno, época del levantamiento al que sigue actividad volcánica que continúa en el Cuaternario.

## **b. Hidrología**

El valle de Tehuacán es recorrido principalmente por el río Salado, que se origina al pie de la sierra Zongolica, y sigue su curso hacia el estado de Oaxaca donde se une con el río Grande del cual son afluentes varias corrientes del valle de Cuicatlán, como el río Seco, Apoala, Tomellín y las Vueltas. De la unión del río Salado y el río Grande se forma el río Santo Domingo, afluente del Papaloapan que desemboca al Golfo de México (Jaramillo y González, 1983).



De manera general las zonas ubicadas cerca de las sierras orientales del valle reciben mayor precipitación que las que se localizan en la parte del centro.

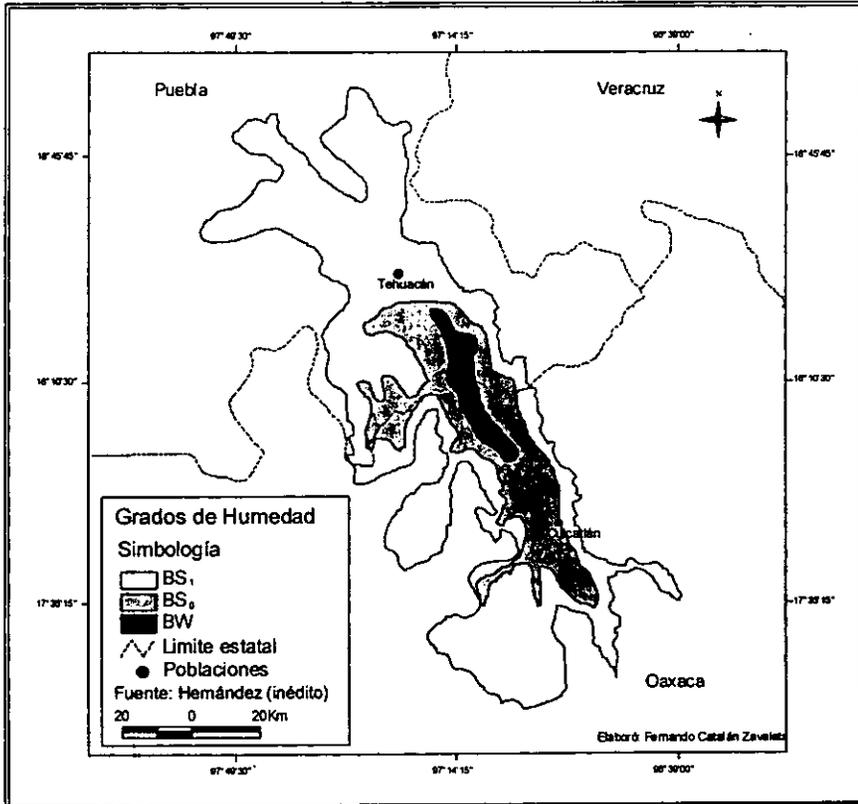


Fig. 4. Grados de humedad según Köppen modificado por García, 1988

En cuanto a las condiciones de temperatura, se presentan cuatro zonas térmicas: cálida, semicálida, templada y semifría (Carrasco, 1996). Estas condiciones están inversamente relacionadas con la altitud del área de estudio, al aumentar la elevación de la zona disminuye la temperatura.

La oscilación térmica en las diferentes áreas del valle se encuentran entre los 5° y 7° C, pero variaciones extremas (7°-14°C) pueden ocurrir entre el día y la noche, inclusive hasta de 30°C (Kjell, 1989). La temperatura media más baja ocurre en diciembre y enero, mientras que los meses más cálidos son abril y mayo. La marcha anual de la temperatura es de tipo ganges, es decir que el mes más cálido se presenta antes del solsticio de verano y de la temporada de lluvias (Carrasco, 1996).

- **Causas generales de la lluvia**

La humedad en esta zona es originada principalmente por los vientos alisios, ondas del Este y ciclones tropicales.

El sistema dominante en el Golfo de México durante la mitad caliente del año corresponde a la circulación del viento que proviene del anticiclón Bermuda-Azores del Atlántico Norte, los vientos denominados alisios que se cargan de humedad en el Golfo, pueden entrar al continente y producir precipitaciones en el valle, al igual que las ondas del Este que son una perturbación de los alisios. Los ciclones tropicales siguen una trayectoria errática aunque viajan siempre en la corriente de los Alisios, cuando tocan la costa de Veracruz, pueden también penetrar hacia el interior del continente y disiparse por la fricción con las montañas, dejando una amplia zona de lluvias continuas y aguaceros que pueden afectar el valle (Carrasco, 1996).

En la mitad fría del año, aire seco, frío e intenso en el lado del Golfo de México puede afectar esta zona, donde generalmente origina un descenso de temperatura y en ocasiones lluvias ligeras.

#### **d. Flora y fauna**

Rzedowski (1994) coloca el valle dentro de la Provincia Valle de Tehuacán-Cuicatlán, en la región xerofítica mexicana, caracterizada por clima seco, su flora, sobre todo en las partes más calientes, presenta ciertas relaciones florísticas con

la Provincia de la depresión del Balsas (Rzedowski, 1994); también afirma que es probable que el valle de Tehuacán-Cuicatlán, que hoy forma parte del sistema de drenaje del Papaloapan, en otras épocas fuera tributario del Balsas. El mismo autor reconoce las siguientes comunidades vegetales: bosque tropical caducifolio, matorrales xerófilos, y pastizal o zacatal; que de acuerdo a la carta de vegetación y uso del suelo del INEGI (1988), equivaldrían en el primer caso a selva baja caducifolia, en el segundo a , matorral xerófilo incluyendo chaparral y, por último, a pastizal inducido y cultivado, palmar y sabana.

Cabe mencionar que el valle de Tehuacán-Cuicatlán constituye la región de más alta diversidad florística para las cactáceas de México (Arias, 1993).

En esta zona se pueden encontrar una buena cantidad de endemismos como por ejemplo: *Oaxacania*, *Pringleochloa*, *Solosia*, etc. (Rzedowski, 1984).

- **Selva baja caducifolia**

Lomas (1998), basándose en la carta de uso de suelo y vegetación de la Secretaría de Programación y Presupuesto (SSP, 1985) cuantificó para el valle de Tehuacán-Cuicatlán alrededor de 2,126 km<sup>2</sup> de selva baja caducifolia (SBC) que corresponde al 29.9% de área del valle, localizándose principalmente en la parte sur del valle, en el estado de Oaxaca, y dos pequeñas regiones más en el estado de Puebla, una al este de la ciudad de Tehuacán, en las estribaciones de la sierra Zongolica y la otra en las estribaciones occidentales de la sierra de Tamazulapan.

La SBC es la vegetación tropical más ampliamente distribuida en México, está conformada por elementos tropicales, dominada por árboles de copas extendidas con alturas promedio entre 7 y 8 m el estrato arbustivo es muy denso (Trejo, 1999). Rzedowski (1994) denomina a este tipo de vegetación como bosque tropical caducifolio. La característica más sobresaliente de la SBC es su estacionalidad, que se relaciona íntimamente con la desigual distribución de la precipitación a lo largo del año (Trejo, 1996).

Casas-Andreu (1996), en un listado de anfibios y reptiles de Oaxaca menciona que regiones como el valle de Tehuacán-Cuicatlán, la Depresión del Balsas y los Valles Centrales de Oaxaca han sido muy poco estudiados, por lo que no existen datos concretos sobre el tema.

## IV. Metodología

### 1. Registros climatológicos

#### • Obtención y procesamiento

Se utilizaron registros de precipitación diaria de 96 estaciones meteorológicas del valle de Tehuacán-Cuicatlán y sus alrededores, que se obtuvieron del Extractor Rápido de Información Climatológica (ERIC), de las Subgerencias Regionales de la Comisión Nacional del Agua (CNA) de los estados de Oaxaca y Puebla y del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Con estos valores se determinó la precipitación media mensual y la precipitación total anual de cada estación de 1970 a 1983 para lo cual se utilizó la hoja de cálculo EXCEL V 5.0. El periodo de estudio se estableció de acuerdo a la disponibilidad de los registros climatológicos.

Con los resultados de los cálculos anteriores se elaboró una base de datos en Fox-Pro V 2.6 en donde se depuró la información con la ayuda de un programa elaborado en el mismo software (Hernández, Valdez y Torres, 1999), esta depuración consiste en reemplazar las celdas de la base de datos que no contienen valores con los promedios de los 10 años adyacentes a ésta y en eliminar los años con registros de menos de siete meses.

### 2. Cálculo del IS

Con la base de datos se procedió a calcular el Índice de Severidad de la Sequía Meteorológica (IS) (Sancho y Cervera, *et al.*, 1980) para cada año del periodo de estudio, mediante la siguiente fórmula:

$$IS = (\Sigma Y - \Sigma X) / \Sigma X$$

Donde: Y = Precipitación mensual registrada

X = Precipitación media mensual (periodo 1970-1983)

Si  $\Sigma Y - \Sigma X < 0$  hay sequía meteorológica

El valor  $\Sigma Y$  se obtiene de la suma de los datos de Y si son menores que su respectiva media mensual de X.

Para  $\Sigma X$ , los datos que se suman son las medias mensuales de X que fueron mayores para aquellos valores sumados Y.

El cálculo del IS se realizó en Fox Pro con el programa de Hernández, Valdez y Torres (1999).

El índice de severidad de la sequía meteorológica se clasificó en siete categorías:

Categoría	IS
<i>Ausente</i>	<0.2
<i>Leve</i>	0.2 - 0.35
<i>Fuerte</i>	0.35 - 0.4
<i>Muy fuerte</i>	0.4 - 0.5
<i>Severa</i>	0.5 - 0.6
<i>Muy severa</i>	0.6 - 0.8
<i>Extremadamente Severa</i>	> 0.8

Tabla 1. Categorías del IS con sus respectivos valores

### 3. Cartografía.

#### a. Trazo de isolíneas

Con los valores del IS, se trazaron las isolíneas para generar las cartas de severidad de la sequía meteorológica del valle de Tehuacán-Cuicatlán, escala 1:1 000 000, para cada año del periodo de estudio sobre el mapa topográfico del área (INEGI, 1981).

#### b. Procesamiento cartográfico

Los mapas generados se digitalizaron en el sistema de información geográfica (SIG) The Integrated Land and Water Management Information System (ILWIS) V 1.3 para facilitar el manejo de la información contenida en los mismos, para ello se utilizó el manual elaborado por Palacio y Luna (1993). Una vez digitalizados los

mapas se convirtieron a formato raster para realizar las operaciones de análisis espacial. Estas operaciones consistieron en:

- Cuantificar las áreas afectadas por las diferentes categorías de severidad de la sequía.
- Determinar las zonas agrícolas de temporal y áreas con vegetación natural (selva baja caducifolia) afectadas por las categorías de la sequía meteorológica.

Estos mapas se exportaron al SIG Grass V. 5.0 donde se les dio un formato de salida compatible con ARCVIEW 3.2, para la edición final de los mismos.

Con el objetivo de observar la distribución espacial del IS a través del tiempo, se formaron dos grupos con las categorías obtenidas, en uno se agruparon las designadas como *ausente*, *leve*, *fuerte* y *muy fuerte*, y en el otro, los de *severa*, *muy severa* y *extremadamente severa*. Se sumó la superficie ocupada para cada categoría por grupo y se gráfico en barras. Se agregaron los mapas del valle que muestran el área ocupada por estos grupos (fig 20).

#### **4. Estadística**

Se aplicó la prueba *t* de Student , con un intervalo de confianza del 95 por ciento y 13 grados de libertad, a los registros de la precipitación media mensual para determinar los años con diferencias estadísticas significativas respecto a los valores de precipitación normales en la zona.

## V. Resultados y Discusión

Los resultados de este trabajo permitieron elaborar 14 mapas que corresponden a cada año del periodo de estudio (figs. 6-19, ver anexo 1), donde se muestra la distribución espacial de las áreas afectadas por la sequía meteorológica, y un mapa más, generado a partir de los valores promedio de todo el periodo de estudio (fig. 5). Para cada mapa se generó la tabla correspondiente con la información del área (Km<sup>2</sup>) que cubrieron las categorías del IS anualmente, así como los valores porcentuales de las mismas. También se presentan tablas y gráficas con la información de la superficie que abarcaron las categorías del IS con respecto a las zonas agrícolas y las áreas con vegetación natural, particularmente selva baja caducifolia.

El común denominador para los catorce mapas del IS es la presencia de tres de las categorías de este índice, *muy fuerte* (0.4-0.5), *severa* (0.5-0.6) y *muy severa* (0.6-0.8), condiciones que prevalecieron a lo largo de todo el periodo de estudio, y que afectan diferentes extensiones de terreno. (ver anexo 1). Las clases de *leve* (0.2-0.35) y *ausente* (<0.2) sólo se registraron en seis años en pequeñas porciones del valle localizadas hacia los límites del mismo.

Con base en las categorías de mayor incidencia, arriba mencionadas, y sacando un promedio del área que afectaron, se observa que aproximadamente el 80% del valle de Tehuacán-Cuicatlán (VTC) presenta estas condiciones de sequía meteorológica año tras año (tabla 2).

Año \ IS	Muy fuerte	Severo	Muy severo	Total
1970	30.7	32.2	15.7	78.6
1971	28.4	32.2	7.4	68.0
1972	26.3	44.6	25.5	96.4
1973	31.1	48.9	0.0	80.0
1974	2.8	26.6	50.1	79.5
1975	34.7	25.2	24.5	84.4
1976	29.3	26.3	11.4	67.0
1977	14.4	35.4	41.8	91.6
1978	35.1	22.5	4.3	61.9
1979	33.5	7.2	29.7	70.4
1980	29.4	22.1	22.8	74.3
1981	16.6	45.2	38.1	100.0
1982	0.0	8.9	51.8	60.7
1983	6.7	19.6	68.2	94.5
Media	22.8	28.4	28.0	79.1

Tabla 2. Superficie del VTC afectada por la severidad de la sequía expresada en porcentaje. Sólo se presentan las categorías más frecuentes y con mayor área.

## 1. Análisis de mapas

### a. Sequía media anual

El mapa de severidad de la sequía media anual se elaboró con el promedio de los valores del IS de los catorce años considerados en este trabajo.

El mapa que se obtuvo (fig. 5) muestra que fueron dos categorías de severidad de la sequía las que predominaron en la mayor parte del VTC: la primera corresponde a la de *muy fuerte* (0.4-0.5) en el 39.6% de la superficie del VTC (2850 Km<sup>2</sup>) (tabla 2), y afectando el extremo suroriental de la zona de estudio. La segunda clase, *severa* (0.5-0.6), ocupa el 59.6%, es decir, 4290 Km<sup>2</sup> del total del área del VTC; abarca prácticamente toda la porción norte, extendiéndose a lo largo de la porción occidental del valle de Cuicatlán hasta las laderas al sureste de la sierra de Nochixtlán. Las condiciones de *fuerte* (0.35-0.4) y *muy severo* (0.6-0.8) también se presentaron, pero sólo en el 0.1% (10.8 Km<sup>2</sup>) y 0.8% (50.8 Km<sup>2</sup>) respectivamente, la primera se ubica al oriente de la sierra de Tecamachalco, mientras que la segunda en dos pequeñas porciones en los extremos del Valle.

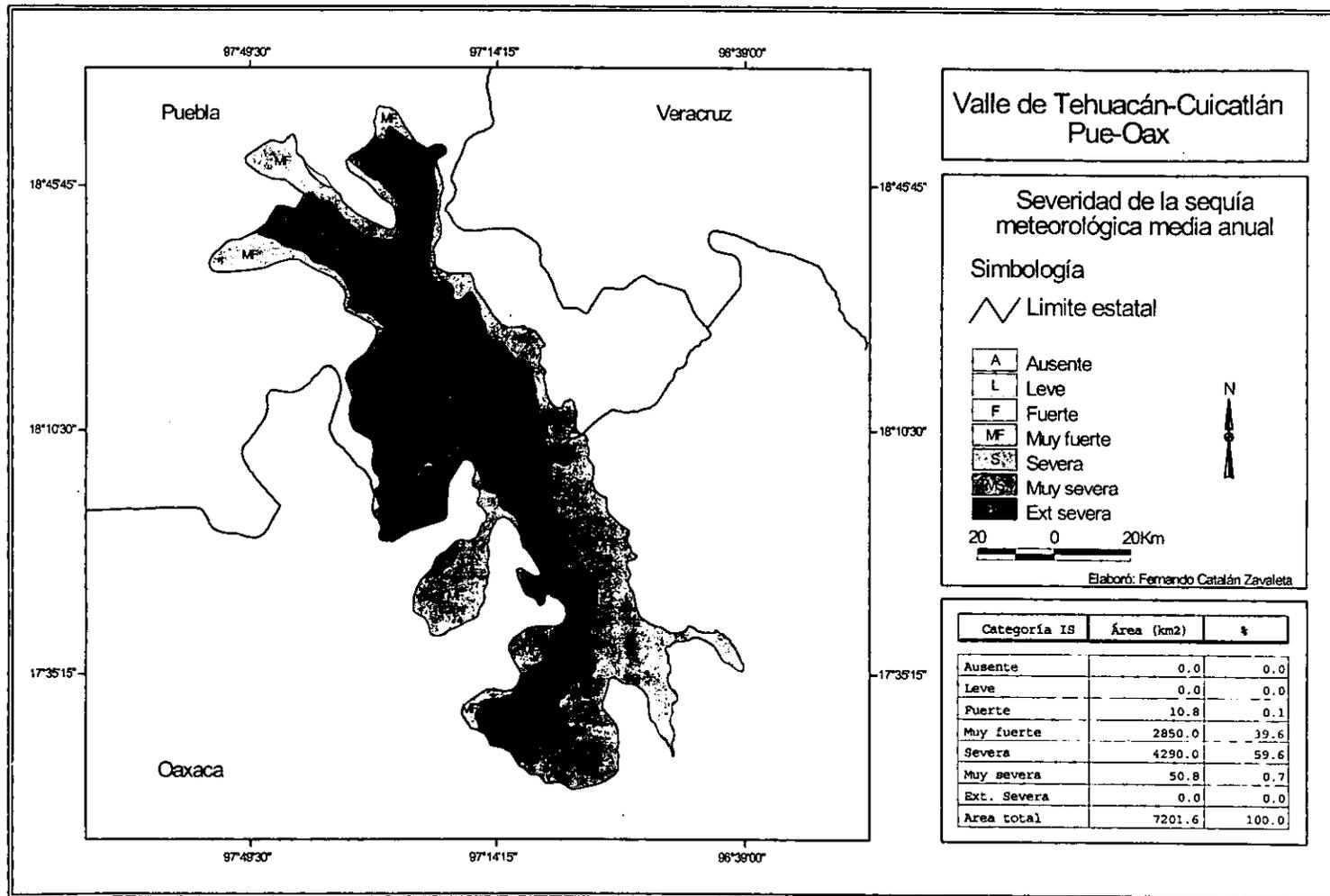


Fig. 5. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica media anual

Sin embargo, aún cuando este mapa revela una amplia cobertura dentro del valle de las categorías de *muy fuerte* y *severa*, la frecuencia con que se presentan estas condiciones resulta ser baja (tabla 3). Como se puede apreciar en esta tabla, las clases mencionadas en el párrafo anterior, al igual que los de *fuerte* y *muy fuerte* muestran una frecuencia relativa del orden del 20%, es decir, sólo en 2.8 años se presentaron estas condiciones en el periodo estudiado, lo que pone en evidencia la alta predicibilidad de la precipitación en el VTC (Valiente, 1991), debido a su ubicación al sur del Trópico de Cáncer, donde es constante la entrada de fenómenos meteorológicos que provocan lluvia.

IS	Superficie (km <sup>2</sup> )	%	Frec rel
Ausente	0.0	0.0	0.08
Leve	0.0	0.6	0.09
Fuerte	10.8	0.1	0.18
Muy fuerte	28520.0	39.6	0.20
Severa	4290.0	59.6	0.22
Muy severa	50.8	0.7	0.20
Ext. Severa	0.0	0.0	0.03
Total	7206.0	100	1

Tabla 3. Superficie afectada por la severidad de la sequía media anual en sus diversas categorías en el VTC y su frecuencia expresada en %.

## b. Distribución de la severidad de la sequía

Para la descripción de los mapas de severidad de la sequía, estos se clasificaron en tres grupos de acuerdo con la presencia y cobertura de las diferentes categorías del IS:

**Grupo 1.** Los mapas de este grupo mostraron casi todas las categorías del IS, desde *ausente* (<0.2) hasta *muy severa* (0.6-0.8). Forman parte de este grupo los años 1970, 1975, 1976, 1978, 1979 y 1980. Por otro lado, 1975 y 1980 se colocan en un subgrupo que se caracteriza por que las condiciones de *severa* y *muy severa* abarcaron amplias extensiones de terreno.

**Grupo 2.** En este grupo, conformado por los años de 1971 y 1973, las categorías intermedias del IS son los que se presentaron, es decir, *fuerte* (0.35-0.4), *muy fuerte* (0.4-0.5) y *severa* (0.5-0.6).

**Grupo 3.** Está comprendido por los años de 1972, 1974, 1977, 1981, 1982 y 1983, que tienen la particularidad de presentar rangos que indican mayor severidad de sequía meteorológica en amplias extensiones del VTC, siendo más frecuentes *muy fuerte* (0.4-0.5), *severa* (0.5-0.6), *muy severa* (0.6-0.8) y *extremadamente severa* (>0.8).

### c. Descripción de los mapas por grupo

#### Grupo 1

En 1970 se registraron casi todas las clases del IS (fig. 6), excepto la de *extremadamente severa* (>0.8). Las categorías de *severa* (0.5-0.6) y *muy fuerte* (0.4-0.5) son las que tuvieron mayor cobertura, ocupando la primera 32.2% (2320 Km<sup>2</sup>) del valle en la porción central y norte del valle, mientras que la segunda, se registró en el 30.7% (2210 Km<sup>2</sup>) de la superficie distribuyéndose por todo el valle. *Fuerte* (0.35-0.4) con 18% (1300 Km<sup>2</sup>) y *muy severa* (0.6-0.8) en 15.7% (1130 Km<sup>2</sup>) son las categorías de sequía que siguen en superficie cubierta para este año. Las dos restantes ocuparon áreas muy pequeñas.

Las condiciones de sequía para 1975, mostraron que la categoría con mayor cobertura fue *muy fuerte* (0.4-0.5) con 34.7% (2947 Km<sup>2</sup>) distribuida por todo el valle; seguido por *severa* (0.5-0.6) en 1816 Km<sup>2</sup> (25.2%) y *muy severa* (0.6-0.8) con 24.5% hacia la parte central del valle. *Fuerte* (0.35-0.4) se registró abarcando el 12.2% (877 Km<sup>2</sup>) en la sierra de Zapotitlán y laderas de la sierra de Tecamachalco; *leve* y *ausente* fueron las clases de menor cobertura entre las sierras Zongolica y de Tecamachalco (fig. 11).

En 1976 (fig. 12) se presentan las categorías del IS de *ausente* a *muy severa*, y con una mayor cobertura de terreno para las clases de menor intensidad. La

categoría de *ausente* ( $<0.2$ ) abarcó el 6.5% (468.14km<sup>2</sup>), *leve* se extendió un poco más ocupando el 7.2% (521.18km<sup>2</sup>) de la superficie, ambas se localizaron sobre la sierra de Juárez hacia el Cañón de Tomellín. La categoría de *fuerte* se registró de manera importante con el 19.3% (1390.97km<sup>2</sup>) en varias partes del valle. *Muy fuerte* y *severa* fueron las categorías que ocuparon mayor superficie, la primera en el 29.3% (2109.81 km<sup>2</sup>) y la segunda en 26.3% (1896.16 km<sup>2</sup>) y por último la categoría de *muy severa* cubrió el 11.4% ó 817.58 km<sup>2</sup> en la parte central del valle, entre los límites de Puebla y Oaxaca.

Para 1978 se presentaron de nuevo casi todas las categorías del índice de severidad de la sequía meteorológica, ya que sólo la de *extremadamente severa* no se registró ( $>0.8$ ); *ausente* ( $< 0.2$ ) y *severa* (0.5-0.6) ocuparon una parte mínima del VTC. *Muy fuerte* (0.4-0.5) fue la de mayor cobertura con el 35% del valle (2530 km<sup>2</sup>). Las categorías restantes se presentaron en proporciones similares de terreno. *Muy severa* en la parte central del valle de Tehuacán, al igual que *severa* que se extendió sobre la sierra de Tamazulapan, y *fuerte* hacia la sierra y valle de Zapotitlán y en Cuicatlán (fig. 14).

Para 1979, *leve*, *muy fuerte* y *muy severo* son las categorías que más afectaron al valle, las restantes apenas abarcaron un poco más del 15% del valle (1143 Km<sup>2</sup>). La primera cubre 21% (1510 km<sup>2</sup>) en una franja al este del valle de Cuicatlán. La segunda con 33.5% (2410 km<sup>2</sup>) de la superficie se localizó en el extremo oeste del valle de Cuicatlán, cañón de Tomellín y laderas este y sureste de la sierra de Nochixtlán; mientras que condiciones de *muy severa* se ubicaron en el estado de Puebla afectando el 29.7% del área (2140 km<sup>2</sup>) (fig. 15).

Por último, en 1980, los categorías para la severidad de la sequía de *fuerte*, *severa* y *muy severa* se presentaron en proporciones similares de cobertura del VTC ( $\cong 20\%$ ). En este año, a diferencia de los anteriores, las categorías de mayor intensidad de la sequía meteorológica se distribuyeron en el estado de Oaxaca, y en el valle de Cuicatlán, mientras que en el de Tehuacán sucedió lo contrario, pues se presentaron las de menor intensidad (fig. 16).

## Grupo 2.

Para 1971 (fig. 7) la categoría de *muy severa* ocupó el 7.4% (534 Km<sup>2</sup>) al norte del valle en una franja que llega hasta las laderas de la sierra Zongolica; *muy fuerte* se ubicó en varias regiones por todo el valle, ocupando el 28.4% (2040 Km<sup>2</sup>); las clases designadas como *fuerte* y *severa* ocuparon el 32% (2300 Km<sup>2</sup>) cada uno, la primera se ubica en una franja que atraviesa el valle longitudinalmente y la segunda sobre las laderas interiores que rodean al valle.

En 1973, el estado de la sequía se caracterizó por las categorías de *fuerte* en el 20% del valle (1440 Km<sup>2</sup>), afectando los extremos norte y sur del valle principalmente; *muy fuerte* en el 31.1% (2240 Km<sup>2</sup>) y *severa* en el resto de la superficie de la zona de estudio (fig. 9).

## Grupo 3

En 1972, las condiciones de *severa* se registraron en el 44.6% del valle (3212 Km<sup>2</sup>) y prácticamente en toda su extensión. Sobre las laderas de las sierras Zongolica y de Juárez, así como las sierras de Tecamachalco y de Zapotitlán la categoría de *muy fuerte* se presentó abarcando el 26.3% (1893 Km<sup>2</sup>). Por último *muy severa* con el 25.5% (1840 Km<sup>2</sup>) del área, afectó el valle de Zapotitlán y laderas de la sierra de Tamazulapan (fig. 8).

Más tarde, en 1974, la condición de *extremadamente severa* (>0.8) se presentó en las laderas de las sierras de Tamazulapan y de Nochixtlán, esta es la primera de dos ocasiones que se registra esta categoría del IS durante el periodo de estudio, y ocupó el 20.6% (1483 Km<sup>2</sup>). La categoría de *muy severa* (0.6-0.8) cubrió la mitad de la superficie del VTC, en una franja que lo recorre longitudinalmente de extremo a extremo; mientras que la condición de *severa* (0.5-0.6) abarcó el 26.6% (1913 Km<sup>2</sup>), al pie de la sierra Zongolica, *muy fuerte* (0.4-0.5) apenas cubrió el 2.8% (fig. 10).

La condición de *muy severa* (0.6-0.8) fue el de mayor presencia en 1977, ya que se registró en prácticamente todo el valle de Cuicatlán y parte del de Tehuacán

cubriendo un área total de 41.8% (3008.09 km<sup>2</sup>). Le sigue la de *severa* (0.5-0.6) con 35.4% (2546.02 km<sup>2</sup>) sobre el valle de Tehuacán y hacia la sierra de Tamazulapan y en la ladera sureste de la sierra de Nochixtlán y cañón de Tomellín. Las categorías de *fuerte* (0.35-0.4) y *muy fuerte* (0.4-0.5) también se registraron, la primera en una extensión correspondiente al 8.5% (610 Km<sup>2</sup>) y en 14.4% la segunda (1037 Km<sup>2</sup>) (fig. 13).

En 1981 son tres las clases del IS que se registraron, de las cuales, la de *severa* (0.5-0.6) se presentó en una mayor extensión de terreno cubriendo el 45.21% (3260 km<sup>2</sup>), la mayor parte en el valle de Cuicatlán, Oax., y una pequeña porción en el estado de Puebla. La condición de *muy severa* cubrió el 38.14% de la extensión del VTC (2750 km<sup>2</sup>) abarcando los dos estados y por último el 16.64% (1200 km<sup>2</sup>) de la superficie presentaron condiciones de *muy fuerte* principalmente en los extremos del valle (fig. 17).

Para 1982 de nuevo son tres las categorías del IS que afectaron al valle, pero esta vez fueron las de mayor intensidad de sequía, siendo *muy severa* (0.6-0.8) y *extremadamente severa* (> 0.8) (esta es la segunda vez que se registró) los que cubren la mayor parte del área de estudio, la primera en más de la mitad del valle, abarca el 51.8% (3730 km<sup>2</sup>) y la segunda el 40% (2830 km<sup>2</sup>). Condiciones designadas como *severas* (0.5-0.6) se presentaron en el 8.9% restante (641 km<sup>2</sup>) sobre las laderas occidentales de la sierra de Juárez y orientales de la sierra de Zapotitlán (fig. 18).

En general, la categoría dominante del IS para el año de 1983 fue la de *muy severa* (0.6-0.8) que se extendió prácticamente por toda la zona de estudio; *severa* (0.5-0.6) abarcó el 20% del área (1410 km<sup>2</sup>) ubicándose hacia las laderas de las sierras; las de *muy fuerte* (0.4-0.5) y *fuerte* (0.35-0.4) afectaron las laderas orientales de las sierras de Juárez y Zongolica (fig. 19).

En la figura 20 se indica de manera gráfica la distribución espacial de las categorías de más intensidad del IS: *severa*, *muy severa* y *extremadamente severa*. Se puede observar cómo en los años 1972, 1974, 1977, 1981, 1982 y

1983, que forman el grupo 3, la sequía afectó más del 50% de la superficie del valle.

## 2. Prueba estadística

Se aplicó la prueba de *t Student* a los datos anuales de precipitación con el fin de obtener una referencia estadística sobre el comportamiento de las lluvias en la zona.

Con base en los resultados de la prueba de *t* aplicada a la base de datos de precipitación (fig 21), se determinó que de los años que se consideraron para el grupo 1, 1970, 1976, 1978 y 1980, no presentaron diferencias estadísticas significativas con respecto a la precipitación media registrada en el VTC y es que durante estos años se dio una baja incidencia de perturbaciones tropicales y con poca influencia en la zona, condiciones normales de la misma. Por otro lado, 1975 presentó valores de precipitación por encima de el valor medio (fig 11) y es que en este año se presentó una tormenta tropical denominada Carolina, que aún distante del valle aportó algo de humedad (Carrasco, 1996). También 1979 fue un año con una precipitación más abundante y con diferencias estadísticas significativas; provocada por una importante presencia de perturbaciones tropicales y por el ciclón tropical Henry que se presentó muy cerca del VTC. Otra perturbación denominada David se observó en el extremo norte del Golfo de México. También ocurrieron algunas vaguadas que aportaron cierta cantidad de humedad por su cercanía con el valle.

De los años del grupo 2, 1971 no presentó diferencias estadísticas significativas, mientras que para 1973, los datos muestran que la precipitación estuvo por arriba de la media. En el primer año, al igual que en la mayoría del grupo 1, existe una baja incidencia de perturbaciones tropicales y que afectan al VTC. En el segundo

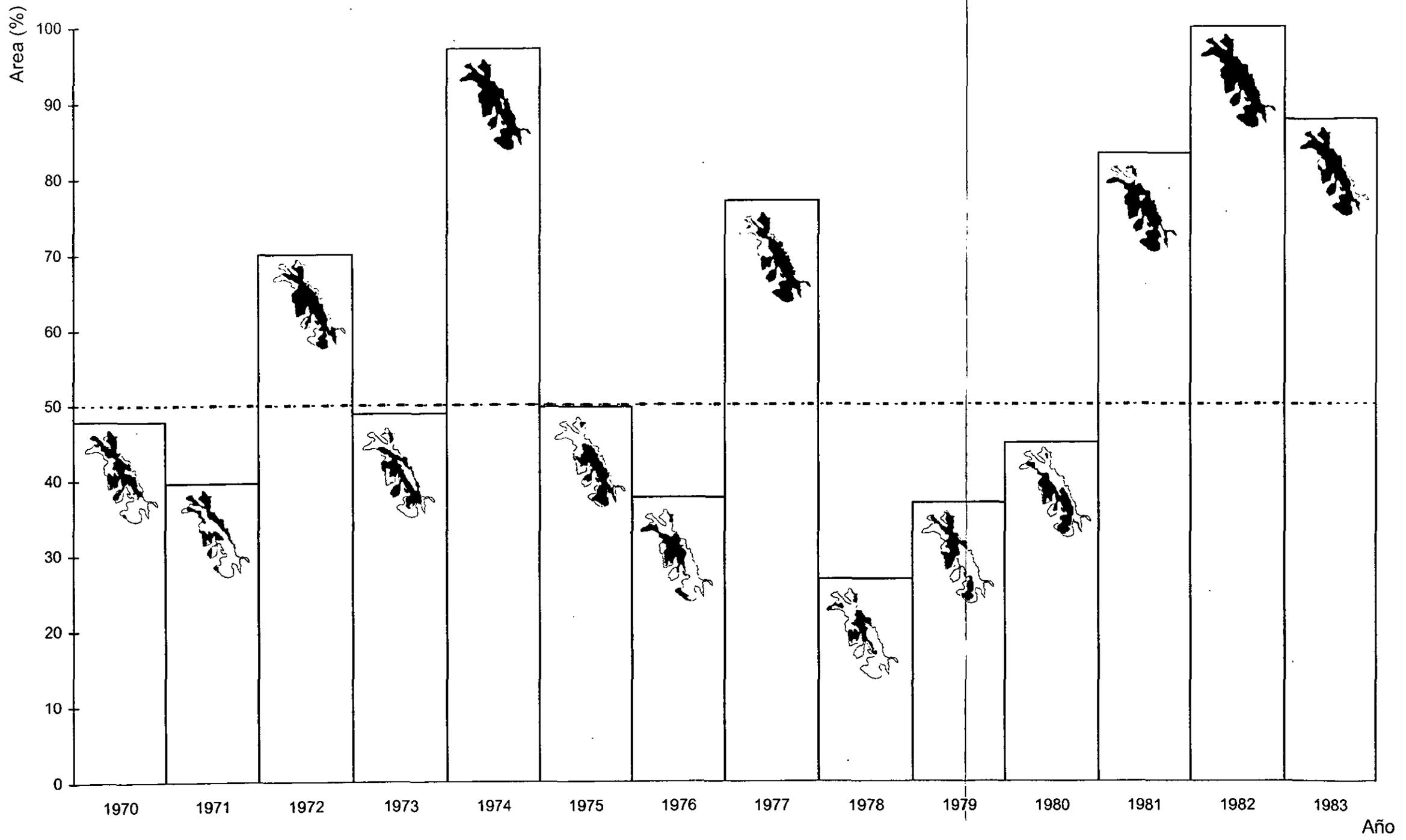


Fig. 20. distribución espacial de las categorías de más intensidad del IS (negro).

año, se presenta una intensificación de los vientos alisios sobre el Caribe y la región del Golfo de México (Magaña, et al, 2000), propiciada por la ocurrencia del fenómeno de El Niño (ENSO) (Arntz y Eberhard, 1996) ocurrido en este año y en el anterior, siendo posiblemente los responsables de introducir humedad a la zona de estudio.

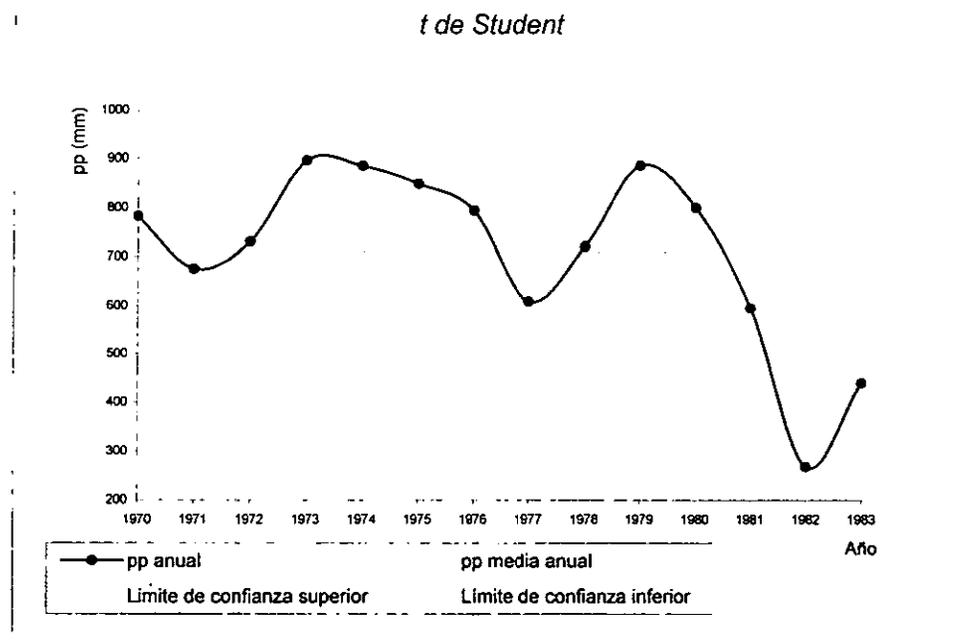


Fig. 21. Valores de la prueba *t de Student* aplicada a los registros de *pp* media anual en el valle de Tehuacán-Cuicatlán.

Por último, de los años considerados dentro del grupo 3, 1972 y 1977 no mostraron diferencias estadísticas.

En 1974 se obtuvieron diferencias estadísticas superiores a la media. Durante 1974 se combinaron varios factores que determinaron tales condiciones, por un lado, en junio entró a tierra una perturbación tropical denominada Dolores por el estado de Guerrero provocando una mayor precipitación en el centro del país. También en este mes, se presentó una onda tropical que quedó estacionada sobre

el Golfo de México generando aún más lluvias (Carrasco, 1996). Por otro lado, la presencia de una fuerte perturbación tropical denominada Fifi a mediados de septiembre, que cruzó el sur de la península de Yucatán y que una vez debilitado como depresión tropical afectó el sur del VTC, generando lluvias importantes en algunas partes del mismo. Sin embargo, siendo un año con una gran cantidad de precipitación, como lo revelan los resultados estadísticos, las categorías del IS que se determinaron para ese año fueron los de más alta intensidad: *severa*, *muy severa* y *extremadamente severa*. Estas diferencias se pueden atribuir a que para calcular el IS, se considera la distribución de la lluvia a lo largo de todo el año, por lo que se podría pensar que si bien hubo lluvia en 1974, por arriba del promedio anual, ésta se concentró en los dos meses en que se presentaron las perturbaciones meteorológicas antes mencionadas.

Los últimos años incluidos en el grupo 3 y que resultaron con valores por debajo del valor medio de pp fueron 1981, 1982 y 1983. Durante estos tres años los fenómenos meteorológicos que se originan en el Océano Atlántico y que son los responsables de introducir humedad al VTC son prácticamente inexistentes. En 1981 se registraron 2 ciclones tropicales en el Golfo de México, que aún cuando pudieron introducir humedad al valle, no fue suficiente para que la precipitación se considerara dentro de los valores normales. En el año de 1982 se registraron 2 ciclones tropicales en el Mar Caribe y uno en el Golfo de México, sin embargo, fue el año estadísticamente más seco, lo que revela que no introdujeron lluvias a la zona de estudio. En 1983, sólo se formó un ciclón en el Golfo de México. La baja incidencia de dichos fenómenos meteorológicos en 1982 y 1983 se debe, a que durante este periodo se presentó un fuerte episodio ENSO, responsable de la disminución de las lluvias invernales en la parte sur del país y de veranos más cálidos y secos en años de ENSO. Así mismo, en los mapas del IS generados para estos tres últimos años se puede observar que las categorías más severas del IS se presentaron en grandes extensiones del VTC, siendo una posible consecuencia de El Niño.



### 3. El IS en zonas con vegetación natural y zonas agrícolas

La tabla 4 resume a *grosso modo* la información del uso de suelo en el valle de Tehuacán-Cuicatlán. El 70% de la superficie del valle está ocupado por vegetación natural de diversos tipos, siendo el matorral xerófilo y la selva baja caducifolia los más representativos, ya que ocupan 17.8% y 29.4% del área total del valle respectivamente; otro 22.8% está ocupado por otros tipos de vegetación (se incluyen las zonas perturbadas) (Lomas, 1998). Dicha vegetación responde a la cantidad de lluvia que se recibe en la zona, y a otros factores como la geomorfología, suelo, temperatura, etc.

El resto del valle, equivalente al 30% de su área total, corresponde a las zonas agrícolas de riego y de temporal, de los cuales esta última es la que se presenta en mayor proporción, ocupando 1412.5 km<sup>2</sup>, casi el 20% del área total del VTC. Para la agricultura de riego se ocupan aproximadamente 760.4 km<sup>2</sup> (10.5%), principalmente en la parte central. La presencia de este tipo de agricultura está dada, a pesar de ser una zona árida, por la presencia de la red hidrológica alimentada por los escurrimientos de la Sierra Madre Oriental y aguas subterráneas (Kjell y Whiteford, 1989).

Vegetación o Uso de Suelo	Área (km <sup>2</sup> )	% con respecto al total
Agricultura de temporal	1412.5	19.5
Agricultura de riego	760.4	10.5
Vegetación natural	3693.9	51
Áreas perturbadas	1373.9	19
Área total	7240.6	100

Tabla 4. Superficie en kilómetros (km<sup>2</sup>) y porcentaje ocupada por vegetación natural y cultivada en el VTC (SSP,1985)

### a. Selva Baja Caducifolia (SBC) y el IS

La SBC es la comunidad vegetal con mayor cobertura dentro del VTC, ocupa el 29.4% (2126.75 Km<sup>2</sup>), este tipo de vegetación es el menos fragmentado (SSP, 1985) y se localiza principalmente en la parte sur del valle, en el estado de Oaxaca. Está dividida por la carretera federal DF-Oaxaca, en dos porciones, este y oeste; se presenta sobre las laderas de las sierras de Juárez y de Nochixtlán, forma tres franjas localizadas una en el cañón de Tomellín y otras dos en las cuencas de los ríos Las Vueltas e Ixtlán y laderas de la sierra Ixtlán. También se sitúa en una pequeña área al sur del estado de Puebla, y en tres "islas" localizadas, una en la parte noreste del valle, en el municipio de Tepexi de Rodríguez, otra al oeste de la ciudad de Tehuacán y la tercera en el centro del valle en las cercanías de San Gabriel Chilac (Lomas, 1998).

Del cruzamiento entre el mapa de Uso de Suelo y Vegetación con los mapas del IS, para determinar las categorías de la severidad de la sequía que se presentaron en regiones con SBC, se obtuvieron los valores que se presentan en la tabla 5. Para esta etapa del análisis se tomó como el 100% del área afectada por el IS la superficie ocupada por SBC (2126.75 Km<sup>2</sup>) y no la de todo el VTC.

Los resultados muestran que las áreas donde se encuentra este tipo de vegetación fueron las menos susceptibles a la sequía meteorológica, la figura 23 y la tabla 5 ponen de manifiesto cómo las categorías intermedias e inferiores del IS se concentran en una mayor superficie, mientras que sucede lo contrario con las superiores. *Extremadamente severa* (> 0.8) no se registró para ningún año, *muy severa* (0.6 a 0.8) sólo se presentó en 1970 y 1975 en el 30.8% y 32.6% respectivamente y en el 26.8% para 1978; mientras que la categoría designada como *severa* tuvo una cobertura importante sólo en 1975 (37.9%). *Muy fuerte, fuerte y leve* fueron las clases que predominaron durante los catorce años y aún la categoría correspondiente a *ausente* se presentó en casi todo el periodo de estudio (tabla 5). El comportamiento anterior puede ser el resultado de la distribución de la SBC dentro del valle, ya que la mayor parte se localiza en la parte sur y en las laderas de las sierras, donde se recibe una mayor precipitación,

como lo indica el régimen climático (BS<sub>1</sub>) a diferencia del que presenta la parte central del valle (BW) (Hernández, inédito).

IS \ Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Ausente	0.0	4.3	0.0	13.1	26.7	0.0	10.9	0.0	5.6	2.2	18.9	10.3	53.8	9.3
Leve	19.1	49.4	17.7	28.5	5.1	0.7	25.6	6.2	18.1	21.8	4.6	30.6	37.1	11.0
Fuerte	0.0	21.2	16.4	58.4	47.6	0.0	10.8	67.0	19.2	19.2	20.6	59.1	9.2	56.9
Muy fuerte	31.8	25.2	65.9	0.0	20.6	28.8	27.7	26.9	29.6	40.7	41.6	0.0	0.0	22.9
Severo	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	37.9	10.5	0.0	0.7	0.6	14.4	0.0	0.0	0.0
Muy severo	30.8	0.0	0.0	0.0	0.0	32.6	14.6	0.0	26.8	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0
Ext. Severo	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabla 5. Comportamiento de la severidad de la sequía en zonas con SBC en el VTC a través del periodo de estudio. Los valores indican superficie afectada en %.

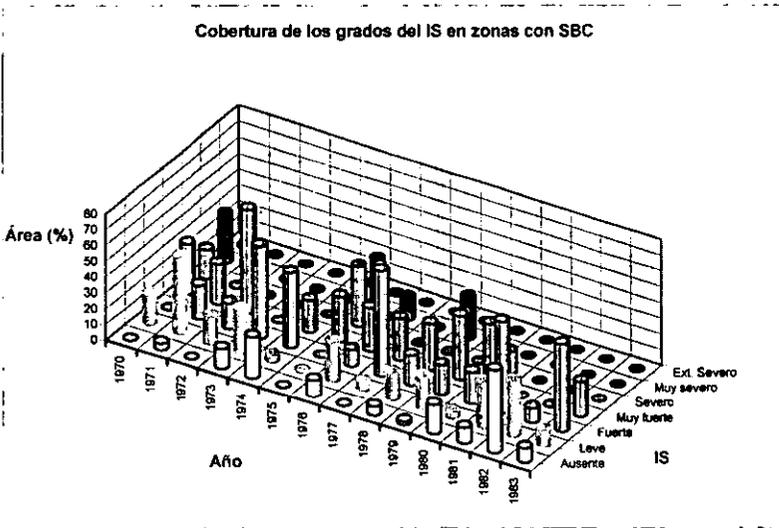


Fig. 23 Cobertura de las categorías de la severidad de la sequía meteorológica en zonas con SBC.

## **b. Zonas agrícolas (temporal)**

En la figura 24 y la tabla 6 se indica cómo la sequía repercutió en las zonas agrícolas de temporal. La superficie destinada para este tipo de agricultura (1412.5 Km<sup>2</sup>) es la que se tomó como el 100%. Las categorías designadas como *ausente* y *leve* no tuvieron mucha relevancia. La de *fuerte* se registró para 8 años cubriendo superficies que fueron desde el 16% en 1975, hasta el 30.9% en 1978. La condición de *muy fuerte* se presentó durante 10 años en áreas mayores, 44.2% en 1975, 35.3% en 1976, 35% en 1980, etc., en 1974 sólo cubrió 1.3% (18 Km<sup>2</sup>) y sólo no se reportó para 1982. La categoría de *severa* apenas abarcó 0.1% en 1983 y 6.8% en 1982, sin embargo, el resto de los años ocupó grandes extensiones, durante los años 1970, 71, 74 y 81 afectó más del 30% de superficie; para 1972, 73 y 77 se extendió a más del 40% del territorio del valle. *Muy severa* presentó menor cobertura en general, excepto en 1974, cuando abarcó 62.4% y en 1983 cuando se extendió prácticamente por todo el VTC. La categoría de *extremadamente severa* sólo se registró en 1982 con un 32.1% respecto al total de su superficie.

Como se ha podido observar ésta es una zona con una constante incidencia de las condiciones intermedias y de mayor intensidad de la sequía meteorológica en las zonas agrícolas de temporal, sobre todo en los últimos tres años estudiados. Estas condiciones convierten el VTC en una zona con pocas posibilidades de conseguir buenos rendimientos en las actividades agrícolas, principalmente las de temporal. Lomas (1998), hace referencia a una disminución del 1.06% en las áreas destinadas para agricultura de temporal de 1985 a 1992. Este fenómeno puede tener su origen en un mal manejo del uso de suelo o bien a un abandono de áreas de cultivo de temporal por la baja precipitación pluvial en algunos años y por tanto bajo rendimiento de las cosechas (Carrasco, 1996).

El cambio de uso del suelo en estas zonas de cultivo abandonadas, es de suma importancia. Como ya se mencionó, la sequía es básicamente una consecuencia de las variaciones naturales de la circulación atmosférica y si a dichas variaciones atmosféricas se añaden los cambios en el uso del suelo, los efectos negativos en

el medio ambiente se pueden amplificar, resultando en falta de humedad en los terrenos agrícolas y forestales (Magaña, 1999), e inclusive llegar a una degradación del suelo.

IS \ Año	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Ausente	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	6.8	0.0	2.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Leve	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	9.1	0.0	21.1	3.4	5.3	0.0	0.0	0.0
Fuerte	21.9	26.1	4.7	29.6	0.0	15.9	28.7	8.1	30.9	20.8	27.5	0.0	0.0	2.2
Muy fuerte	21.5	27.7	37.9	29.4	1.3	44.2	35.3	10.5	27.8	31.2	35.0	30.2	0.0	4.2
Severo	30.0	30.3	47.5	40.9	30.5	21.4	19.0	43.0	17.0	37.2	16.4	33.1	6.8	0.1
Muy severo	17.8	15.9	9.9	0.0	62.4	11.9	1.1	38.4	0.6	7.2	15.7	36.7	61.2	93.5
Ext. Severo	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.1	0.0

Tabla 6. Comportamiento de la severidad de la sequía en zonas con agricultura de temporal en el valle VTC a través del periodo de estudio. Los valores indican superficie afectada en %.

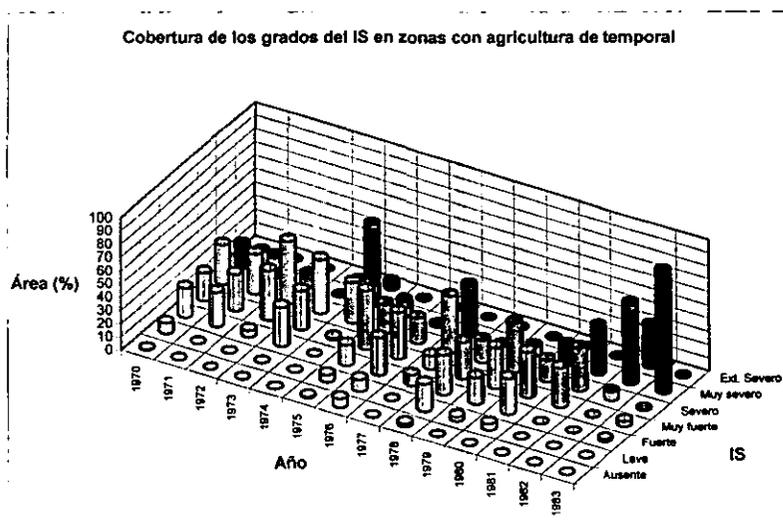


Fig. 24 Cobertura de las categorías de la severidad de la sequía meteorológica en zonas con agricultura de temporal.

## VI. Conclusiones

- El valle de Tehuacán-Cuicatlán es una zona donde el fenómeno de la sequía meteorológica es muy recurrente
- La distribución espacial de la sequía en el valle es muy variable en el periodo de 1970 a 1983
- Las categorías del IS de *fuerte, muy fuerte, severa y muy severa* fueron las que presentaron una mayor frecuencia en el VTC durante el periodo estudiado
- En cuanto a la relación de este fenómeno con la vegetación y uso del suelo:
  - En las zonas con SBC la sequía meteorológica presentó condiciones intermedias (*fuerte y muy fuerte y severa*) y de menor (*ausente y leve*) intensidad de severidad de la sequía
  - Mientras que una constante incidencia de los categorías intermedias y avanzadas del IS se presentaron en las áreas destinadas a la agricultura de temporal
- Es necesario obtener más información sobre las condiciones del suelo en zonas agrícolas para prevenir o aminorar los efectos de la sequía meteorológica que pueden acelerar la degradación del suelo
- Al considerar la distribución de la precipitación a lo largo de todo el año para el calculo del IS, los resultados obtenidos se homogenizan, por lo que sería de mayor representatividad utilizar los registros de la temporada seca del año y poder determinar con mayor precisión los efectos de la severidad de la sequía.

## Literatura citada

Alvarez - Sánchez J. (1993). Contribución de la Sociedad Mexicana de Botánica a la Investigación y Conservación de la Biodiversidad. Vol. Esp. (XLIV) Rev.Soc.Mex.Hist.Nat. pp 51- 57.

Anaya, G.M. (1994). La desertificación en México. Estudio de caso. En: Primer Taller de Estudio de País: México. En México ante el Cambio Climático (Memorias). Morelos, México. pp.163

Arias S.M.(1993). Cactáceas: conservación y Diversidad en México. Vol. Esp. (XLIV) Rev.Soc.Mex.Hist.Nat. pp 109-115.

Arntz, W.E. and Eberhard F. (1996). El Niño. Experimento Climático de la Naturaleza. Causas Físicas y Efectos Biológicos. FCE. México. pp 35-36.

Campos D.F (1996). Crecientes y sequías. Ciencia y Desarrollo 127 p 33-41.

Carrasco, A.G. (1996). La precipitación en relación a ciclones tropicales en el Valle de Tehuacán - Cuicatlan (Pue-Oax).Tesis de Licenciatura. Col de Geografía, Fac. Filosofía y Letras. UNAM. 378 p.

Casas-Andreu, G., Mendez De La Cruz, FR., Camarillo, JL. (1996). Anfibios y reptiles de Oaxaca. Lista, distribución y consevación. Acta ZOO. MEX. No. 69, 120 pp.

CONAZA (1993). Plan de Acción para Combatir la Desertificación. FAO. México pp 73-74.

De Martone, E., (1926). "Areisme et indice d'aridite, cromptes rendus de L'Academic des Sciences de Paris" 182: 1393-1398. En inglés: Regions of interior basin drainage. Geogr. Rev. 17:397-414.

FAO/UNEP, (1984). Metodología provisional para la evaluación y representación cartográfica de la desertificación. Roma. 74p.

Flores V.O y P. Gerez, (1994). Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso de suelo. UNAM, Ciudad Universitaria, México. 439 p.

García, E. (1988). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República mexicana). Offset Larios. México D.F 1987. 217 p.

Grainger A. (1990). The threatening desert . Earthscan Publications Ltd. Londres. pp 1-6.

González M.F. 1989. Problemática del conocimiento, manejo y explotación y conservación de los recursos bióticos de las zonas áridas de México en: Memorias de la Reunión sobre Líneas de Investigación Ecológica en Zonas Áridas. Zapotitlán, Pue. UAM-I, pp. 5-10.

Hernández C. M. E. (1992) Climas Áridos de México. Tesis doctoral. UNAM.

Hernández C. M. E. Proyecto: "Climatología del valle de Tehuacan-Cuicatlán, Pue-Oax, México. Departamento de Geografía Física. Instituto de Geografía. UNAM. (inédito).

Hernández, C. M. E. (1994). La sequía en México. En: Memorias del Primer Taller de Estudio de País: México. Cuernavaca, Morelos. Instituto Nacional de Ecología, U.S. Country Studies Program Support for Climate Change Studies, Coordinación de la Investigación Científica y Centro de Ciencias de la Atmósfera. UNAM. México. pp 141-147.

Hernández, C. M. E., Valdez, G. y Torres, L. A.(1999). "Sequía Meteorológica". En: México: Una visión en el siglo XXI. El cambio climático en México. Instituto Nacional de Ecología y Programa Universitario de Medio Ambiente, UNAM. México.

Jackson, I.J. (1989). Climate, water and agriculture in the tropics. Ed. Longman Scientific and Technical. Nueva York, U.S. 377 p.

Jaramillo, L. V. & González, M.F. (1983) Análisis de la vegetación arbórea en la provincia florística de Tehuacán-Cuicatlán. Bol.Soc.Bot.,México (45):49-63.

Kjell, I.E. y S. Whiteford. (1989). The Tehuacan Valley In: The Keepers of Water and Earth. Mexican Rural Social Organization and Irrigation. University of Texas Press, Austin, USA. pp 19-75.

Köppen, W. (1948). Climatología. Fondo de Cultura Económica. México-Buenos Aires.

Kramer, P.J. (1974). Relaciones Hídricas de Suelo y Plantas. Ed. Edutex, S.A. México, pp 1-7.

Kulicov V.A. y G.V. Rudney (1980). Agrometeorología tropical. Editorial científico-técnica. Cuba. Pp 111.

Lomas B.T.C. (1998) Un estudio de la lluvia y la dinámica de la vegetación en el valle de Tehuacán - Cuicatlán, a través del uso del índice de vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Tesis de Licenciatura. Fac. Ciencias UNAM.

Magaña V., José L. P., Jorge L. V., Eliseo C. y Joel P. (1999) El Niño y el clima. En: Los impactos del clima en México. Editado por Victor O. Magaña, CCA-UNAM con apoyo de la Dirección General de Protección Civil. SEGOB. México. pp 23-58.

Noble G. Y M. Lebrija (1957). La sequía en México y su previsión. Boletín de la sociedad mexicana de geografía y estadística Vol. 1. México. 495 p.

Ochoa, T. V., (2001). Geomorfología, clima y vegetación del valle de Tehuacán-Cuicatlán, Pue-Oax., México. Tesis de licenciatura. Fac. de Ciencias. UNAM.

Oropeza, O.O. y G.S. Alfaro (1994). Marco Teórico-Metodológico de la Vulnerabilidad a la Desertificación. En: Primer Taller de Estudio de País: México. México ante el Cambio Climático (Memorias). Morelos, Mex. pp.123

Ortiz, A. Ma. I y Ma. E. C. Herrera (1997). Zonas áridas de México: Distribución Espacial de la población en 1990. Geografía y Desarrollo. 15:57-66.

Palacio, J.L.P. y L. G. Luna (1993). Sistemas de información geográfica. introducción al manejo del Integrated Land and Management Information System (ILWIS) versión 1.3. UNAM-Inst. de Geografía. México. 65 p.

Rainey, R.C. (1963). Meteorology and the migration of desert locusts. WOM, Technical Note 54. 115 pp.

Rzdowsky, J.(1994). La Vegetación de México. Ed. Limusa. México. pp 97-110.

Sancho y Cervera, J., Zavala,Z.F., Sanchez, V.M., y Martínez, V.V., 1980. Monitoreo de sequías y heladas. Comisión del Plan Nacional hidráulico. Dirección de inventario de agua y suelo. Proyecto IA 800/. México. pp 14-16.

SARH. 1978. Análisis de las sequías en México. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. 20 pp 43.

SARH. 1980. Análisis histórico de las sequías en México. Comisión del Plan Nacional Hidráulico. 22 pp 46-72.

Secretaría de Programación y Presupuesto (1985). Carta: Uso del Suelo y Vegetación, Oaxaca E-14-6. Esc. 1:250 000. México.

Secretaría de Programación y Presupuesto (1985). Carta: Uso del Suelo y Vegetación, Orizaba E-14-9. Esc. 1:250 000. México.

Soto M.C y E. Juaregui (1965). Isotermas Extremas e Índice de Aridez en la República Mexicana. Instituto de geografía, UNAM. México. pp 26-28.

Thornthwaite, W. C. (1931). The climate of North America according to a new clasificación. Geographical Review. 21:633-657

Trejo, I. (1996). Características del medio físico de la selva baja caducifolia en México. Investigaciones Geográficas Boletín. 4. pp 95.110.

Trejo, I. (1999). El clima de la selva baja caducifolia en México. Investigaciones Geográficas Boletín. 39 pp 40-52.

Thomas, S.G. David y N.J. Middleton (1994). Desertification: Exploding the Myth. John Wiley and Sons. Inglaterra. pp 6-10.

Valiente, B.L. (1991). Patrones de precipitación en el valle semiárido de Tehuacán, Puebla, Mex. Tesis de licenciatura. Fac. Ciencias. UNAM.

W.O.M. (1975). Drought and Agriculture. World Meteorological Organization. Geneva, Switzerland. 127p.

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**

## Literatura de cuadros

Barger, G. L. And TOM, H. C. S., 1949: Method for characterizing drought intensity in Iowa. *Agron. J.* 41, pp 13-19 .

Bates, C. G., 1935: Climatic characteristics of the Plains Region. In possibilities of Shelterbelt Planting in the Plains Region, by M. Silcox, F. A. *et al.*, Washington, D. C.

Blumenstock, G., 1942. Drought in the United States analysed by means of the theory of probability. U. S. Dept. of Agric. Technical Bulletin 819, 5p.

Bova, N. V., 1941: Agrometeorological indices in the south-eastern U.S.S.R. *Socialistic Grain Farming* No. 3

British Rainfall Organization, 1936: British Rainfall. Air Ministry, Met. Office, London.

Brunov, P. I., 1957: In *Agricultural Meteorology. A volume of selected papers.* L.

Conrad, G. E., 1944. Drought, its effects and measure of control in Nebraska. Nebraska University, Conservation and Survey Division, Conservation Bulletin 25.

Emberger, L., 1955: Une classification biogéographique des climats. *Recueil des travaux, Fac. Sc. De l'Univ. De Montpellier*, Fasc. 7.

Fitzpatrick, E. A., 1953. Probability Analysis of Rainfall Factors in Drought in New South Wales. Rural Banks of N. S. Wales and N. S. Wales Dept. of Lands, Australia, 54 pp.

Foley, J. C., 1957: Droughts in Australia: review of records from earliest years of settlement to 1955. Australian Bureau of Meteorology, Bulletin No. 43, 281 pp.

Gibbs, W. J. And Maher, J. V. 1967: Rainfall deciles as drought indicators. Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia. Bull. No. 48, 33 pp.

Hoyt, J. C., 1936. Droughts of 1930-1934. U. S. Geolog. Surv. Water suppl. Paper No. 680, 106 pp.

Palmer, W. C., 1965: Meteorological drought. U.S. Weather Bureau, Washington D.C., Research Paper No. 45, 58pp.

Palmer, W. C., 1968: Keepin track of crop moisture conditions, nationwide: The new crop moisture index. *Weatherwise*, 21(4), pp. 156-161.

Ramdass, D. A., 1950: Rainfall and agriculture. *Ind. J. Met. And Geophys.*, 1(14), pp 262-274.

Richard, D. S., 1966: The occurrence of agriculture drought at Ashburton N.Z. *New Zelanda Jour. Agric. Res.*, pp431-441.

Tannehill, I. R., 1947: Drought, its causes and effects. Princeton Univ. Press. 264 pp.

Thornwaite, C. W. and Mather, J. R., 1955: The water balance. Pub. In *Clim. Drexel Inst. Tech.*, Vol. 8, No. 1.

## Índice de figuras

Figura	Página
1. Ubicación del valle de Tehuacán-Cuicatlán.....	16
2. Mapa fisiográfico del valle de Tehuacán-Cuicatlán.....	17
3. Mapa hidrológico del valle de Tehuacán-Cuicatlán.....	19
4. Condiciones de humedad de acuerdo a Köppen modificada por García, 1988.....	20
5. Distribución del índice de severidad de la sequía media anual.....	29
6. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1970.....	55
7. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1971.....	56
8. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1972.....	57
9. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1973.....	58
10. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1974.....	59
11. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1975.....	60
12. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1976.....	61
13. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1977.....	62
14. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1978.....	63
15. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1979.....	64
16. Distribución del índice de Severidad de la sequía para 1980.....	65
17. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1981.....	66
18. Distribución del índice de Severidad de la sequía para 1982.....	67
19. Distribución del índice de severidad de la sequía para 1983.....	68
20. Distribución espacial de las categorías de más intensidad del IS.....	36
21. Valores de la prueba <i>t de Student</i> aplicada a los registros de pp media anual en el VTC.....	37
22. Valores del IS para las temporadas de lluvias, secas y para todo el año.....	39
23. Cobertura de las categorías de la severidad de la sequía meteorológica en zonas con selva baja caducifolia.....	42
24. Cobertura de las categorías de la severidad de la sequía meteorológica en zonas con agricultura de temporal.....	44

Tabla	Página
1. Categorías del IS con sus respectivos valores.....	25
2. Superficie del VTC afectada por la severidad de la sequía expresada en porcentaje.....	28
3. Superficie afectada por la severidad de la sequía media anual en sus diversas categorías en el VTC y frecuencia.....	30
4. Superficie en kilómetros (km <sup>2</sup> ) y porcentaje ocupada por vegetación natural y cultivada en el VTC (SSP, 1985).....	40
5. Porcentaje de superficie ocupada anualmente por las categorías de la severidad de la sequía en zonas con SBC en el VTC.....	42
6. Porcentaje de superficie ocupada anualmente por las categorías de la severidad de la sequía en zonas con agricultura de temporal en el VTC.....	44

#### **Cuadro**

1. Fenómenos meteorológicos (sequía) que ocasionaron pérdidas en la agricultura en los años de 1853 a 1951.....	5
2. Definiciones de sequía tomando como elemento determinante la precipitación.....	7

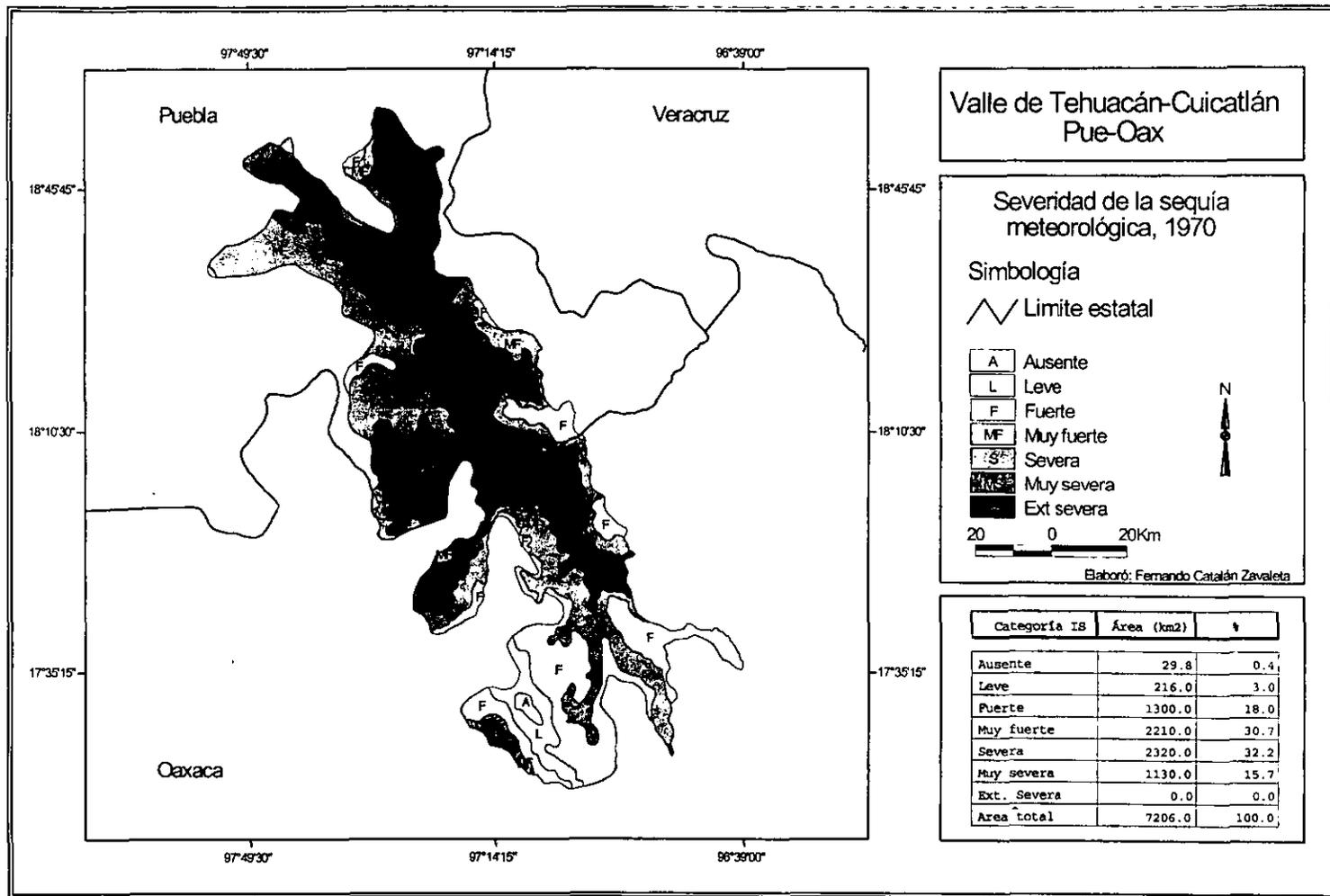


Fig. 6. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1970

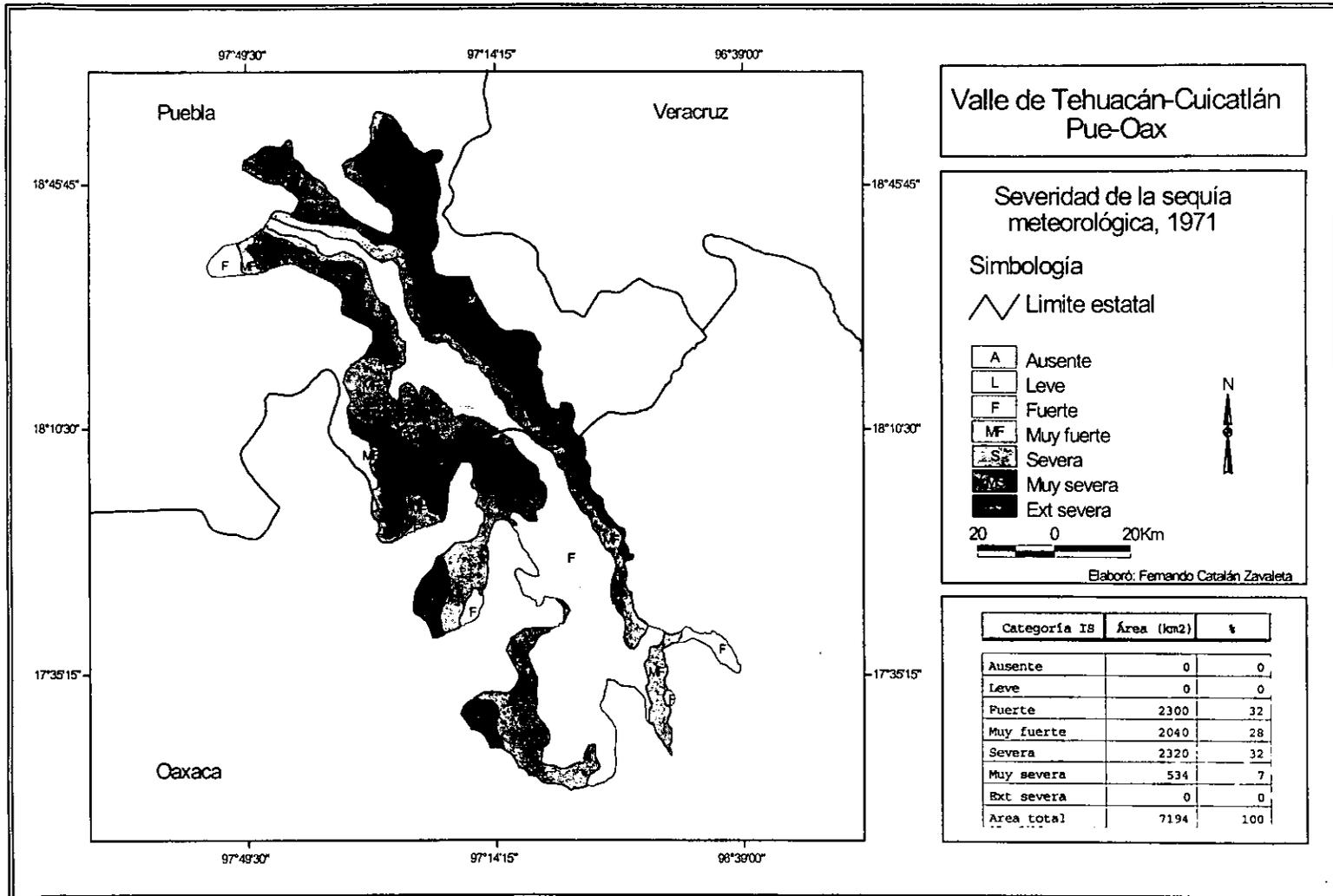


Fig. 7. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica, 1971

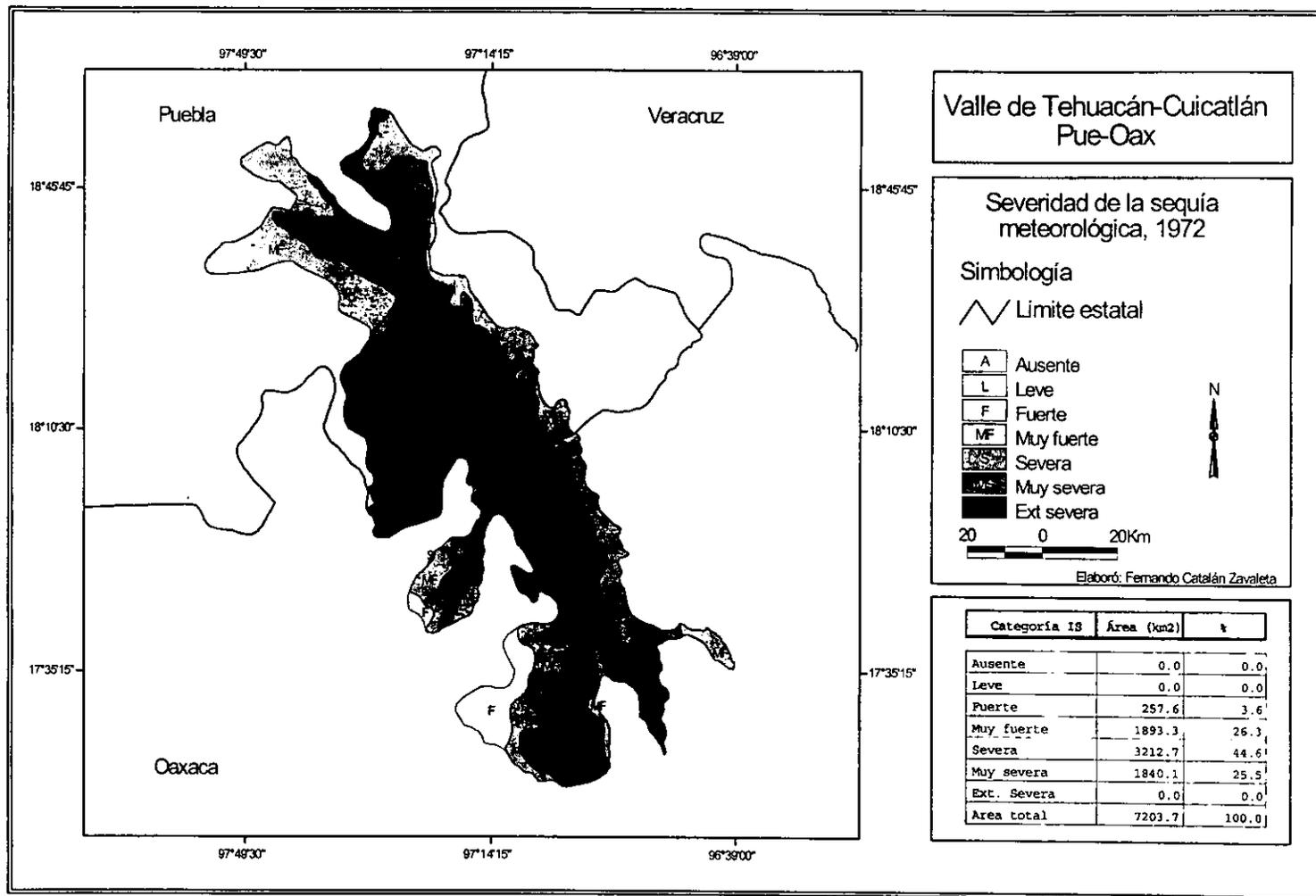


Fig. 8. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1972

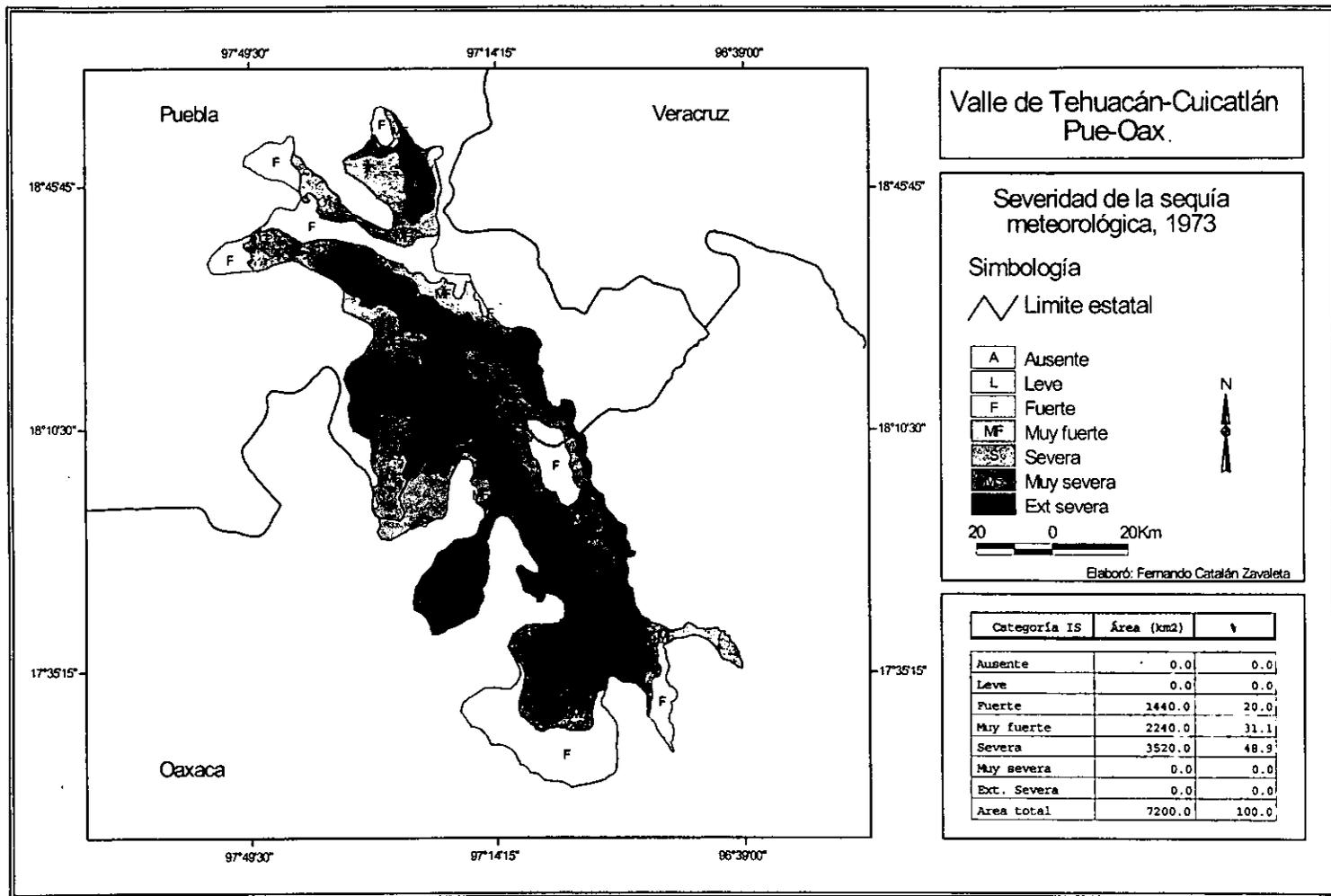


Fig. 9. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1973

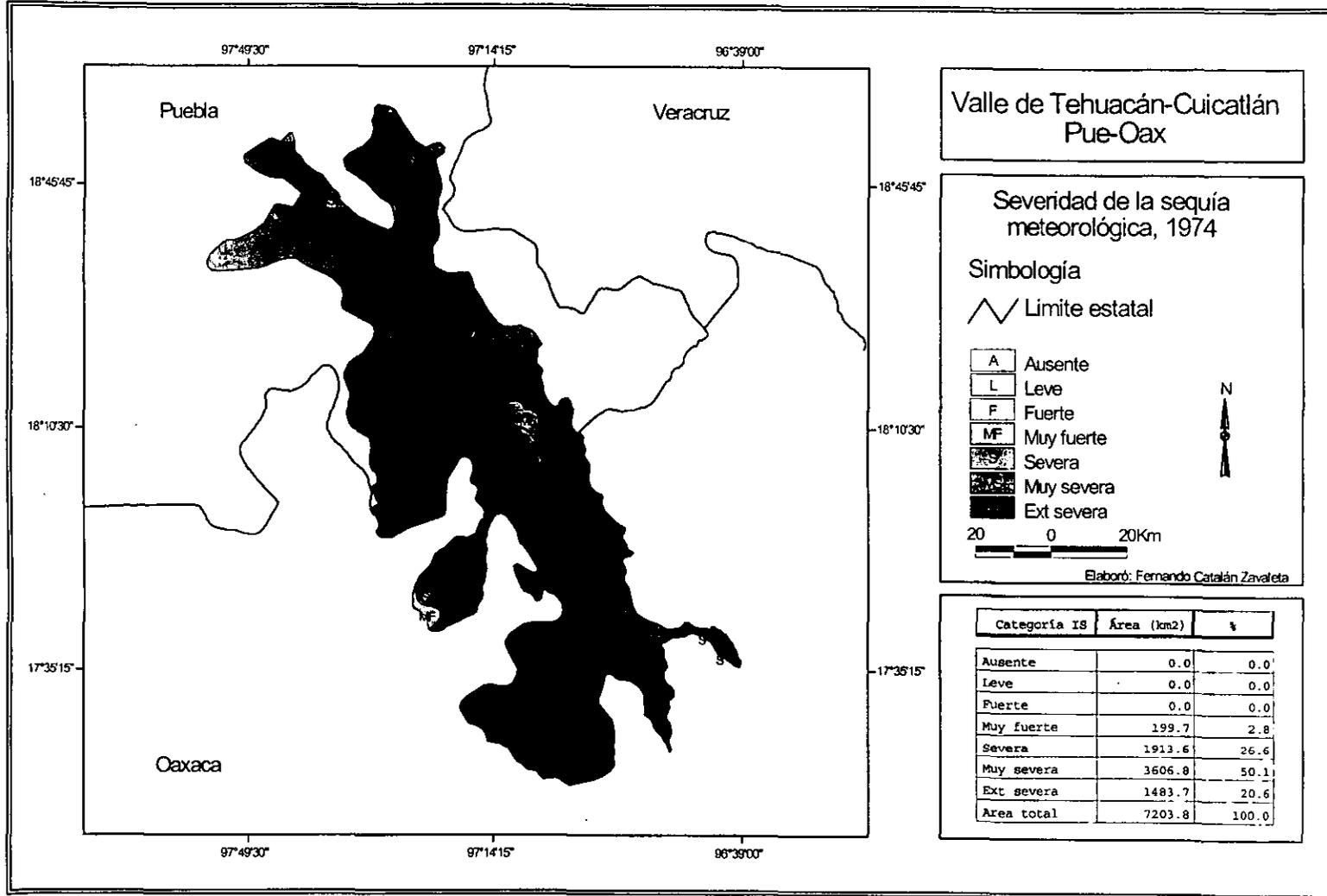


Fig. 10. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1974

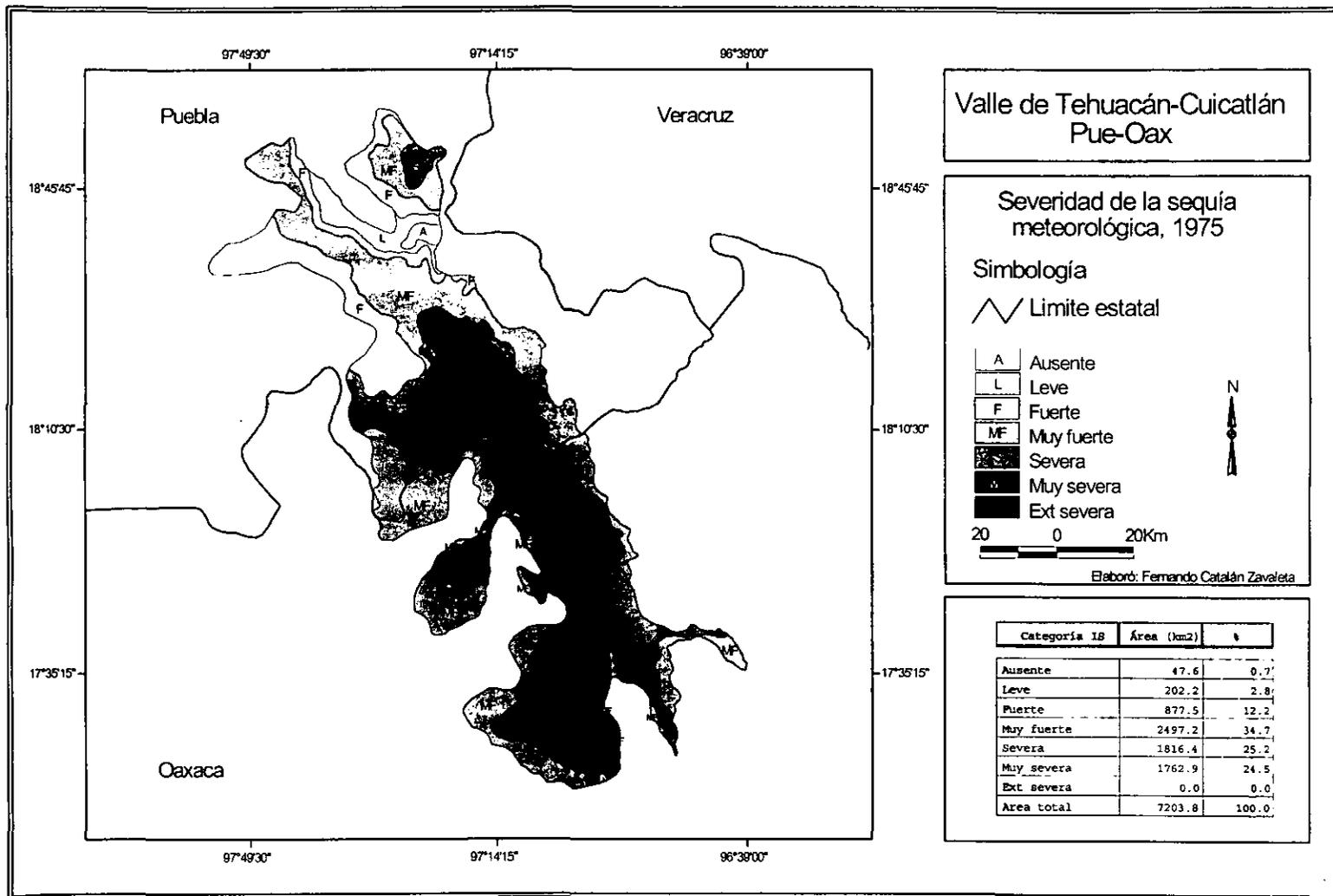


Fig. 11. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1975

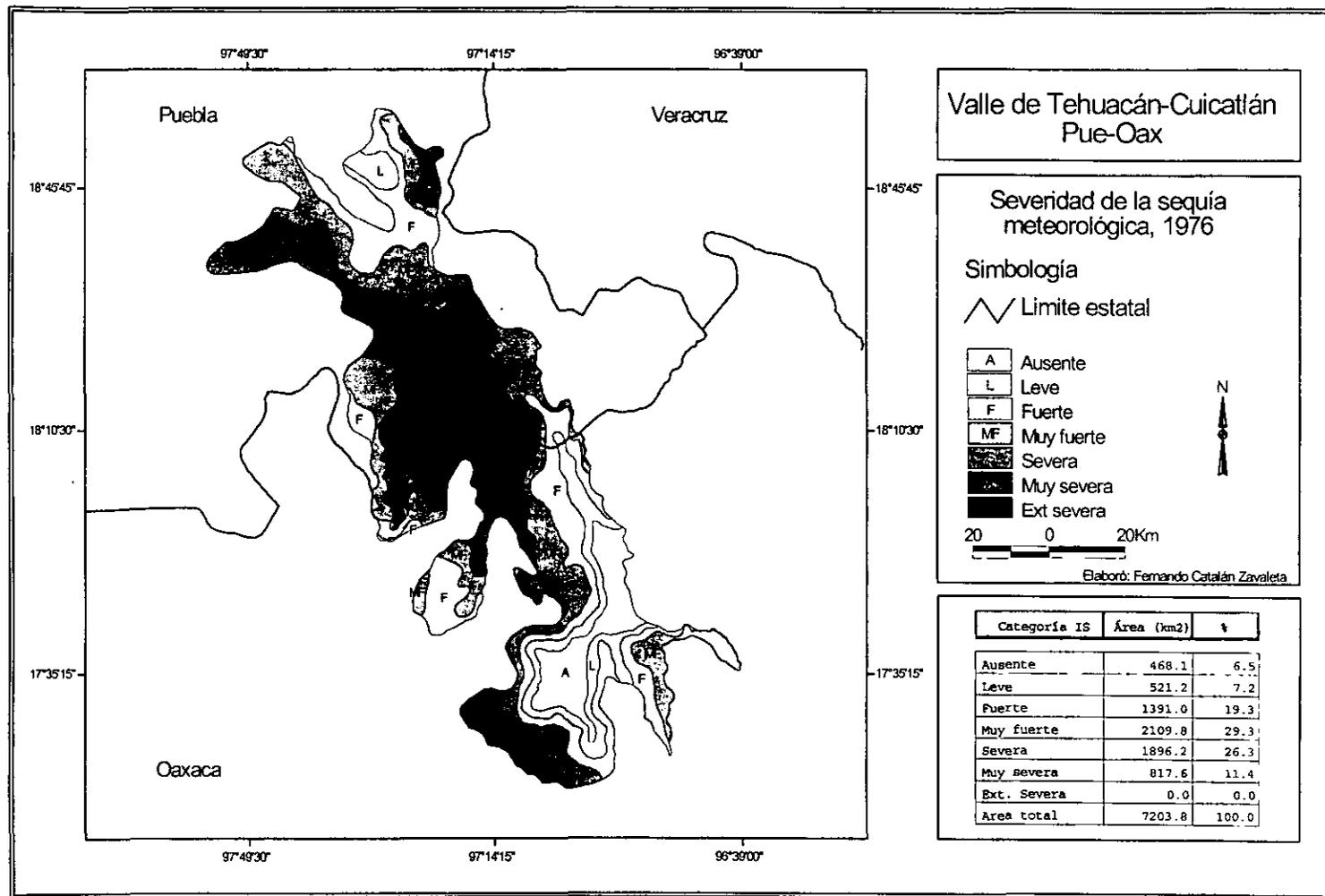


Fig. 12. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1976

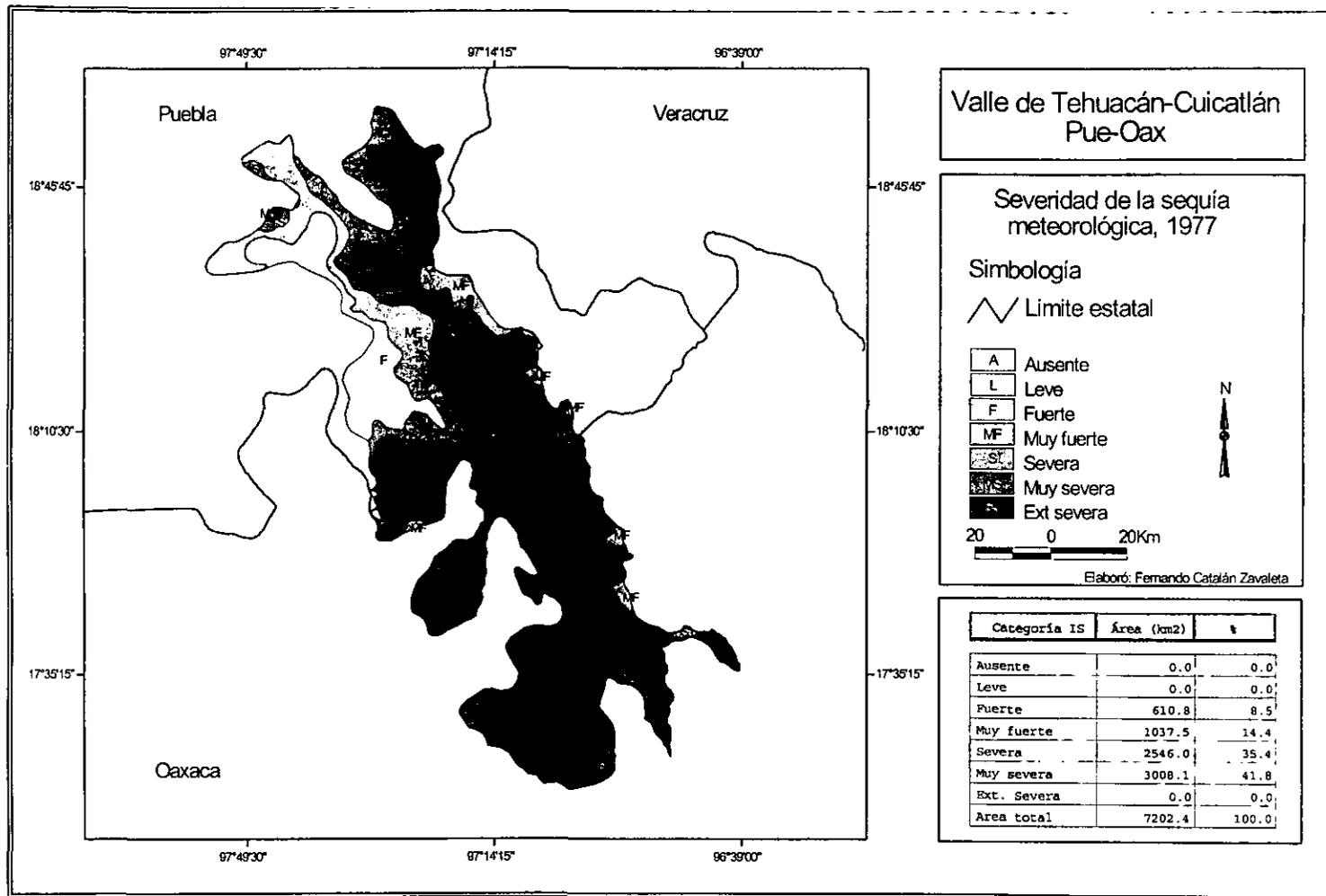


Fig. 13. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1977

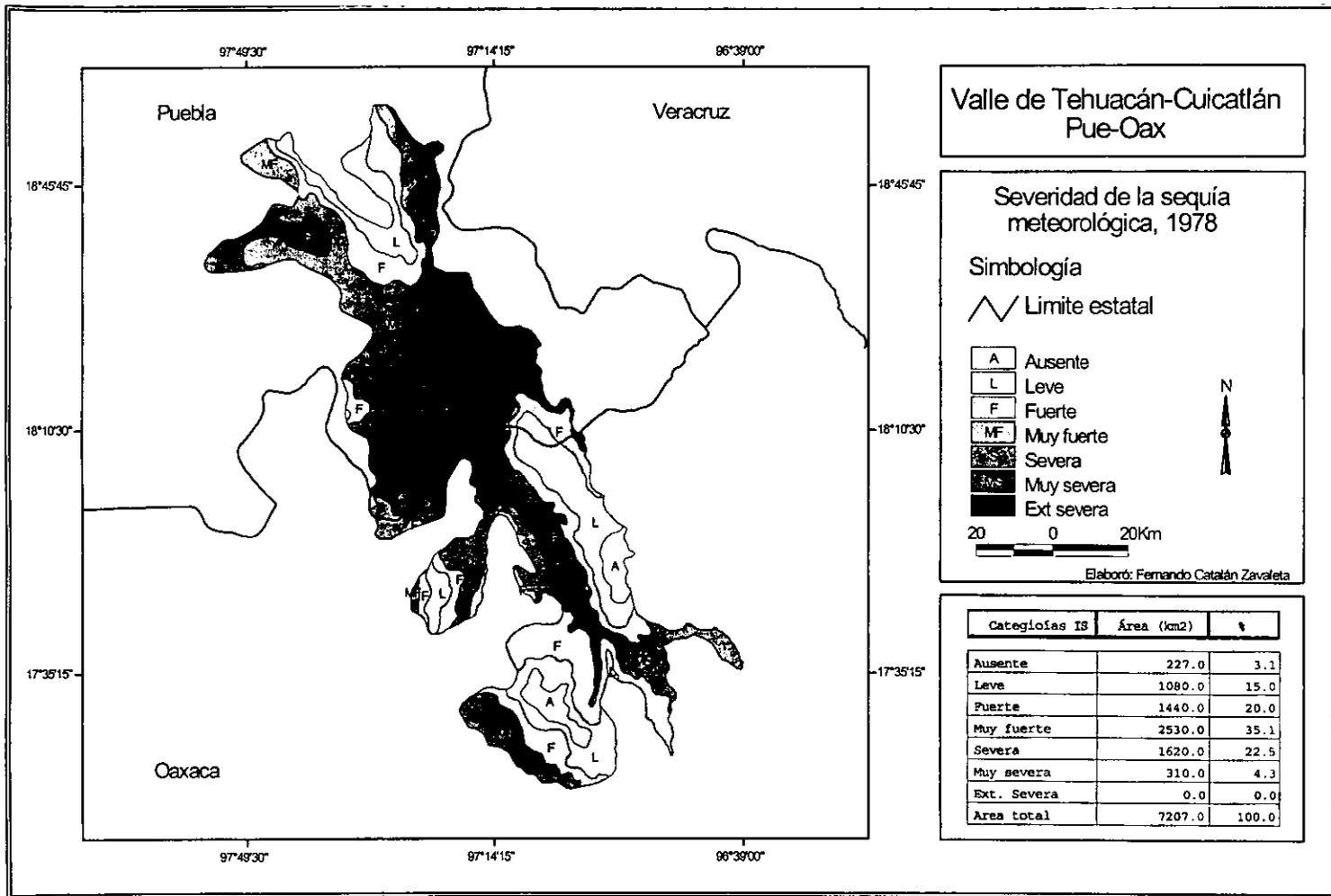


Fig. 14. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1978

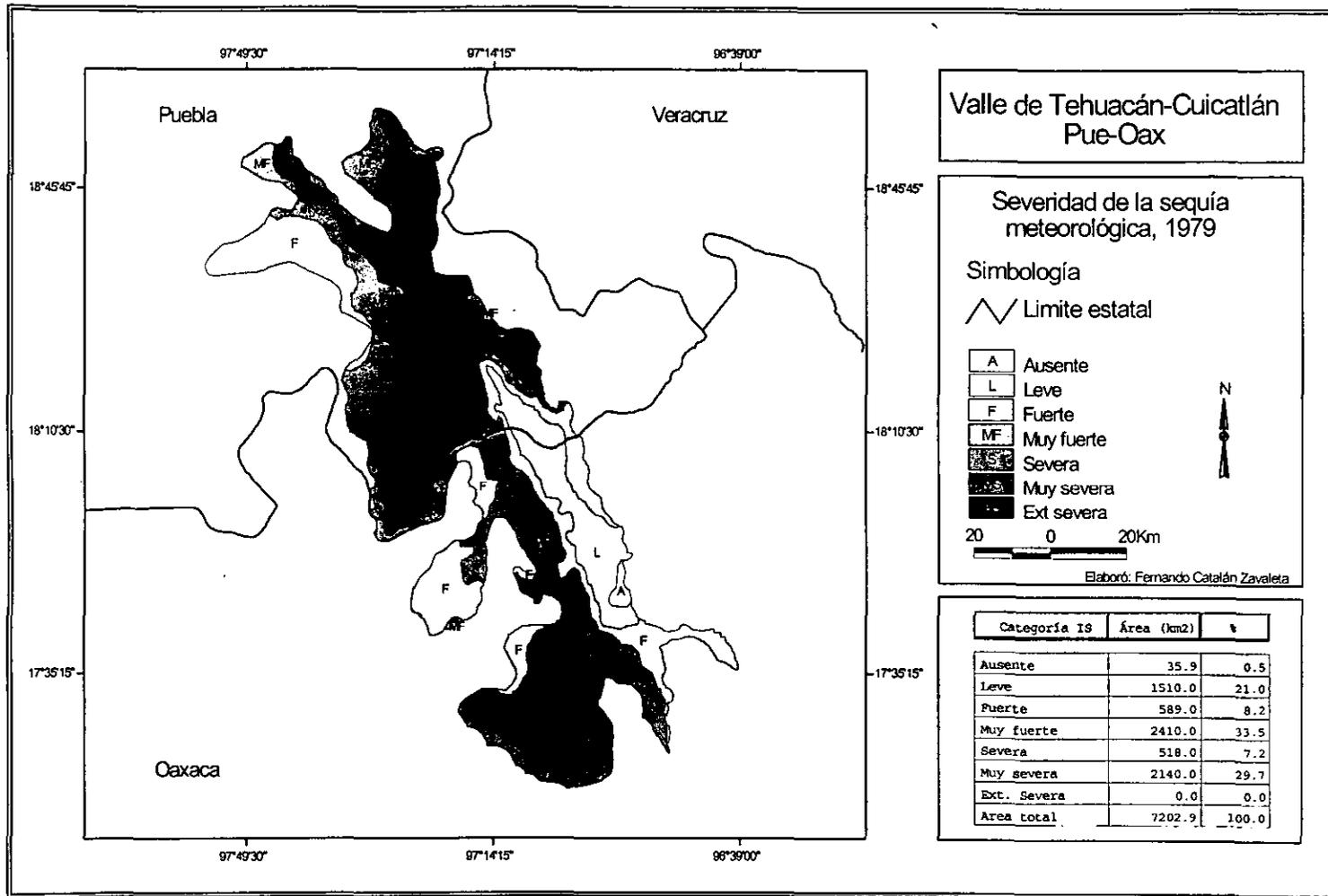


Fig. 15 Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1979

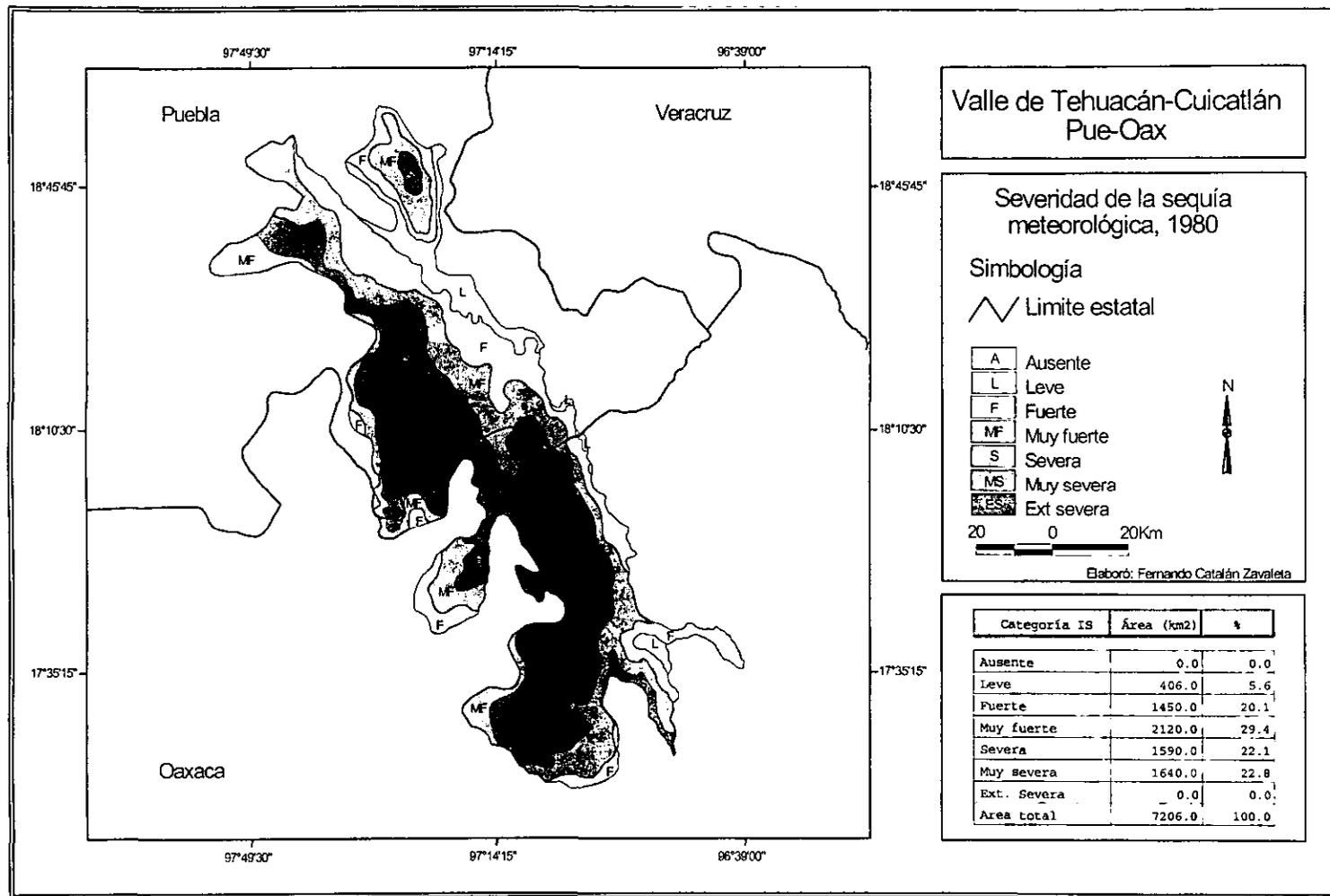


Fig. 16. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1980

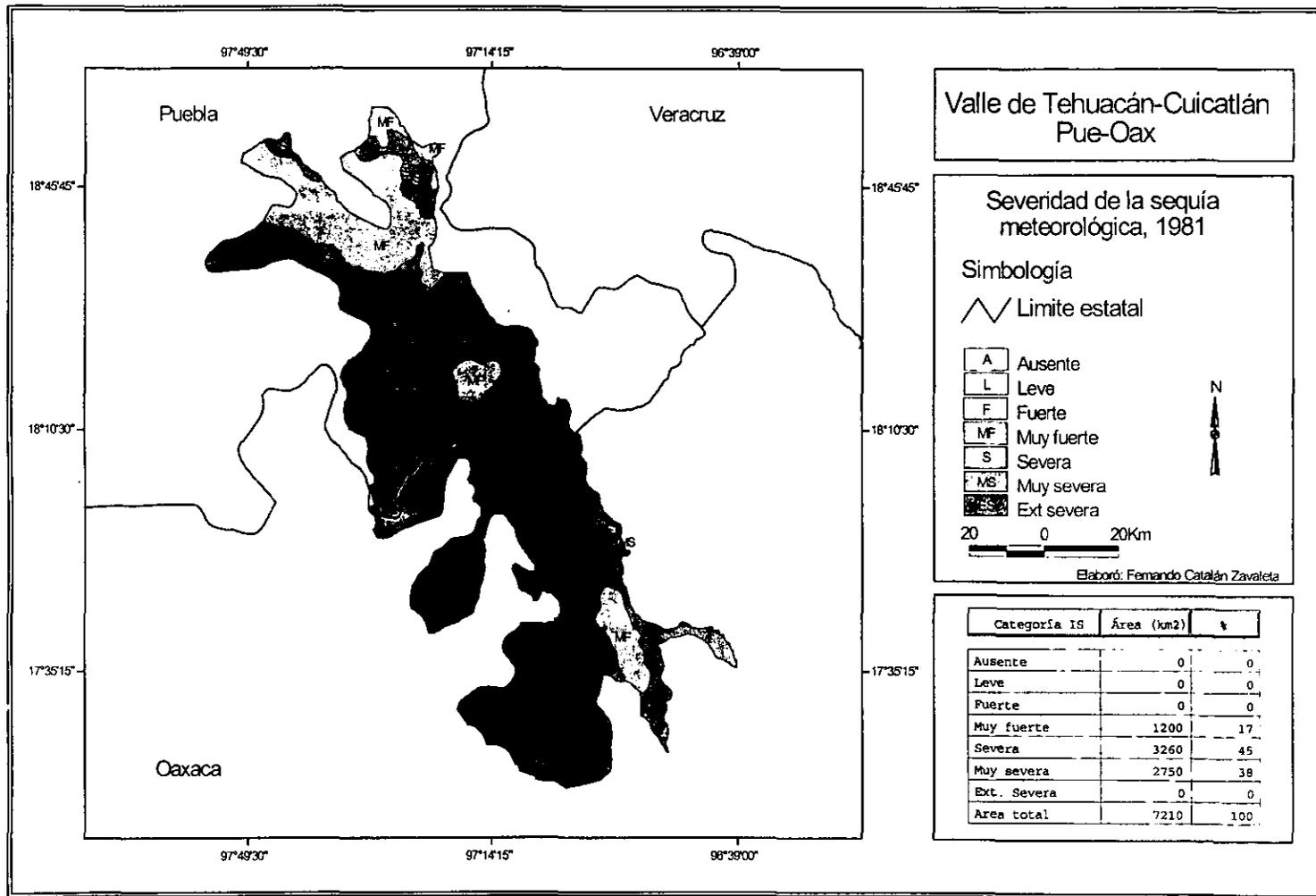


Fig. 17. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1981

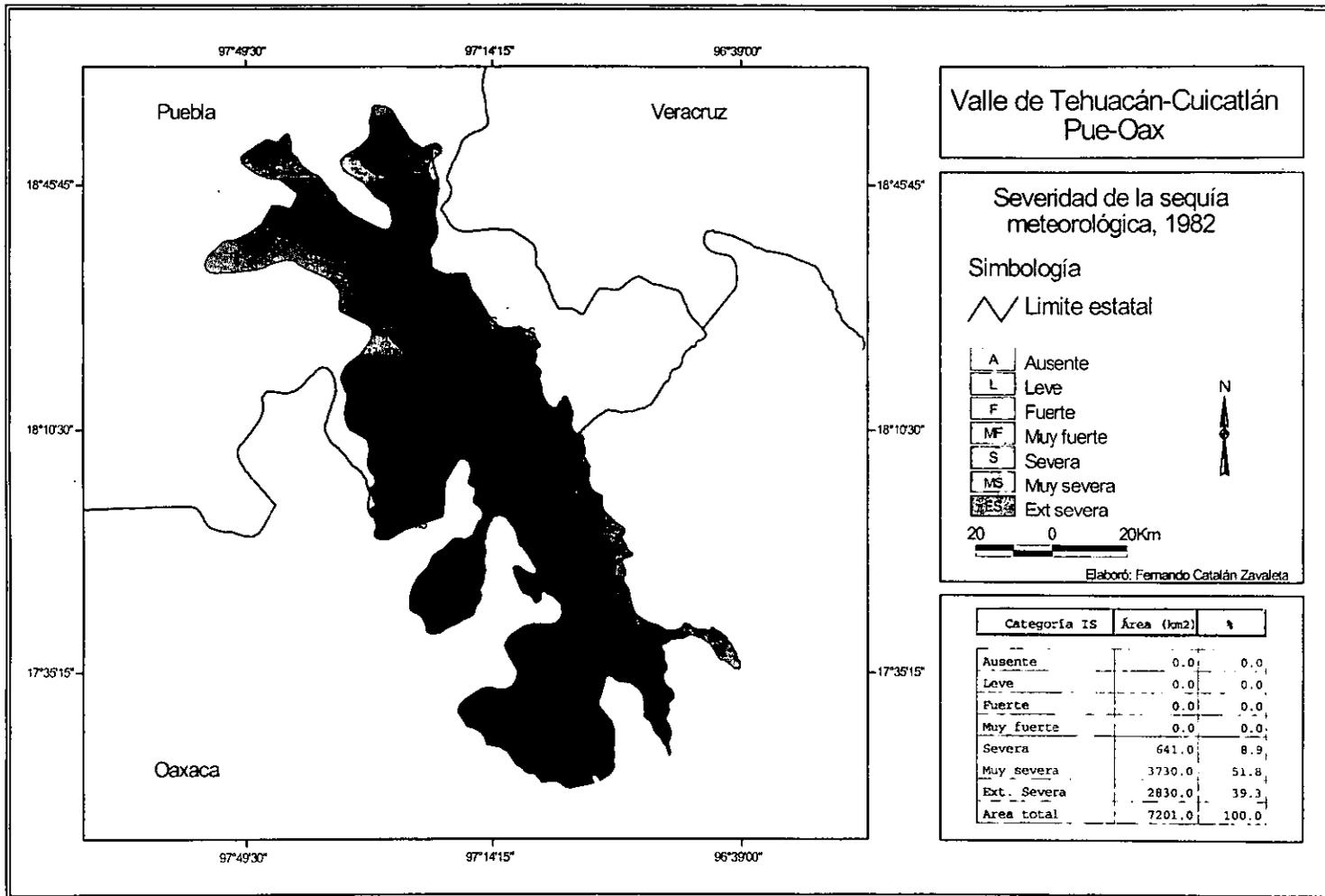


Fig. 18. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1982

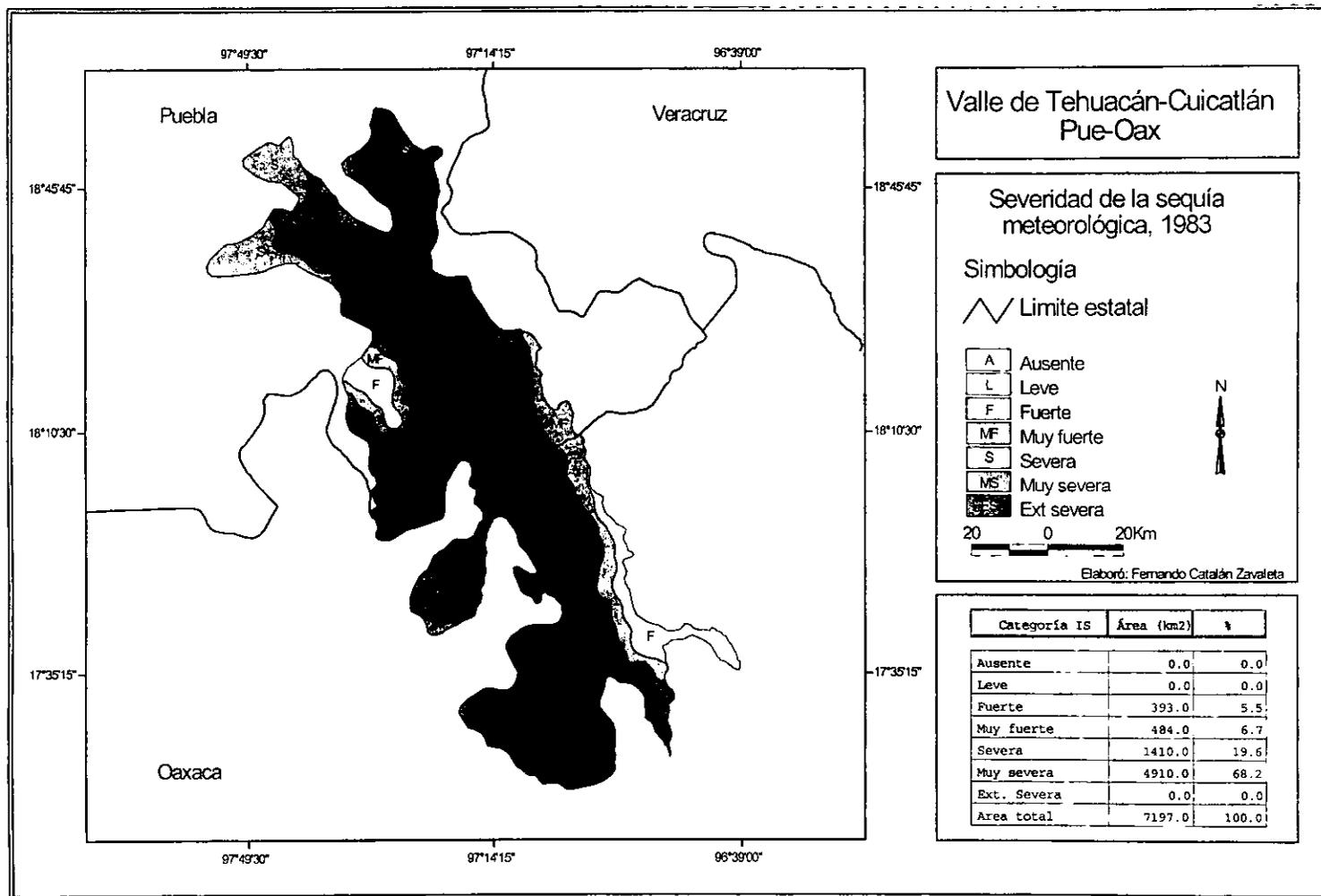


Fig. 19. Distribución del índice de severidad de la sequía meteorológica. 1983