

## Zonificación agroclimática de Papadakis aplicada al estado de Sinaloa, México

Recibido: 11 de junio de 2009. Aceptado en versión final: 30 de septiembre de 2009.

Israel Velasco\*

Esteban Pimentel\*

**Resumen.** La influencia del relieve produce una amplia variación en los diversos climas, más que la latitud. El sistema de Köppen, uno de los más usados, es del tipo físico, y da una excelente aproximación a las condiciones reales, que en mucho se reflejan por la vegetación natural, pero no considera en toda su dimensión la interrelación agua-suelo-planta cultivada-atmósfera, siendo que estos factores influyen tanto en la vegetación tanto natural como cultivada. Los periodos con temperaturas congelantes o con riesgo de heladas, y la duración de los meses o periodos secos son determinantes para la agricultura, tanto la de autoconsumo como la comercial. Estos aspectos sí los considera el método de Papadakis, lo que permite evaluar la potencialidad y limitaciones de las diversas zonas climáticas, en términos

de los cultivos. En este trabajo se hace una aplicación del método a una amplia región del noroeste de México, de gran importancia agrícola, y los resultados convergen en que los grupos climáticos existentes son:

- 1.4: sabana continental
- 1.5: tropical semiárido
- 1.9: tropical con invierno fresco
- 2.3: tierra fría media
- 4.2: subtropical continental
- 4.3: semitropical continental

**Palabras clave:** Agroclimatología, relación agua-suelo-planta-atmósfera, climogramas.

## Papadakis methodology for agroclimatic delimitation, applied to Sinaloa State, Mexico

**Abstract.** Relief influences on climate, lead to a wide environmental conditions, even more than latitude. The Köppen Method, one of the most used, is of physical type, and leads to excellent approaches to real climate conditions, but it doesn't consider in a full dimension the water-soil-cultivated plant-atmosphere interaction, being that these factors decide so much the natural vegetation as crops. The periods with freezing temperatures or with high frost risk, and the duration of dry months, all of them are decisive for agriculture. These risk factors are considered in the Papadakis Method, which allows evaluating the potentiality and limitations of the climatic areas, related to crops. In this work an application is made of this method on a wide region in

Northwest Mexico, where agriculture is very important, and the obtained results converge to define that existent climatic groups are the following, according to Papadakis Method:

- 1.4: continental savanna
- 1.5: tropical semi-arid
- 1.9: tropical with fresh winter
- 2.3: medium-cold highland
- 4.2: continental subtropical
- 4.3: continental semitropical

**Key words:** Agroclimatology, water-soil-plant-atmosphere relation, climographs.

---

\*Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Paseo Cuauhnáhuac 8532, Colonia Progreso, 62550, Jiutepec, Morelos, México. E-mail: ivelasco@tlaloc.imta.mx, pimentel12@hotmail.com.

## INTRODUCCIÓN

La producción vegetal, tanto en tierra firme como en ambientes acuáticos, como primer eslabón de la cadena alimenticia, depende del clima, y condiciona la permanencia, desarrollo y evolución tanto del ambiente como de todos los seres vivos. El clima, entendido como el estado más frecuente de la atmósfera, determina en gran medida las condiciones de la flora y fauna (Navarra, 1979).

Los dos elementos más importantes del clima, la temperatura y la precipitación, son altamente condicionantes: el primero, de los procesos biológicos, y el segundo, de la frondosidad de la vegetación y la producción de los cultivos (Campos, 1999; Allen *et al.*, 1989; Chávarri, 2004).

Los diversos sistemas de clasificación climática existentes, o al menos los más conocidos (Thornthwaite, 1948; Köppen [citado por García, 2004]; Elías *et al.*, 1996), básicamente se enmarcan en la Climatología Física, con la cual se determinan los tipos de clima según las características y condiciones de cada lugar o región de estudio (García, 2004; Griffiths, 1985). Sólidamente fundamentados, estos sistemas permiten hacer una excelente caracterización climática de las diversas regiones; y en países como México, debido a su accidentada topografía, su aplicación debe considerar el efecto del relieve, cosa que, por ejemplo, contempla el sistema de Köppen, modificado por Enriqueta García (2004), y que es de referencia obligada para la clasificación climática nacional; en esta tarea, Köppen, como los demás sistemas de clasificación, destacan la importancia de la vegetación natural en respuesta a las condiciones climáticas, lo cual puede considerarse como el reflejo más fiel de esa complejidad de factores (Jáuregui, 1966; Jáuregui *et al.*, 1977).

No obstante, al considerar al clima como un factor determinante del desarrollo de plantas y animales, es necesario tener presente la relación entre los diversos factores que los condicionan, es decir, la estrecha relación agua-suelo-plantas-atmósfera (Lobo *et al.*, 2005), que incide determinadamente en todo el aspecto ambiental, sobre todo en referencia a las plantas cultivadas y a la agricultura, como actividad básica de muchas regiones, y soporte económico y social de amplios sectores de la pro-

ducción. Debe tenerse presente que, en general, las plantas cultivadas son más susceptibles al clima que la vegetación natural (Chen *et al.*, 1995), dado que son resultado de un largo y lento proceso de manipulación humana, para adaptarlas a las situaciones naturales y obtener de ellos mayores rendimientos; así, la resistencia de la vegetación natural ha venido a menos, a cambio de mayor productividad.

En este trabajo se aborda este aspecto de la climatología, basado en los estudios y criterios de Papadakis, con lo cual se pretende caracterizar espacialmente los diversos tipos de agroclimas del estado de Sinaloa, con lo cual entender mejor la compleja interacción entre factores físicos y biológicos, para atender con más certidumbre los aspectos de planeación y ejecución de las actividades agrícolas, y con ello la sustentabilidad ambiental y humana.

## ELEMENTOS Y FACTORES DEL CLIMA

Para un lugar determinado, los elementos del clima son las propiedades físicas de la atmósfera, que a largo plazo definen el clima y a corto plazo, el tiempo atmosférico. Estos elementos son (Campos, 1999):

|                |                                                                                                        |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Termodinámicos | <div> <div></div> <div>temperatura</div> <div>presión atmosférica</div> <div>vientos</div> </div>      |
| Acuosos        | <div> <div></div> <div>humedad</div> <div>nubosidad e insolación</div> <div>precipitación</div> </div> |

Por otro lado, los factores del clima son las propiedades geográficas que lo condicionan:

1. Latitud.
2. Altitud.
3. Continentalidad.
4. Relieve o configuración del terreno.
5. Tipo de vegetación.
6. Distribución de tierras y aguas.
7. Naturaleza del suelo.
8. Corrientes marinas.

### **Influencia de los elementos del clima sobre las plantas**

El clima determina las zonas apropiadas para la agricultura. Desde el enfoque del desarrollo de los cultivos, la luz, la temperatura y la humedad son los tres componentes más importantes, que a su vez condicionan a la luminosidad, el fotoperiodo, la fotosíntesis, y la evapotranspiración real y potencial. La evapotranspiración es el fenómeno que determina el desarrollo y producción vegetal. Ahora bien, cada cultivo o especie vegetal tiene una evapotranspiración específica que depende de su fenología y desarrollo temporal (Remenieras, 1974; Hargreaves, 1981).

La evapotranspiración potencial  $-ET_p-$ , es la cantidad de agua que es necesario suministrar, sin restricciones, bajo condiciones ideales de cobertura y crecimiento, para tener un rendimiento o un desarrollo vegetativo cercano al óptimo; es un concepto teórico cuya complejidad depende de cuáles y cuántos factores se consideren en su estimación. Por ende,  $ET_p$  no es equivalente al máximo de agua que la vegetación o cultivo pueden consumir (Villar y Elías, 1996; Hamon, 1961).

El concepto “clima”, como objeto de clasificación lleva implícita necesariamente la acción sobre el ambiente, tanto físico como biótico. Por ende, para establecer el clima, grupo o clases de climas es necesario que previamente se establezcan y acepten ciertos convencionalismos, ya que teóricamente, la infinita variedad de climas posibles llevaría a una infinita variedad de grados de semejanza; así, toda clasificación sería prácticamente imposible (Papadakis, 1980).

Las clasificaciones climáticas iniciales se basaban sólo en la temperatura y la lluvia; eso es correcto pero insuficiente, dado que hay más factores meteorológicos también muy importantes que deben considerarse: insolación y viento, por ejemplo (Henderson y McGuffie, 1990). Actualmente la clasificación climática no puede basarse únicamente sobre los factores térmicos e hídricos, aunque éstos son elementos esenciales y dominantes de la misma.

En lo general, la clasificación climática ha estado enfocada en el aspecto físico (Linsley *et al.*, 1977), es decir, en el comportamiento de la atmósfera desde el punto de vista de un complejo físico; los métodos

o sistemas de clasificación climática basados en las interrelaciones entre el clima físico y la vegetación y el suelo, son, además de menos desarrolladas, más complejos, debido a la adición de esos nuevos factores (Velasco, 2005; Medina *et al.*, 2006).

No obstante, ha habido muchos intentos de abordar este problema, tomando como base dos factores básicos que influyen decisivamente en el desarrollo de la vegetación: el grado de aridez y la temperatura. La aridez es un indicador fehaciente de las condiciones hídricas, presente cuando la precipitación es escasa. De aquí que el índice de aridez es uno de los principales parámetros que determinan el crecimiento y permanencia de la vegetación.

### **SISTEMA DE CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE PAPADAKIS**

Papadakis es probablemente el sistema de clasificación de tipo agroclimático más conocido y utilizado. Enfocado hacia los cultivos, las características principales a considerar en la clasificación climática son (Papadakis, 1980):

- Rigor invernal (tipo de invierno).
- Calor estival (tipo de verano).
- Estiaje y su variación estacional.

Estas tres características, evaluadas bajo criterios específicos y expresadas mediante símbolos adecuados (letras y números), componen la fórmula climática de Papadakis, basada en:

- Temperatura media de las temperaturas máximas.
- Temperatura media de las temperaturas mínimas.
- Temperatura media de las temperaturas mínimas absolutas.
- Lámina de precipitación (cantidad de lluvia).
- Presión de vapor.

Según la filosofía de este sistema, es mejor usar los valores extremos de la temperatura, porque son más representativos para delimitar y definir zonas aptas para determinados cultivos.

### Concepto de clima mensual

El clima de un lugar varía de una época a otra y esta variación estacional supera frecuentemente la diferencia entre climas muy variados.

Papadakis en 1975 introdujo el concepto de climas mensuales, los cuales se clasifican según sus características térmicas y sus características hídricas, resumiendo su clasificación en dos letras.

Con el concepto de clima mensual, el clima de un lugar queda representado por una secuencia de 12 fórmulas mensuales; todo esto es más preciso, da mejor idea del clima y facilita su comparación. Los climas mensuales no reemplazan a la fórmula del clima anual, sino que la complementan y perfeccionan.

### Clasificación del clima mensual

Para definir las características térmicas mensuales de un lugar, la clasificación se basa sobre:

1. Temperatura máxima promedio ( $T$ ).
2. Temperatura mínima promedio ( $t$ ): índice de las temperaturas nocturnas.
3. Temperatura mínima extrema promedio ( $t'$ ), una por cada año que se registraron en cada mes durante varios años.  $t'$  es un índice de riesgo de heladas.

En cambio, para definir las características hídricas mensuales se requiere conocer la lluvia y la evapotranspiración potencial mensuales y el agua almacenada en el suelo debido a lluvias anteriores; por ello se requiere realizar un balance hídrico.

### Climas mensuales térmicos

Se pueden distinguir hasta 29 climas térmicos mensuales (Papadakis, 1980), dependiendo de los valores de la temperatura, en grados centígrados, tanto mínimas extremas, como máximas y promedio.

### Climas mensuales hídricos

1. Clima mensual árido (**a**). La precipitación mensual más el agua almacenada en el suelo por lluvias anteriores, cubren menos del 25% de la evapotranspiración potencial.

2. Clima mensual seco (**s**). La precipitación mensual más el agua almacenada en el suelo por lluvias anteriores, cubren entre el 25 y 50% de la evapotranspiración potencial.
3. Clima hídrico intermedio seco (**i**). La precipitación mensual más el agua almacenada en el suelo por lluvias anteriores, cubren entre el 50 y 75% de la evapotranspiración potencial.
4. Clima hídrico intermedio húmedo (**y**). La precipitación mensual más el agua almacenada en el suelo por lluvias anteriores, cubren entre el 75 y 100% de la evapotranspiración potencial.
5. Clima mensual post-húmedo (**p**). La precipitación mensual más el agua almacenada en el suelo por lluvias anteriores, cubren más del 100% de la evapotranspiración potencial; pero la lluvia sola no la cubre. Estas condiciones aseguran rendimientos máximos, en lo que del agua depende; y se tiene la ventaja de no tener lluvias excesivas.
6. Clima mensual húmedo (**h**). La precipitación sola cubre más del 100% de la evapotranspiración potencial.
7. Clima mensual hiper húmedo (**w**). La precipitación mensual más el agua almacenada en el suelo por lluvias anteriores, cubren más del 200% de la evapotranspiración potencial.

### Climogramas

Los climogramas representan la síntesis gráfica del clima y facilitan su comparación. Cuando los climas difieren mucho, los climogramas, también, son totalmente diferentes. En un climograma de Papadakis, los climas o estaciones frías se ubican a la izquierda, los cálidos a la derecha, los húmedos arriba y los secos abajo. Una gran extensión horizontal es un signo de continentalidad y una gran extensión vertical indica gran variación estacional en las condiciones hídricas.

Cuando el clima mensual no varía en temperatura ni en humedad durante todo el año, el climograma se reduce a un punto. Cuando la temperatura no varía, pero hay estación húmeda y seca, el climograma es una línea vertical. Cuando todo el año es húmedo, el climograma es una línea horizontal ubicada en la parte superior; en cambio, si todos los meses son secos pero tienen

variación en temperatura es una línea horizontal inferior (Figura 1).

### Clasificación del clima anual

El clima anual es el compendio de los mensuales; también está formado por las componentes básicas de temperatura y humedad. Desde el punto de vista de Papadakis, el clima anual resume las características más frecuentes del estado medio de la atmósfera (aspecto que también es congruente en el sistema de Köppen), aunque el enfoque es en términos de la respuesta de los cultivos y de las plantas en general a esos factores, que a fin de cuentas, determinan su desarrollo y rendimiento.

### Fórmula climática anual

El clima de un lugar puede describirse dando las fórmulas climáticas de los doce climas mensuales, que se repiten con cierta variación todos los años. Pero el clima va más allá que la suma de estos doce elementos, ya que tiene características propias debidas a la manera en la que se combinan los climas mensuales. Por lo tanto, la introducción de la fórmula climática mensual no reemplaza a la fórmula anual, sino que la complementa y perfecciona.

La fórmula anual está integrada por seis signos. Los tres primeros indican la fórmula térmica; la cual

está formada por dos letras, la del mes más frío y más cálido y el número térmico. Los tres últimos signos identifican la fórmula hídrica.

### Fórmula térmica

**Periodo de heladas.** Se define en función de  $t'$ . Si  $t' < 0^\circ \text{C}$  es "heladas frecuentes". Si  $0 < t' < 2^\circ \text{C}$ , se conoce como "libre de heladas frecuentes". Cuando  $2 < t' < 7^\circ \text{C}$ , se define como "razonablemente libre de heladas". Si  $t' > 7^\circ \text{C}$ , entonces corresponde al "totalmente libre de heladas".

**Número térmico.** Las condiciones térmicas del año varían de una manera aproximadamente regular entre el mes más frío del año y el mes más cálido.

La letra del mes más frío muestra de manera bastante precisa el rigor del invierno y la letra del mes más cálido se refiere a un solo mes, mientras que la duración del verano es también importante, la posibilidad de cultivar una u otra especie depende de la temperatura máxima de varios meses y la duración del periodo de heladas. Por ello, es necesario completar las dos letras térmicas del mes más frío y más cálido con un número térmico que indique la posibilidad de desarrollar tal o cual cultivo, según el calor del verano y la duración del periodo libre de heladas.

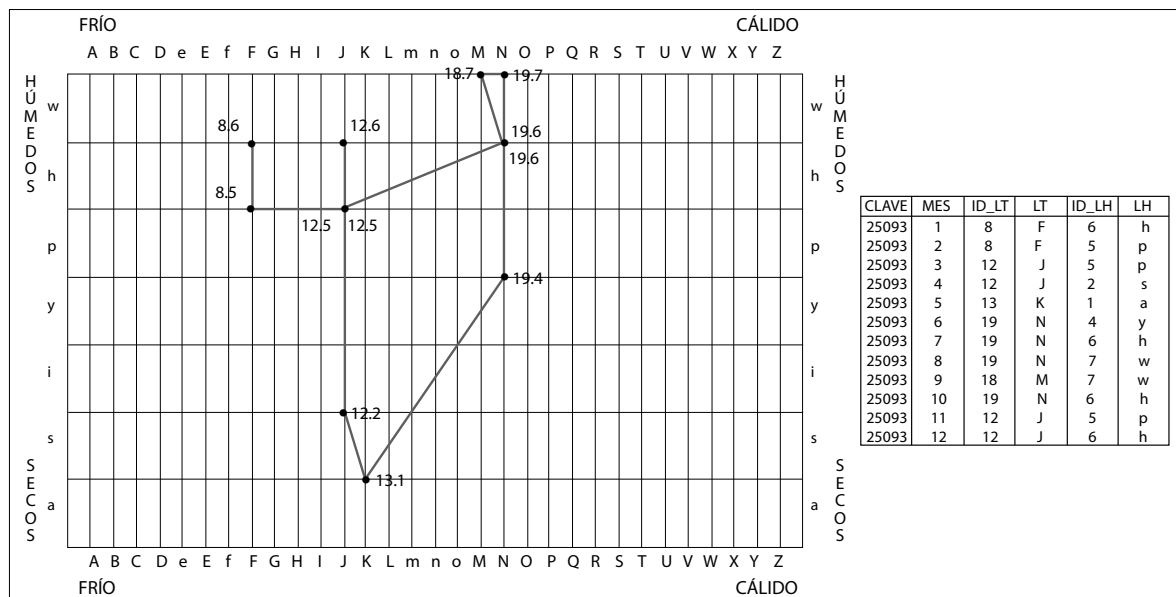


Figura 1. Climograma para la estación 25093, Surutato, Sinaloa, México.

En general, el mes más frío sigue al solsticio de invierno y el mes más cálido al solsticio de verano (en el Hemisferio Norte). En este caso Papadakis (1980) propuso los siguientes números térmicos:

- **0** (frígido): promedio de temperaturas máximas de los dos meses más cálidos menor a 6° C.
- **1** (tundra): promedio de las temperaturas máximas de los dos meses más cálidos superior a 6° C; promedio de las temperaturas máximas de los cuatro meses más cálidos inferior a 10° C.
- **2** (Alpino-andino): promedio de las temperaturas máximas de los cuatro meses más cálidos superior a 10° C; promedio de las temperaturas mínimas de los dos meses más cálidos inferior a 5° C.
- **3** (taiga-subalpino): promedio de las temperaturas máximas de los cuatro meses más cálidos superior a 10° C; promedio de las temperaturas mínimas de los dos meses más cálidos superior a 5° C. Temperatura mínima extrema superior a 2° C durante menos de 2½ meses y/o temperatura máxima de los cuatro meses más cálidos inferior a 17° C.
- **4** (trigo fresco): promedio de las temperaturas máximas de los cuatro meses más cálidos superior a 17° C; temperatura mínima extrema superior a 2° C durante 2½ a 4½ meses.
- **5** (trigo cálido): promedio de las temperaturas máximas de los cuatro meses más cálidos superior a 17° C; promedio de las temperaturas máximas de los cuatro meses más cálidos inferior a 21° C. Temperatura mínima superior a 2° C durante más de 4 ½ meses.
- **6** (maíz): promedio de las temperaturas máximas de los seis meses más cálidos superior a 21° C; temperatura mínima extrema superior a 2° C durante más de 4½ meses. Temperatura mínima extrema superior a 7° C durante menos de 3½ meses y/o temperatura máxima del mes más cálido inferior a 25° C.
- **7** (arroz): promedio de temperaturas máximas de los seis meses más cálidos superior a 21° C; temperatura mínima extrema superior a 7° C durante más de 3½ meses. Temperatura máxima del mes más cálido superior a 25° C; promedio de las temperaturas máximas de los seis meses

más cálidos inferior a 25° C y/o temperatura mínima extrema superior a 7° C durante menos de 4½ meses.

- **8** (algodón): promedio de las temperaturas máximas de los seis meses más cálidos superior a 25° C; temperatura mínima extrema superior a 7° C durante más de 4½ meses. Temperatura mínima de uno o más meses inferior a 18° C.
- **9** (ecuatorial): temperatura mínima de todos los meses superior a 18° C; promedio de las temperaturas máximas de los seis meses más cálidos superior a 25° C.

### Fórmula hídrica

**Excedente estacional de lluvia ( $L_n$ ).** Para que una cantidad de lluvia pueda penetrar en el suelo, debe haber un excedente de la misma sobre la evapotranspiración potencial y ésta tiene una gran importancia tanto ecológica como edafológica.

Cuando la lluvia es suficiente para que haya una vegetación que ocupa totalmente la superficie del suelo, el agua penetra muy poco en el suelo, mojando solamente la parte superficial. Esto impide que las semillas de plantas leñosas puedan desarrollarse, y crezcan sólo cuando se les planta.

Cuando la lluvia es superior y existe un excedente de lluvia, la vegetación es mixta (sabana, arbustos) y si aumenta más el excedente de lluvia, los árboles predominan y eliminan con su sombra la vegetación del piso, formando bosques.

Para calcular el excedente estacional de lluvia se calcula la diferencia estacional de lluvia y la evapotranspiración potencial para cada mes; se hace la suma positiva más grande que se puede formar sumando una serie continua de meses.

**Número hídrico.** En los meses áridos (**a**) y secos (**s**) prácticamente no hay crecimiento vegetal o es mínimo. Por el contrario, en los meses **i, y, p, h, w**, sí hay crecimiento, si naturalmente las temperaturas lo permiten. Por lo tanto, el número de meses no secos tiene gran importancia y se llama “número hídrico”; varía de 1 a 12 y se incluye en la fórmula hídrica, pero cuando sobrepasa 9 tiene poca importancia, o se hace contraproducente ya que dificulta las faenas agrícolas, en especial la cosecha; y por lo tanto no se incluye en la fórmula hídrica, en su lugar se indica el número de meses menos

húmedos. En resumen, cuando el número hídrico excede a 9, en vez de incluirlo en la fórmula hídrica se indica el número de meses más secos y para evitar confusiones, este último número se escribe al final de la fórmula, mientras que el número hídrico se escribe siempre en primer o segundo lugar.

**Régimen hídrico.** La cantidad y distribución estacional de las precipitaciones varía enormemente de un clima a otro. Papadakis (1980) los define de la siguiente manera:

- **Húmedo (Hu, HU).** La precipitación anual supera la evapotranspiración potencial anual; ningún mes es seco (**a** o **s**). El excedente estacional de lluvia sobrepasa el 25% de la evapotranspiración potencial anual. El régimen es siempre húmedo (**HU**), cuando todos los meses son húmedos (**h** o **w**) lo que dificulta las faenas agrícolas, especialmente la cosecha; y húmedo (**Hu**) cuando uno o más meses no son húmedos, pero tampoco secos.
- **Mediterráneo (ME, Me, me).** La lluvia de invierno (junio, julio y agosto [hemisferio sur]) supera la lluvia de verano (diciembre, enero y febrero). El clima no es ni desértico ni húmedo. Se distinguen tres sub-tipos: **ME** (mediterráneo lluvioso), **Ln** supera el 25% de la *ETp*; **Me** (mediterráneo seco), **Ln** es inferior a 25% *ETp*; y **me** (mediterráneo semiárido), octubre en el hemisferio sur, abril en el hemisferio norte, es seco (**a**, **s**) y prácticamente no se desarrollan cultivos sin riego.
- **Estépico (St).** El régimen no es ni húmedo ni mediterráneo, ni desértico, ni monzónico; en primavera (marzo, abril y mayo en el hemisferio norte) suma más del 50% de la *ETp*.
- **Isohigro semiárido (si).** Semejante al anterior, pero la lluvia de la primavera cubre menos del 50% de la *ETp*.
- **Monzónico (MO, Mo, mo).** Con base en la relación precipitación/*ETp*, el verano es más húmedo que el invierno y la primavera; el régimen no es ni húmedo ni desértico. Se divide en **MO** (monzónico lluvioso), **Ln** es superior a 25% de la *ETp*; **Mo** (monzónico seco), **Ln** es inferior a 25% de la *ETp*, la lluvia cubre más del

44% de la *ETp*; y **mo** (monzónico semi-árido), la lluvia cubre menos del 44% de la *ETp*.

- **Desértico (de, di, do, da).** Todos los meses, con temperaturas máximas promedio superior a 15° C son secos y la lluvia anual cubre menos del 22% de la *ETp*. Se divide en: **de** (desierto mediterráneo), uno o más meses del invierno no son áridos; **do** (desierto monzónico), uno o más meses no son áridos en verano; **di** (desierto isohigro), uno o más meses no son áridos en primavera y/o la lluvia cubre más del 9% de la *ETp*; y **da** (desierto absoluto), todos los meses son áridos, la lluvia cubre menos del 9% de la *ETp*.

**Fórmula hídrica.** La variación estacional de las condiciones hídricas es mucho más caprichosa (más variable y con mayor incertidumbre) que la térmica. Por lo tanto, la letra del mes más seco y más húmedo no es suficiente. La fórmula debe indicar, además, el número hídrico, el régimen hídrico y en climas húmedos el número y clase de meses menos hídricos.

El número hídrico se coloca entre las letras húmeda y seca; cuando el número de meses no secos excede 9, no se indica, se reemplaza por el número de meses menos húmedos.

El régimen hídrico se indica por la posición relativa de la letra más seca y más húmeda. Si el mes más húmedo es más frío que el mes más seco, se escribe primero la letra húmeda; si el mes más seco es más frío que el mes más húmedo, se escribe primero la letra más seca. La fórmula hídrica de los climas mediterráneos empieza siempre por la letra húmeda; y la fórmula de los climas monzónicos por la letra seca. Pero la posición relativa de la letra húmeda y seca, puede mostrar solamente una tendencia mediterránea o monzónica.

El régimen estépico (o estepario) se muestra escribiendo primero el número hídrico antes que las dos letras. La posición relativa de las letras indica la tendencia mediterránea o monzónica. Para distinguir los climas semiáridos (mediterráneos, isohigros o monzónicos) de los no semiáridos, se reemplaza **a** (de árido) por **d**; y si no hay **a** se reemplaza **s** por **t**.

Los climas monzónicos secos, mediterráneos secos y estépico secos tienen excedente estacional

de lluvia, **Ln** inferior a 25% de la **ETp**. Muchos de estos climas no tienen ningún mes hiper húmedo (**w**); cuando tienen meses **w**, éste es reemplazado por **v**, y de esta manera estos climas se distinguen de los lluviosos (**MO**, **ME**, **HU**, **Hu**) que siempre tienen **w**.

Los climas desérticos tienen en general, todos los meses secos; la fórmula hídrica debería ser **s0a**, **a0s** u **a0a**; pero se reemplaza **0** y **a** por **d**; y la fórmula es **sdd** para los mediterráneos, **dds** para los monzónicos y **ddd** para los absolutos. En los climas isohigros se suprime una **d** y la fórmula es **dd**. En los climas con dos o menos meses secos, la lluvia constituye una dificultad y es necesario indicar el número y categoría de meses menos húmedos.

## APLICACIÓN

Estos conceptos se aplicaron a una región del NW de México, de aproximadamente 59 000 km<sup>2</sup>, y de primera importancia agrícola regional y nacional.

### Evapotranspiración potencial

En general, este factor es uno de los más difíciles de evaluar, por su extrema complejidad, dados los múltiples factores que en ello intervienen y sus intrincadas interrelaciones (Chiew *et al.*, 1995). A pesar de haber diversos métodos, su precisión depende de la sofisticación y, sobre todo, de que la información necesaria esté disponible (Doorenbos and Pruitt, 1977). En todo caso, aun los mejores métodos son sólo estimaciones. Para una estación meteorológica representativa de la región, las características de la evaporación medida en tanque son las siguientes, Tabla 1, a la que se han aplicado coeficientes mensuales de evaporación –más grandes para los meses secos–, con lo que se ha hecho una primera estimación de **ETp**:

La Tabla 2 muestra los resultados relativos modulares de los diferentes métodos aplicados para estimar **ETp** en relación con el del tanque evaporímetro.

Así, mientras hay métodos que seguramente se quedan cortos, como el de Makkink, con 53% de la evaporación registrada, hay otros que resultan muy altos, como el de Papadakis, con 96%; ambos

Tabla 1. Valores mensuales promedio de evaporación, coeficiente para el tanque evaporímetro, y **ETp** estimada con estos coeficientes, en mm/mes

| Estación  | Mes | Evaporímetro | Coef. Evap. | ETp      |
|-----------|-----|--------------|-------------|----------|
| Invierno  | Ene | 104.65       | 0.94        | 98.37    |
|           | Feb | 126.65       | 0.93        | 117.78   |
| Primavera | Mar | 192.27       | 0.91        | 174.96   |
|           | Abr | 230.11       | 0.88        | 202.50   |
|           | May | 267.83       | 0.83        | 222.30   |
| Verano    | Jun | 260.09       | 0.75        | 195.06   |
|           | Jul | 210.64       | 0.73        | 153.77   |
|           | Ago | 183.02       | 0.75        | 137.27   |
| Otoño     | Sep | 159.46       | 0.76        | 121.19   |
|           | Oct | 164.85       | 0.82        | 135.18   |
|           | Nov | 126.41       | 0.88        | 111.24   |
| Invierno  | Dic | 98.72        | 0.91        | 89.84    |
| TOTAL     |     | 2 124.70     | 0.84        | 1 759.46 |

resultan un tanto incongruentes. Por ello se adopta el del tanque evaporímetro, con los coeficientes mencionados, el cual, sin negar su empirismo, se estima resulta más apropiado para las condiciones estatales y, por ende, es el que se aplica a toda la base de datos meteorológica.

En complemento, la Figura 2 muestra los valores anuales medios de la lluvia, en milímetros; se aprecia en ella que los valores varían desde poco menos de 300 mm al año, en el extremo NW, la parte más seca de Sinaloa, hasta casi 1 300 al año, en las zonas del sur del estado, sobre todo en la parte de montaña. Esta amplia variación produce a su vez, múltiples escenarios y ambientes naturales, lo que confiere grandes contrastes dentro de la entidad, desde los cálidos y húmedos en el sur, hasta los secos y extremos en el norte.

Por el efecto de convección atmosférica, las zonas serranas son las que más lluvia reciben, la que al convertirse en escurrimiento, ya sea superficial o subterráneo, fluye hacia las partes bajas, en donde

Tabla 2. Valores relativos, respecto a la evaporación registrada en tanque, de cada uno de los métodos probados para estimar ETp

| Mes   | Hamon | Thorntn waite | Makkink | Harg-reaves | Turc | Papadakis | Penman-Monteith | Tanque Evap. | Evap. |
|-------|-------|---------------|---------|-------------|------|-----------|-----------------|--------------|-------|
| Ene   | 0.70  | 0.41          | 0.65    | 0.81        | 0.80 | 1.36      | 0.87            | 0.94         | 1.00  |
| Feb   | 0.57  | 0.36          | 0.53    | 0.67        | 0.66 | 1.23      | 0.81            | 0.93         | 1.00  |
| Mar   | 0.47  | 0.34          | 0.46    | 0.58        | 0.54 | 0.90      | 0.71            | 0.91         | 1.00  |
| Abr   | 0.45  | 0.42          | 0.44    | 0.56        | 0.53 | 0.86      | 0.65            | 0.88         | 1.00  |
| May   | 0.47  | 0.55          | 0.46    | 0.60        | 0.53 | 0.78      | 0.63            | 0.83         | 1.00  |
| Jun   | 0.55  | 0.82          | 0.49    | 0.65        | 0.58 | 0.71      | 0.62            | 0.75         | 1.00  |
| Jul   | 0.70  | 1.06          | 0.54    | 0.72        | 0.62 | 0.81      | 0.72            | 0.73         | 1.00  |
| Ago   | 0.76  | 1.10          | 0.58    | 0.77        | 0.68 | 0.87      | 0.79            | 0.75         | 1.00  |
| Sep   | 0.79  | 1.12          | 0.66    | 0.87        | 0.79 | 0.98      | 0.80            | 0.76         | 1.00  |
| Oct   | 0.70  | 0.89          | 0.58    | 0.77        | 0.69 | 1.08      | 0.76            | 0.82         | 1.00  |
| Nov   | 0.70  | 0.63          | 0.60    | 0.77        | 0.76 | 1.34      | 0.81            | 0.88         | 1.00  |
| Dic   | 0.78  | 0.51          | 0.62    | 0.79        | 0.79 | 1.44      | 0.89            | 0.91         | 1.00  |
| Anual | 0.61  | 0.70          | 0.53    | 0.69        | 0.64 | 0.96      | 0.73            | 0.84         | 1.00  |

los diversos embalses la captan y almacenan para su uso posterior en la agricultura, el sector usuario más demandante, que según estudios específicos, alcanza valores superiores al 90% del volumen extraído de las fuentes (IMTA, 2006).

## AGROCLIMAS DEL ESTADO

Este es el principal resultado del trabajo. Se obtiene por la aplicación de la metodología de Papadakis, y conduce a obtener los principales tipos climáticos y su distribución espacial en el estado. De acuerdo con los resultados de la aplicación, las zonas agroclimáticas del estado de Sinaloa se ubican en los siguientes rubros.

Las características relevantes de estos tipos se resumen a continuación, y la Figura 3 muestra su distribución espacial en el estado.

**1.4. Sabana continental:** principales cultivos: maíz, mandioca, cacahuete, caña de azúcar, plátano; el arroz se cultiva solamente con riego, excepto donde hay una serie continua de cuatro meses húmedos (**w**). La caña de azúcar se da solamente con riego en los climas más secos, y en éstos no se puede tener más de una cosecha de cultivos anuales

por año. Los cultivos ecuatoriales se hacen donde el número térmico es **9**, con riego, o en suelos que reciben aguas adicionales; en muchas costas hay cocoteros, hay agua subterránea y además las noches son más cálidas. La existencia de una estación seca facilita la agricultura, cuando naturalmente ésta no es demasiado prolongada. En las partes más secas aparecen los cultivos de sorgo, cacahuete y algodón. El contraste entre estaciones húmeda y seca es en general más grande, lo que da la ventaja al sorgo y al arroz; éste se puede cultivar también sin riego cuando la estación húmeda (**w**) incluye por lo menos cuatro meses.

Este clima se presenta en la porción centro y sur del estado, en altitudes medias sin llegar a la costa. Corresponde a la parte caliente, semicálida y húmeda estatal, donde los inviernos rigurosos prácticamente no existen, dado que las temperaturas no descienden hasta valores de riesgo; es decir, esta zona está usualmente libre de heladas. Hay al menos tres meses secos, aunque con frecuencia el periodo de estiaje es muy definido y prolongado. El grado de humedad hace que no sea semiárido.

**1.5. Tropical semiárido:** cultivos principales: sorgo, cacahuete, algodón. El arroz, la caña de azúcar y el plátano se riegan. Donde el número

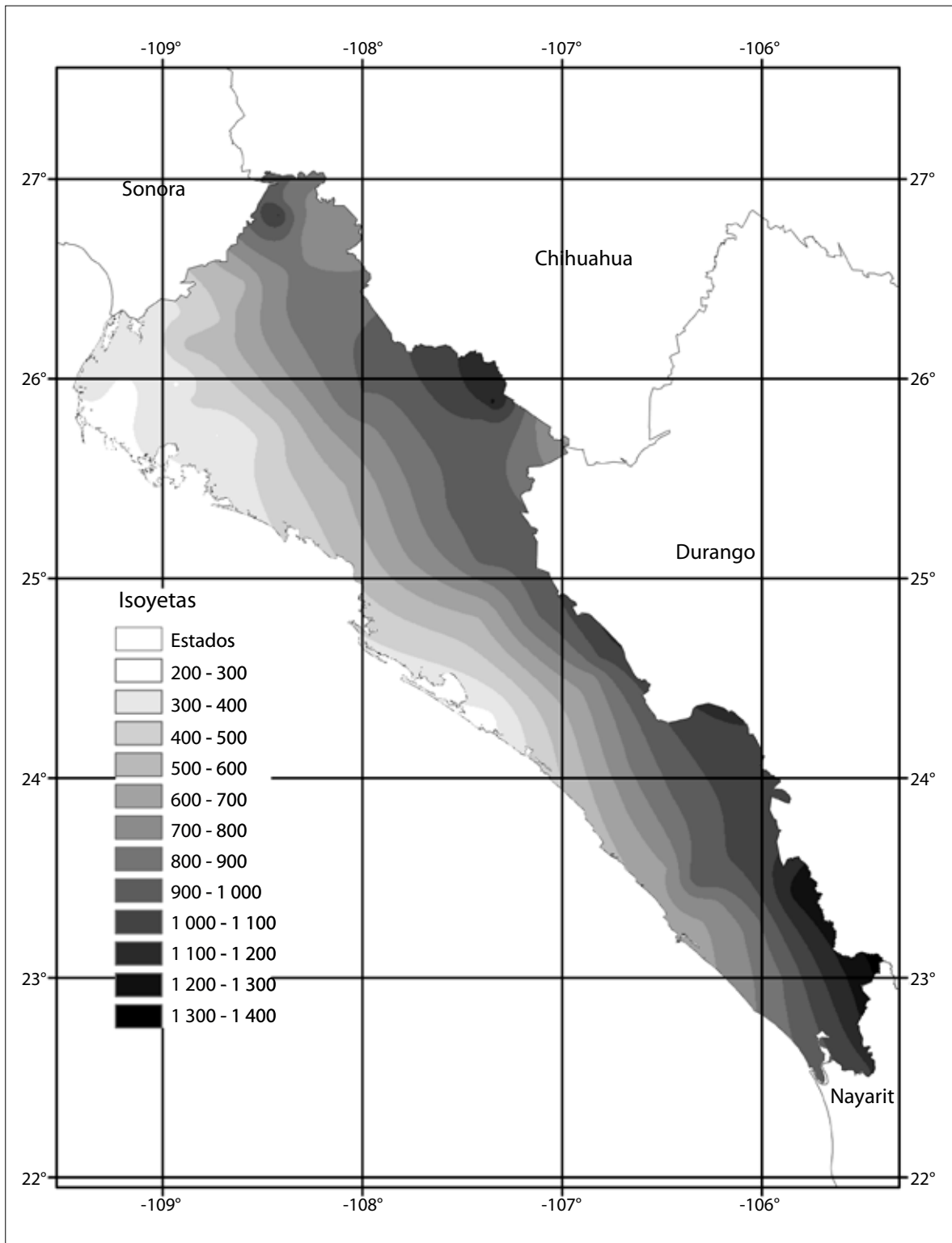


Figura 2. Isoyetas medias anuales en milímetros para el estado de Sinaloa.

hídrico es por debajo de los 4, el cultivo sin riego prácticamente desaparece. Es una zona de altos rendimientos agrícolas, y el riego se vuelve indispensable, al menos en la época de estiaje, que puede ser muy prolongada y cálida. Paradójicamente, es una de las zonas de mayor deficiencia hídrica, tanto por el intenso uso del agua, como por la baja precipitación pluvial, y al mismo tiempo la potencialidad agrícola de los suelos, aunada a la alta tecnología aplicada, conduce a la obtención de altos rendimientos en prácticamente todos los cultivos.

**1.9. Tropical con invierno fresco:** el invierno fresco permitirá el cultivo de variedades con bajos requerimientos de frío en plantas criófilas (trigo, cebada, colza, lino, etc.). Desde otros puntos de vista, estos climas se asemejan a 1.2, 1.3, 1.4, 1.5, según sus parámetros climáticos. Comprende una

extensa faja costera que recorre todo el estado de norte a sur, y que se despega de la costa sólo en la parte más árida, definida por el tipo 1.5. Aquí se ubican los principales sistemas y áreas de riego del estado, con un alto potencial productivo, tanto por las condiciones del suelo y la disponibilidad de agua de los diversos embalses, como de la tecnología utilizada en la producción.

**2.3. Tierra fría húmeda (media):** principales cultivos: maíz, frijol, soya; arroz, cuando el verano es 7. Se cultiva también trigo durante la estación húmeda, o durante la estación seca, con riego. Los pastizales son buenos, dependiendo su producción del régimen hídrico, que varía de húmedo a semiárido. Se ubica en las partes serranas de mayor altitud del estado, donde se presentan las temperaturas estatales más bajas, aunque el riesgo de heladas no

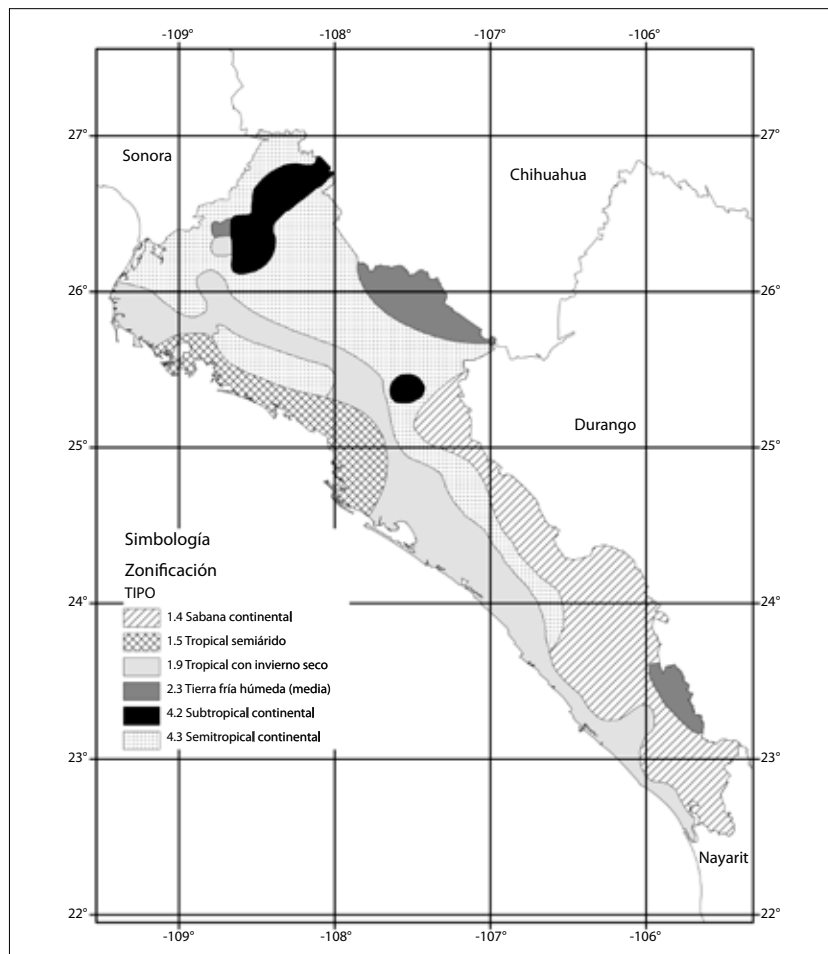


Figura 3. Zonas agroclimáticas del estado de Sinaloa, según el método de Papadakis.

es tan alto. Las condiciones de altitud, temperatura y humedad propician el desarrollo de la agricultura de temporal, aunque se ve limitada por las condiciones topográficas, que le confieren relieves muy variables y una cierta dificultad de acceso.

**4.2. Subtropical continental:** principales cultivos: arroz con riego; algodón, sorgo, cacahuete sin riego; donde la estación húmeda (**w**) es suficientemente larga (cinco meses) se puede cultivar también arroz sin riego. También se siembra mucho trigo en invierno, pero el riego es imprescindible. La caña de azúcar se cultiva sin riego en las partes más húmedas (número hídrico **9** o más alto); sufre algunos daños por heladas pero algunas partes tienen inviernos **L**, poco heladores.

También a veces llamado sabana subtropical. El invierno puede ser de tipo **f, F, G, H, I, J, K, L**. El verano es **W** o **Z**; al menos tres meses son secos, aunque frecuentemente hay un periodo de estiaje prolongado e intenso, potenciado por las altas temperaturas. Se presenta en el extremo norte del estado, desde altitudes medias hasta la serranía, y más al sur, en el pie de monte y la zona serrana, prolongándose hacia los estados vecinos del norte de condiciones similares. La transición entre este clima y la tierra fría (del grupo 2) tiene veranos tipo **V**. Los suelos preponderantes en este clima son los del tipo limoso o medio, y en ellos puede prosperar la agricultura de temporal.

**4.3. Semitropical continental:** semejante al anterior (4.2). El invierno menos frío es una ventaja para la caña de azúcar, y una desventaja para los cultivos criófilos, como el trigo.

Este clima tiene inviernos **m, n, o, M, N, O**, con al menos tres meses secos, que frecuentemente se prolongan hasta seis u ocho. Los veranos son del tipo **W** o **Z**. Pueden subdividirse según el rigor del invierno y/o el número hídrico, de los cuales dependen las potencialidades agropecuarias. Se ubica en gran parte del estado, en una franja paralela a la costa, sin tocarla. También en esta zona se ubica una gran proporción de la zona agrícola de riego estatal.

Este tipo de clima coincide en buena medida con los suelos arcillosos o pesados, de las planicies costeras y de altitud media, los que por su alta capacidad de retención de agua, su topografía y

estructura edafológica, son aptos para una amplia variedad de cultivos.

Todos estos resultados, desde luego son sólo indicativos y no limitativos, puesto que, con la disponibilidad del riego, la variedad de cultivos reales y posibles es muy amplia; de hecho, cultivos como tomate, frijol, garbanzo, entre otros, no mencionados por Papadakis, alcanzan aquí desarrollos y rendimientos muy notables. Este aspecto también se ve grandemente impulsado por la demanda de los mercados, tanto interno como exterior, y al alto grado de mecanización que ha alcanzado la agricultura, así como a los modernos sistemas de cosecha, manejo, almacenamiento, transporte y comercialización.

Para fines de complementar el panorama de los cultivos y los agroclimas, la Figura 4 muestra un mapa del estado con la distribución de las zonas agrícolas por las modalidades más comunes: riego, temporal, y humedad (residual), y la Tabla 3, un resumen del mismo tema, referido al año agrícola 2007 por cultivo (SAGARPA, 2007); en complemento, la Figura 5 detalla en forma gráfica la distribución de los cultivos en 2007, por modalidad (riego y temporal), así como por subciclo: O-I (otoño-invierno), P-V (primavera-verano) y perennes; destaca que en el temporal, los cultivos más importantes, en superficie, se establecen en el P-V, para aprovechar las lluvias; en riego, la mayor superficie es de O-I, que resulta más redituable y eficiente; y visto en general, dada la importancia agrícola del estado, el O-I es el que tiene mayor superficie sembrada.

## CONCLUSIONES

Un estudio de esta naturaleza puede ser de mucha utilidad para fines de planeación, cuando se analizan las diferentes opciones de los programas agrícolas. A pesar de la amplia variedad de cultivos establecidos en el estado, muchos de ellos son adaptados a las condiciones locales; no obstante, siempre es bueno saber las características naturales climáticas, a efecto de que el proceso de adaptación sea menos azaroso. Así, los resultados de este trabajo pueden ser un elemento más de análisis para funcionarios,

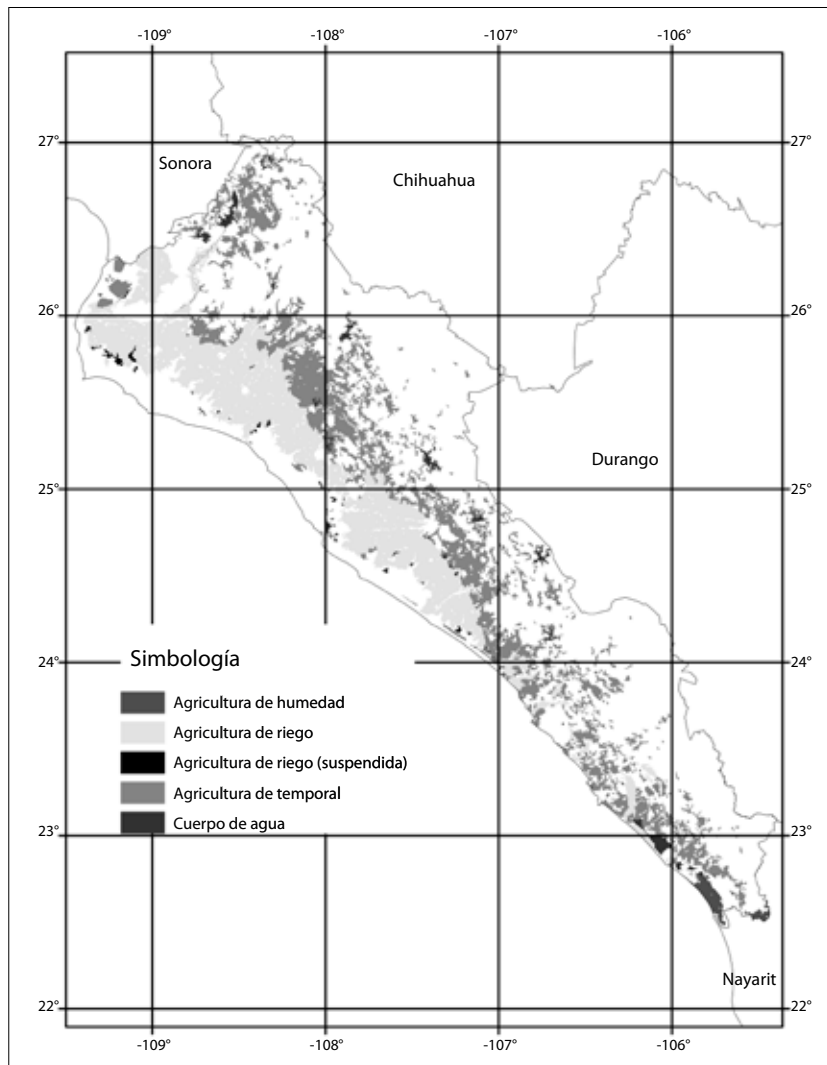


Figura 4. Zonas agrícolas del estado de Sinaloa por modalidad.

agricultores, industriales, comerciantes, gestores y analistas del sector agrícola, a quienes les servirá tener más y mejores elementos que hagan más objetivas y realistas las decisiones que deban tomar.

Entre otros aspectos, la adaptación de los cultivos que se realizan en el estado de Sinaloa, ha conducido a obtener variedades de mayor rendimiento unitario, más resistentes a plagas y enfermedades, así como a condiciones de estrés hídrico y menor consumo de agua. También destaca que en algunos cultivos, su periodo vegetativo se haya reducido sensiblemente, para disminuir el riesgo fisiológico de daño por la incertidumbre natural (heladas

tempranas o repentinas, lluvias excesivas o extemporáneas, periodos anormalmente secos, etc.); cabe mencionar que, desde luego, esta adaptación ha obedecido a los requerimientos de mercado de esos productos. Así, por ejemplo, la horticultura de exportación cultivada en Sinaloa es de las mejores de México (y del mundo), altamente apreciada por su calidad y sabor.

También estos resultados pueden resultar de interés académico, ya que dada la importancia del sector agrícola en el estado, la utilidad de contar con una clasificación agroclimática, puede inducir a estudios de mayor detalle y utilidad.

Tabla 3. Superficies por cultivo y modalidad sembradas a nivel estado, en el año agrícola 2007

| Cultivo            | Superficies sembradas en hectáreas |        |          |        |         |        |          |         |         |        |          |         |
|--------------------|------------------------------------|--------|----------|--------|---------|--------|----------|---------|---------|--------|----------|---------|
|                    | TEMPORAL                           |        |          |        | RIEGO   |        |          |         | TOTAL   |        |          |         |
|                    | O-I                                | P-V    | Perennes | Total  | O-I     | P-V    | Perennes | Total   | O-I     | P-V    | Perennes | Total   |
| Agave              | 0                                  | 0      | 1,147    | 1,147  | 0       | 0      | 198      | 198     | 0       | 0      | 1,345    | 1,345   |
| Aguacate           | 0                                  | 0      | 4        | 4      | 0       | 0      | 18       | 18      | 0       | 0      | 22       | 22      |
| Ajonjolí           | 2,500                              | 16,730 | 0        | 19,230 | 0       | 0      | 0        | 0       | 2,500   | 16,730 | 0        | 19,230  |
| Alfalfa verde      | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 0       | 0      | 39       | 39      | 0       | 0      | 39       | 39      |
| Alfalfa achicalada | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 0       | 0      | 2,145    | 2,145   | 0       | 0      | 2,145    | 2,145   |
| Arroz palay        | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 1,159   | 0      | 0        | 1,159   | 1,159   | 0      | 0        | 1,159   |
| Berenjena          | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 947     | 0      | 0        | 947     | 947     | 0      | 0        | 947     |
| Cacahuete          | 0                                  | 16,173 | 0        | 16,173 | 0       | 0      | 0        | 0       | 0       | 16,173 | 0        | 16,173  |
| Calabacita         | 3,809                              | 173    | 0        | 3,982  | 4,085   | 238    | 0        | 4,322   | 7,894   | 411    | 0        | 8,304   |
| Caña de azúcar     | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 0       | 0      | 31,856   | 31,856  | 0       | 0      | 31,856   | 31,856  |
| Cártamo            | 17,300                             | 0      | 0        | 17,300 | 1,113   | 22     | 0        | 1,135   | 18,413  | 22     | 0        | 18,435  |
| Cebolla            | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 826     | 0      | 0        | 826     | 826     | 0      | 0        | 826     |
| Ciruella           | 0                                  | 0      | 1,731    | 1,731  | 0       | 0      | 0        | 0       | 0       | 0      | 1,731    | 1,731   |
| Coco fruta         | 0                                  | 0      | 4,107    | 4,107  | 0       | 0      | 0        | 0       | 0       | 0      | 4,107    | 4,107   |
| Chile verde        | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 17,309  | 0      | 0        | 17,309  | 17,309  | 0      | 0        | 17,309  |
| Durazno            | 0                                  | 0      | 33       | 33     | 0       | 0      | 0        | 0       | 0       | 0      | 33       | 33      |
| Ejote              | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 1,958   | 0      | 0        | 1,958   | 1,958   | 0      | 0        | 1,958   |
| Elote              | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 30      | 0      | 0        | 30      | 30      | 0      | 0        | 30      |
| Eucalipto          | 0                                  | 0      | 72       | 72     | 0       | 0      | 0        | 0       | 0       | 0      | 72       | 72      |
| Frijol             | 12,298                             | 727    | 0        | 13,025 | 69,680  | 0      | 0        | 69,680  | 81,977  | 727    | 0        | 82,704  |
| Garbanzo grano     | 13,410                             | 25     | 0        | 13,435 | 34,357  | 5      | 0        | 34,362  | 47,767  | 30     | 0        | 47,797  |
| Guayaba            | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 0       | 0      | 15       | 15      | 0       | 0      | 15       | 15      |
| Hortalizas         | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 3,733   | 21     | 0        | 3,754   | 3,733   | 21     | 0        | 3,754   |
| Jamaica            | 0                                  | 37     | 0        | 37     | 0       | 0      | 0        | 0       | 0       | 37     | 0        | 37      |
| Jícama             | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 141     | 0      | 0        | 141     | 141     | 0      | 0        | 141     |
| Limón              | 0                                  | 0      | 176      | 176    | 0       | 0      | 178      | 178     | 0       | 0      | 354      | 354     |
| Litchi             | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 0       | 0      | 247      | 247     | 0       | 0      | 247      | 247     |
| Maíz grano         | 11,328                             | 65,943 | 0        | 77,271 | 481,852 | 31,593 | 0        | 513,445 | 493,180 | 97,536 | 0        | 590,716 |
| Mandarina          | 0                                  | 0      | 0        | 0      | 0       | 0      | 22       | 22      | 0       | 0      | 22       | 22      |
| Mango              | 0                                  | 0      | 21,857   | 21,857 | 0       | 0      | 5,566    | 5,566   | 0       | 0      | 27,423   | 27,423  |

Tabla 3. Continuación

|                          |         |         |        |         |         |        |        |         |         |         |         |           |           |           |
|--------------------------|---------|---------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|
| Melón                    | 6       | 0       | 0      | 0       | 0       | 6      | 99     | 51      | 0       | 150     | 105     | 51        | 0         | 156       |
| Nanche                   | 0       | 0       | 0      | 6       | 6       | 6      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0         | 6         | 6         |
| Naranja                  | 0       | 0       | 0      | 5       | 5       | 5      | 0      | 0       | 1,128   | 1,128   | 0       | 0         | 1,133     | 1,133     |
| Nopalitos                | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 9       | 9       | 0       | 0         | 9         | 9         |
| Papa                     | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 14,082 | 0       | 0       | 14,082  | 14,082  | 0         | 0         | 14,082    |
| Papaya                   | 0       | 0       | 0      | 144     | 144     | 144    | 0      | 0       | 248     | 248     | 0       | 0         | 392       | 392       |
| Pastos y praderas verde  | 9,868   | 2,180   | 33,018 | 45,066  | 2,307   | 0      | 6,807  | 9,114   | 12,175  | 2,180   | 39,825  | 54,180    | 4,150     | 4,150     |
| Pastos y praderas seco   | 0       | 0       | 4,034  | 4,034   | 0       | 0      | 116    | 116     | 4,358   | 197     | 0       | 4,554     | 4,554     | 4,554     |
| Pepino                   | 0       | 69      | 0      | 0       | 0       | 0      | 0      | 128     | 0       | 1       | 0       | 0         | 1         | 1         |
| Pitahaya                 | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 70      | 70      | 0       | 0         | 70        | 70        |
| Plátano                  | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 28     | 0       | 0       | 28      | 28      | 0         | 0         | 28        |
| Rábano                   | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 746    | 12      | 0       | 758     | 7,104   | 1,690     | 0         | 8,794     |
| Sandía                   | 6,358   | 1,678   | 0      | 8,036   | 783     | 358    | 976    | 745     | 0       | 1,721   | 7,400   | 21,885    | 0         | 29,285    |
| Shop suey                | 48      | 735     | 0      | 27,564  | 0       | 40     | 1,490  | 49,795  | 0       | 51,782  | 16,274  | 266,534   | 0         | 282,807   |
| Sorgo forrajero en verde | 6,424   | 21,140  | 0      | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0         | 0         | 0         |
| Sorgo escobero           | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0         | 0         | 0         |
| Sorgo grano              | 14,287  | 216,739 | 0      | 231,025 | 1,987   | 49,795 | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0         | 0         | 0         |
| Tamarindo                | 0       | 0       | 0      | 15      | 15      | 15     | 0      | 0       | 0       | 0       | 0       | 0         | 15        | 15        |
| Tomate rojo (jitomate)   | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 19,416 | 132     | 0       | 19,548  | 19,416  | 132       | 0         | 19,548    |
| Tomate verde             | 2,700   | 0       | 0      | 2,700   | 8,334   | 16     | 0      | 0       | 0       | 8,350   | 11,034  | 16        | 0         | 11,050    |
| Toronja (pomelo)         | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 0      | 0       | 11      | 11      | 0       | 0         | 11        | 11        |
| Trigo grano              | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 6,059  | 0       | 0       | 6,059   | 6,059   | 0         | 0         | 6,059     |
| Varios                   | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 666    | 551     | 0       | 1,217   | 666     | 551       | 0         | 1,217     |
| Zacate                   | 0       | 0       | 10,712 | 10,712  | 0       | 0      | 0      | 0       | 505     | 505     | 0       | 0         | 11,217    | 11,217    |
| Zempoalxochitl           | 0       | 0       | 0      | 0       | 0       | 0      | 6      | 0       | 0       | 6       | 6       | 0         | 0         | 6         |
| TOTAL                    | 100 335 | 342 347 | 77 060 | 519 743 | 676 649 | 84 799 | 49 178 | 810 627 | 776 985 | 427 147 | 126 238 | 1 330 370 | 1 330 370 | 1 330 370 |

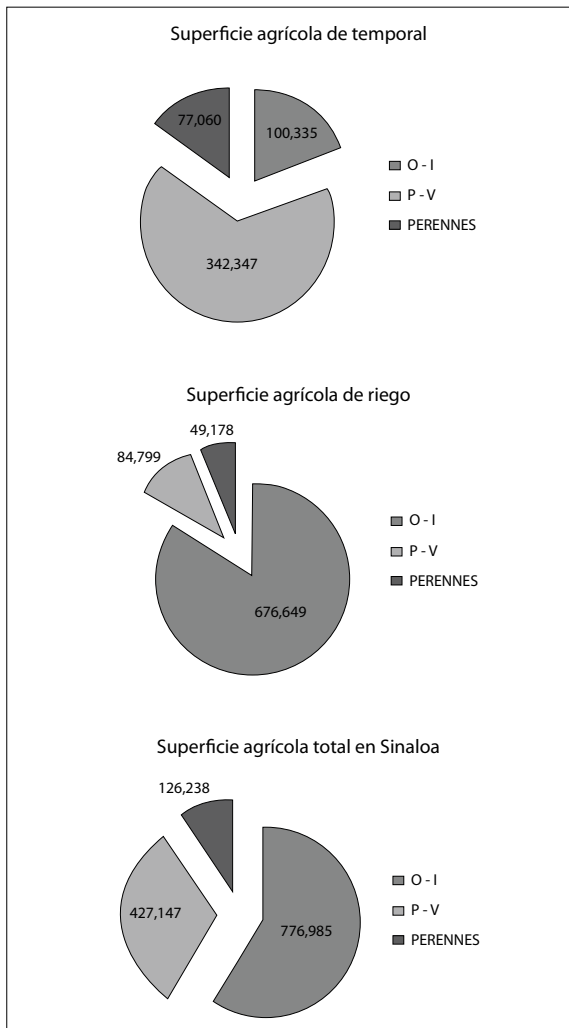


Figura 5. Distribución de las superficies agrícolas en Sinaloa, 2007.

**Nota:** Este trabajo fue desarrollado durante 2007 con el soporte financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT México), y el Fondo Mixto (FOMIX) con el Gobierno del Estado de Sinaloa, bajo el Convenio SIN-2006-C01-32733

## REFERENCIAS

- Allen, R. G., M. E. Jensen, J. L. Wright and R. D. Burman (1989), "Operational estimates of reference evapotranspiration", *Agronomy Journal*, no. 81, pp. 650-662.
- Campos, D. F. (1999), *Clasificación agroclimática de Papadakis: normas y procedimientos de aplicación*, reimpresión de informe publicado por la Facultad de Ingeniería en octubre de 1983, U. A. de San Luis Potosí, Facultad de Ingeniería, Centro de Investigación y Estudios de Posgrado, San Luis Potosí, México.
- Chávarri Velarde, E. A. (2004), "Evapotranspiración" [[http://tarwi.lamolina.edu.pe/~echavarri/clase\\_vii\\_evapotranspiracion\\_def.pdf](http://tarwi.lamolina.edu.pe/~echavarri/clase_vii_evapotranspiracion_def.pdf)].
- Chen, T. H., M. J. Burke and L. V. Gustav (1995), "Freezing tolerance in plants: an overview", *Biological Ice Nucleation and its Applications*, APS Press, The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA, pp 115-135.
- Chiew, F. H., N. N. Kamalasada, H. M. Malano and T. A. McMahon (1995), "Penman-Monteith FAO-24 Reference Crop Evapotranspiration and Class-A Pan Data in Australia", *Ag. Water Management*, no. 28, pp. 9-21.
- Doorenbos, J. and W. O. Pruitt (1977), *Guidelines for predicting crop water requirements*, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 24, revised edition, Rome, Italy.
- Elías, C.F., F. Castelli y A. D. Bosch (1996), "Clasificaciones climáticas", *Agrometeorología*, Mundi-Prensa, Madrid, España.
- García, E. (2004), *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*, Serie Libros, núm. 6, 5a. ed., Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Griffiths, J. F. (1985), *Climatología aplicada*, Publicaciones Culturales, México [1ª. ed. en español].
- Hamon, W. R. (1961), "Estimating potential evapotranspiration", *Journal of Hydraulics Division*, vol. XX, HY3, pp. 107-120.
- Hargreaves, G. H. (1981), *Manual para la programación de riegos a partir de datos climáticos limitados*, Centro Internacional de Riego, Utah State University, Logan, Utah, USA.
- Henderson-Sellers, A. y K. McGuffie (1990), *Introducción a los modelos climáticos*, Ediciones Omega, Barcelona.
- IMTA (2006), *Estudio para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales superficiales en las cuencas de las Regiones Hidrológicas 10 y 11, Pacífico Norte*, Coordinación de Hidrología, Informe final del Proyecto TH0541.3.
- Jáuregui, E. (1966), *Study of the climate of the northwestern part of the Republic of Mexico*, USBR, Office of Engineering Reference, Denver, CO.
- Jáuregui, E., D. Klaus y W. Lauer (1977), "Estimación de la evaporación y evapotranspiración potencial en el centro de México", *Recursos Hidráulicos*, vol. 6, núm. 1, pp. 11-25.
- Linsley, R. K., M. A. Kohler y J. I. Paulus (1977), *Hidrología para ingenieros*, 2ª. ed., McGraw-Hill Latinoamericana, México.

- Lobo, L. D., D. Gabriels, F. Ovalles, F. Santibáñez, M. Moyano, R. Aguilera, R. Pizarro, C. Sangüesa y N. Urra (2005), *Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semiáridas y húmedas secas de América Latina y el Caribe*, Programa Hidrológico Internacional (PHI), Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), Montevideo, Uruguay.
- Medina, G. G., C. J. Ruiz y L. A. G. Bravo (2006), "Definición y clasificación de la sequía", en Bravo, A. G., H. Salinas y A. Rumayor (eds.), *Sequía: vulnerabilidad, impacto y tecnología para afrontarla en el norte centro de México*. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Zacatecas, México.
- Navarra, J. G. (1979), *Atmosphere, weather and climate: an introduction to meteorology*, W. B. Saunders Company, Philadelphia, PA, USA.
- Papadakis, J. (1980), *El clima. Con especial referencia a los climas de América Latina, Península Ibérica, ex Colonias Ibéricas y sus potencialidades agropecuarias*, Editorial Albatros, Buenos Aires, Argentina.
- Remenieras, G. (1974), *Tratado de hidrología aplicada*, 2ª. ed., Editores Técnicos Asociados, Barcelona, España.
- SAGARPA (2006), "Estadísticas agrícolas" [<http://www.sagarpa.gob.mx>].
- Thornthwaite, G. W. (1948), "An approach towards a rational classification of climate", *Geographical Review*, no. 38, pp. 54-94.
- Velasco, I. (2005), "Uso de dos índices del régimen hídrico para evaluar la aridez", *XVII Congreso Nacional de Irrigación*, Acapulco, Gro, México.
- Villar, J. M. y F. Elías (1996), "Evapotranspiración", *Agrometeorología*, Mundi-Prensa, Madrid, España, pp. 259-278.