

BALANCE HÍDRICO DEL MAÍZ, SEGÚN MÉTODO DE LA FAO, EN EL NORESTE DEL ESTADO DE MORELOS.

Juan Carlos Gómez Rojas.

El agua juega un papel vital en la vida de las plantas, hasta el grado de que en algunas constituye el 95% del total del contenido de su masa. Las plantas toman (absorben) y pierden (evapotranspiran) agua continuamente. Las funciones del agua en las plantas son múltiples y cumplen diversos papeles, Sutcliffe (1979), señala entre otras las siguientes:

- a) El agua es el constituyente esencial del protoplasma.
- b) El agua participa directamente en gran número de reacciones bioquímicas de las plantas.
- c) El agua es una fuente de iones (hidróxilo), los cuales proveen electrones para las reacciones lumínicas.
- d) El agua es un solvente gracias al cual muchas otras sustancias son disueltas y así pueden reaccionar químicamente en el leñosos) y floema (vasos liberianos) y probablemente también a lo largo del citoplasma de las células.
- f) Gran cantidad del agua en las plantas está contenida en grandes vacuolas dentro del citoplasma o por encima de las células, lo que ayuda a mantener la rigidez o turgencia de toda la planta. Al perderse la turgencia el crecimiento cesa.
- g) Las pérdidas y ganancias del vacuoma celular de la planta, son responsables de una variedad de movimientos dentro de ella, en las estomas, en las hojas y flores, que son una respuesta a la temperatura.
- h) Existe una delgada capa de agua alrededor de cada célula de la planta que permite la difusión de gases (CO_2 y O_2) dentro y fuera de las células y el movimiento de sales minerales desde el suelo por las raíces.

- i) El agua actúa como un termostato por su alto calor específico y hace posible que la planta absorba una gran cantidad de radiación solar sin elevar grandemente su temperatura; aún más debido al calor latente, la transpiración actúa refrescando a la planta y permitiéndoles disipar el calor tomado como radiación solar.
- j) El agua es un medio que favorece la fertilización, así como la dispersión de esporas, frutas y semillas.
- k) Las plantas acuáticas, sumergidas o parcialmente sumergidas encuentran su soporte en el agua.

Con el agua se cierra la trilogía de los factores más importantes en la agroclimatología; por lo que es necesario conocer como se distribuye en el tiempo y en el espacio de estudio, y el papel intrínseco que juega dentro de los cultivos. Dado que el proceso de la absorción-evapotranspiración es fundamental para determinar el estado de la planta dentro de ésta investigación, se aplicó el Método de Pronóstico de Cosechas de la FAO, inventado por Frere y Popov, directamente, en 1985 para 3 de las localidades en estudio, Yecapixtla, Ocuituco y Hueyapan, e indirectamente para esas mismas localidades pero especialmente para Tetela (cálculo para 1977, año considerado seco a nivel nacional), pues en 1985 ya no existía estación meteorológica en dicha localidad.

Dado lo relativamente complejo del método y la necesidad de realizar observaciones de campo cada 10 días aproximadamente solamente se realizó la aplicación de dicha metodología para el maíz que, por otra parte, se cultiva en toda la región del noreste de Morelos y que puede servir de indicador agroclimático de ella.

Respecto a la distribución del agua en el tiempo y en el espacio de la zona investigada, es indispensable como base para comprender el por qué del tipo de cultivos, la zonificación agrícola de la región y el uso del suelo (en su vertiente temporal).

Ya en el capítulo primero se indicaron algunas características pluviométricas de la región, se vio que se ubica dentro del tercer rango de pluviosidad (en orden de mayores a menores en regímenes de lluvia elevado) a nivel nacional y que recibe aguas tanto del Pacífico como del Golfo, factores ambos que hacen a la región privilegiada a diferencia de gran parte del país.

Ahora bien, a otro nivel las llamadas gráficas ombrotérmicas establecen una relación entre la marcha de la temperatura anual y el tipo de régimen pluviométrico, García (1983) estableció modificaciones de dichas gráficas para que se adaptaran mejor a las condiciones de humedad del país. Según estas gráficas puede haber meses secos, que son aquellos cuya pluviosidad está por debajo de la línea de la temperatura; meses húmedos los cuales presentan una pluviosidad por encima de la línea de temperatura hasta los 100 mm de lluvia y los muy húmedos los cuales rebasan los 100 mm de precipitación.

En el noreste de Morelos, elaboradas las gráficas ombrotérmicas de las 8 estaciones meteorológicas trabajadas (gráficas 2.4 – 2.11), se observa que en todas ellas existe un régimen muy húmedo de mayo a octubre y seco de noviembre a abril, prácticamente, los valores en los meses más húmedos suelen estar entre los 250 y 300 mm, los menos húmedos alrededor de 200 mm. La canícula es más notoria en Hueyapan, Huecahuaxco y Ocuituco para agosto, mientras que en Tetela, Alpanocan y Achichipico lo es para julio, si la canícula perjudica o no al maíz se establecerá más adelante al tratar el método de Pronóstico de Cosechas de la FAO.

Si bien el régimen pluviométrico es semejante en las diversas localidades de la región, no sucede lo mismo con el régimen térmico. Achichipico y Yecapixtla presentan las temperaturas más altas, les sigue Ocuituco, que parece ser el límite superior de la

zona cálida, Huecahuaxco, Tetela y Alpanocan presentan regímenes más fríos, al igual que Ecatzingo, aunque el régimen de este último es poco homogéneo, finalmente Hueyapan presenta la marcha anual de temperatura más fría.

Los párrafos anteriores permiten suponer que si las temperaturas en las diversas localidades de la región fuesen semejantes, al tener similar régimen pluviométrico, la agricultura sería homogénea (por supuesto en cuanto a tipos de cultivos, dejando a un lado los aspectos socioeconómicos que incidieran en el uso del suelo). No siendo así es el régimen de temperatura quien marca, en lo físico, la zonificación agrícola de la región de la que se ha hablado en los apartados anteriores de este capítulo.

Otra forma de relacionar régimen térmico y pluviométrico es a través de los llamados climogramas, donde en el eje de las “x” se coloca la precipitación y en el de las “y” la temperatura, se anotan los puntos de un mismo mes y luego se unen con líneas a los subsecuentes, se obtiene así una figura dada para una estación meteorológica que difiere de cualquier otra estación. Sin embargo también encontramos semejanzas que permiten señalar las similitudes de una estación a otra, así, elaborados los climogramas respectivos del noreste de Morelos (gráficas 2.12 – 2.19) se confirma lo establecido con las gráficas ombrotérmicas, se puede observar que Achichipico, Yecapixtla y Ocuituco presentan una figura (climograma) similar; Tetela es semejante como figura pero sus temperaturas son más bajas; Ecatzingo y Huecahuaxco son similares; les sigue Alpanocan, hasta llegar a Hueyapan cuya figura es muy diferente (por temperaturas) al resto de los climogramas.

Esto lleva a reflexionar que si cualquier otra localidad de la República presenta una gráfica ombrotérmica o climograma lo más semejante al de una localidad del noreste de Morelos se podrían aconsejar la implantación de cultivos de una región a otra con probabilidades de éxito semejante, éste es un método simple y básico para recomendar cultivos.

Por otra parte dichas gráficas hacen ver que dada la naturaleza del planeta, donde cada punto de la superficie terrestre es único por su posición respecto a los elementos y factores del medio, el clima de este lugar es también único. Las clasificaciones climáticas son un artificio humano, noble si se quiere, para entender a la naturaleza.

Respecto al Método de Pronóstico de Cosechas basado en datos agrometeorológicos de la FAO, ingeniado por los investigadores M. Frére y G.G. Popov (1980), señala entre sus objetivos los siguientes:

“Su originalidad consiste en la utilización simultánea de datos reales sobre precipitaciones y de información climatológica, para el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos”. Estos dos tipos de datos se combinan para establecer el balance hídrico de los cultivos.

“Al tiempo que resulta más exacto que una comparación entre precipitación real y precipitación normal (media), el método sigue siendo suficientemente sencillo como para usarlo con facilidad, sin necesidad de equipos sofisticados. Se sirve de una cantidad mínima de datos reales y de algunas informaciones climatológicas que pueden ser reunidas antes de la fase “operativa”... Por último, el método ha sido formulado de tal manera que asegura un seguimiento cualitativo de las condiciones de los cultivos en etapas sucesivas y permite preparar evaluaciones cuantitativas de rendimiento, siempre que se disponga de suficiente información sobre rendimientos agrícolas correspondientes a las regiones consideradas. La precisión de estas evaluaciones mejorará a medida que se acerque la época de cosecha”.

En cuanto a los “principios básicos del método” su publicación misma señala que éste se basa en el balance hídrico acumulativo registrado a lo largo de la estación de crecimiento completo de un cultivo dado, establecido por períodos sucesivos de 10 días (8, 9 u 11 según el mes).

El balance hídrico que busca finalmente el método, es la diferencia entre la precipitación que ha recibido el cultivo y el agua perdida en éste y por el terreno, el agua retenida por el terreno debe ser también incluida en el cálculo. El cálculo del balance hídrico se efectúa en un formulario especial, del cual se reproduce a continuación uno (cuadro 2.17) cuyo contenido corresponde a Hueyapan, ciclo agrícola primavera-verano 1985, se utilizará aquí para ir explicando el manejo de los parámetros requeridos por el método.

Este sistema de pronóstico de cosecha fue diseñado pensando en los países subdesarrollados y particularmente en donde el agua presenta un limitante para la agricultura. Por lo tanto, el método no toma en cuenta directamente la temperatura que condiciona el crecimiento del cultivo, sin embargo, la temperatura intervendrá indirectamente de tres maneras en el balance hídrico:

1º Se notará antes que nada en la duración del ciclo de crecimiento, que por lo general depende directamente de la temperatura (esto ya ha sido señalado para el noreste de Morelos al hablar del comportamiento fenológico del maíz).

2º La temperatura del aire interviene también directamente en el cálculo de la evapotranspiración potencial, y en este sentido influye en el balance hídrico acumulativo.

3º Las temperaturas extremas pueden tener importancia en algunas zonas climáticas, especialmente por lo que se refiere a las heladas.

Por lo que respecta a la definición de variables y su concatenación para llegar al final del balance hídrico, se tiene lo siguiente:

a) *Precipitación normal* (Pn) Esta variable se refiere a la precipitación “normal” (media) por decena mensual, calculada en base a series climatológicas a largo plazo, de las estaciones escogidas.

La precipitación normal aparece como información para indicar la fecha *normal* de comienzo de la estación de las lluvias y su duración normal. Asimismo da una idea del grado de desviación de la precipitación real o actual, indicada en el renglón siguiente, respecto a la normal¹.

b) *Precipitación actual* (Pa). La precipitación actual representa la lluvia total caída en cada decena del mes. El valor de la precipitación se redondea al milímetro más cercano, eliminando las lloviznas breves que no tienen importancia para la agricultura. En el otro extremo, amplias cantidades de precipitación registradas durante la decena penetran en el terreno y aseguran la recarga del almacenamiento hídrico del suelo hasta el nivel establecido para la estación dada. Cualquier cantidad de agua penetrada en el terreno, más allá de este umbral, percolará hasta las capas más profundas del mismo y será eliminada del balance hídrico. Puesto

¹ * Como en esta investigación se quiso conocer la relación balance hídrico-rendimiento para otros años diferentes a 1985, fecha en que se aplicó el método directamente en campo, la precipitación normal se consideró mas bien como precipitación actual, por eso no aparece en su renglón aunque de hecho es la misma que la “precipitación *actual*”.

que el exceso de lluvias provoca un desequilibrio de éste, ello repercute en el rendimiento de la planta, reduciendo tres unidades al índice final por cada 100 mm que se consideraran aguas en exceso.

c) *Número de días con lluvia (da)*. La observación de la cantidad de días de lluvia en la decena permitirá comprender mejor la distribución de la lluvia durante el período. Por ejemplo, una precipitación total de 150 mm que caen en sólo uno o dos días, implicará un nivel de lluvias gravoso e ineficaz, probablemente bastante dañino para los cultivos, que la misma cantidad de lluvia caída a lo largo de ocho días, que les resultará más provechosa. Del mismo modo, una precipitación total de 30 mm que cae en un solo día puede significar una considerable sequía durante una decena, especialmente si en dos decenas sucesivas se registran dos lluvias de éste tipo, una al comienzo de la primera decena y la otra al final de la segunda.

Por esta razón, si se registra un día aislado de lluvias durante el período, se deberá indicar la fecha exacta.

d) *Evapotranspiración potencial (ETP)*. La evapotranspiración potencial, tomada como referencia para el presente trabajo, es la cantidad máxima de agua que puede ser evaporada por una capa uniforme de césped corto y compacto, cuando la previsión de agua es ilimitada, tal como la definió Penman en 1948.

Para el cálculo de la ETP Frére y Popov proponen se aplique el método de Penman pero este requiere de datos tales como: presión atmosférica, presión de vapor de agua o humedad relativa, duración de la insolación, etc., datos que en las estaciones meteorológicas del área de estudio no se pueden obtener directamente por la carencia de aparatos necesarios. Aunque en algunos casos, si se pueden calcular mediante fórmulas o tablas, cada uno de estos parámetros. Sin embargo, por éste medio los

resultados pueden ser poco confiables, por lo que mejor se recurrió al análisis de fórmulas menos complejas que la de Penman para calcular la ETP, fórmulas que no por eso dejan de ser confiables.

Aunque los mismos Frére y Popov sugieren un método de cálculo empírico (que ha dado muestras de confiabilidad) y que consiste en determinar los valores de evaporación (Ev) obtenidos con un tanque evaporímetro Pan A, los cuales se multiplican por un factor de 0.70 o de 0.75 para así obtener los valores de ETP.

Para esta investigación se consideró adecuada la fórmula de Grassi, que señala:

$$ETP = C. Ev$$

donde:

ETP, Evapotranspiración

Ev, Evaporación media en tanque Pan A

C, Coeficiente de ajuste adimensional

Fue interesante descubrir, que por ejemplo, para Yecapixtla el valor de C es de 0.75, por lo que lo aconsejado por Frére y Popov coincide con lo descubierto por Grassi.*²

e) Coeficiente del cultivo (k_c). Como se ha visto en los párrafos anteriores, la ETP se produce en una capa tupida de vegetación corta, durante el período de crecimiento completo. Sin embargo, los cultivos, especialmente los anuales, atraviesan numerosos períodos desde el nacimiento hasta la madurez.

Estos períodos pueden ser considerados como las etapas fenológicas, pero también, de un modo convencional, Frére y Popov consideran tres períodos.

El primer período de la vegetación comienza con el nacimiento de la planta y va hasta la aparición de los órganos de reproducción (espiguillas en caso del maíz). Durante este período la evapotranspiración real máxima de cultivo es una fracción de la evapotranspiración potencial de referencia.

Ésta fracción, que aumenta desde 0.3 en el momento del nacimiento hasta 0.9 – 1.0 en el período de espigamiento, es el coeficiente del cultivo.

² * Para mayores detalles acerca de la fórmula de Grassi y otros más referentes a la obtención de índices que determinan las variables del método de balance hídrico, se puede consultar a Zaldívar (1987)

El segundo período se caracteriza por una capa compacta y uniforme del cultivo y abarca un lapso desde 20 días antes hasta aproximadamente 30 días después de la floración. Durante este lapso, el coeficiente del cultivo es caracterizado por valores de 1.0 o incluso levemente superiores hasta 1.1 o 1.2.

El tercer período principal de desarrollo del cultivo comienza con la formación del grano. Durante éste período el grano se desarrollará y madurará, mientras que el aparato vegetativo se irá marchitando. Las exigencias de agua de cultivo disminuirán de 0.9 hasta alrededor de 0.4 – 0.5 en el momento de la madurez.

Para calcular ésta variable existen varias fórmulas empíricas de diferentes autores, por lo que se tuvieron que analizar algunas que cita Ortiz Solorio (1984), entre las menos complejas que se compararon están la de Hargreaves, Grassi y Palacios; se optó por la Grassi para mantener un mismo criterio de trabajo. Dicha fórmula es la siguiente:

$$Kc = 0.04053 + 0.03089C - 0.000237C^2$$

donde:

Kc , Coeficiente del cultivo

C , representa la edad del cultivo en por ciento

Para calcular C se procedió de la siguiente forma:

1º Según el período habitual de siembra y cosecha se obtuvo el número de días del ciclo vegetativo del cultivo, por ejemplo: para Yecapixtla fue de 178 días.

2º Conocido el período vegetativo (178 días) y los días que llevaba el cultivo de sembrado a una fecha determinada, 82 días, por ejemplo, se obtuvo “C” de la siguiente forma:

Si se sembró el 11 de julio se desea conocer la edad del cultivo para el 31 de agosto, se cuentan los días que hay del 11 al 31 de los respectivos meses (82 días) y se hace la siguiente operación:

$$C = \frac{82}{178} \times 100 = 46\%$$

Por lo tanto, la edad del cultivo al 31 de agosto fue del 46%.

Las gráficas 2.20 – 2.22 muestran el coeficiente del cultivo del maíz en tres localidades del noreste de Morelos.

f) *Necesidades hídricas del cultivo* (NH). Para determinar las necesidades hídricas del cultivo, se multiplica la evapotranspiración potencial correspondiente a la decena, por el coeficiente del cultivo de dicha decena. Y así sucesivamente por decena hasta el final del período vegetativo con el objeto de efectuar la suma y obtener el total de las necesidades hídricas (NH).

g) *Diferencia entre precipitación actual y necesidades hídricas del cultivo (Pa - NH)*. Indica la cantidad de agua disponible para los cultivos, sin tener en cuenta el agua almacenada en el terreno que se tratará en el siguiente inciso. En base a esto las necesidades hídricas pueden variar de acuerdo con el período de desarrollo del cultivo.

h) *Reservas hídricas del suelo (Rs)*. Se refiere a la cantidad de agua almacenada en el suelo que puede ser inmediatamente aprovechada por el cultivo. En otras palabras es la reserva hídrica entre la capacidad de campo del suelo y el coeficiente de marchitez.

Las características físicas del suelo influirán también en la capacidad de retener el agua, a igual profundidad del mismo. La proporción de arcillas y suelos de arena gruesa hace que la retención hídrica de éstos, por unidad de profundidad sea diferente. Por ejemplo: “una capa de 50 cm. De suelo arenoso retendrá probablemente menos de 30 mm de agua disponible, mientras que la misma profundidad de arcilla puede retener de 60 a 80 mm” Frére y Popov (1980).

Considerando la premisa anterior los autores citados han convenido que como “en los primeros estadios de crecimiento el kc de los cultivos es relativamente pequeño, la disponibilidad de agua existente en el suelo será suficiente, por lo tanto se ha considerado una cantidad fija de agua almacenada de 30 mm.” Es decir, cuando el suelo dispone de esta lámina mínima de agua se puede sembrar.

A las reservas hídricas del suelo también es apropiado llamarlas “capacidad de almacenamiento de agua del suelo” (CA), este valor se calculó para las localidades del área utilizando la fórmula de Aguilera (1980).

Para satisfacer los datos que la fórmula requiere se utilizaron los estudios agrológicos respectivos de los que se obtuvieron los valores de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente, ello gracias a la Subdirección de Agrología en Morelos. La fórmula de Aguilera es la siguiente:

$$L = (P_{Sc} - P_{s\ pmp}) D_a \cdot P_r$$

donde:

L, Lámina de retención máxima en cm, igual a R_s o C_a .

$P_{s\ cc}$, Porcentaje de humedad a capacidad de campo

$P_{s\ pmp}$, Porcentaje de humedad a punto de marchitez permanente

D_a , Densidad aparente

P_r , Profundidad radicular en cm.

i) Exceso y déficit hídrico (E/D). Este renglón indica el exceso y déficit (señalados con signo menos) referidos en la capacidad de almacenamiento hídrico del suelo. El exceso se refiere a toda cantidad de agua que supera un determinado nivel de almacenamiento.

El déficit se refiere a toda necesidad de agua que supere por debajo del nivel cero del almacenamiento hídrico. Es decir, “si la diferencia entre la lámina precipitada y las necesidades hídricas ($P_a - N_H$) resulta negativa, se considera que la planta tomará agua de las reservas del suelo, pero cuando no hay ($R_s=0$), entonces quedará un resultado negativo (déficit)”, Torres Ruíz (1983).

j) Índice (I). El llamado índice agrometeorológico, señala en porcentaje, la amplitud con que se satisfacen las exigencias hídricas del cultivo, según el cálculo acumulativo de cada diez días a todo lo largo del período vegetativo.

El índice se calcula de la siguiente forma: se supone que al comienzo del ciclo de crecimiento la siembra tiene lugar cuando la disponibilidad de agua en el terreno es de por lo menos 30 mm (según el método), entonces se considera que el índice tiene un valor de 100 y permanece en 100 para las decenas sucesivas, hasta que en el renglón de exceso y déficit (E/D) aparezca un exceso por encima de la capacidad de almacenamiento (CA), o bien un déficit.

Ahora bien si durante una decena se produce un exceso que supere la capacidad de almacenamiento se le restan tres unidades al índice, y queda en 97 y así permanece hasta que se produzca un nuevo período crítico que bien podría ser el caso contrario, es decir, que se presente un déficit. Así se tendrá que si después de dos decenas las reservas hídricas descienden hasta cero y además se presentara, por ejemplo, un déficit de -20 mm para una decena determinada, el índice será de 92 ya que las necesidades hídricas totales de 400 mm vieron afectado su valor de 97 a 92, este nuevo valor se calcula del siguiente modo:

Se divide -20 mm entre el total de las necesidades hídricas que fueron para este caso 400 mm y el resultado se multiplicó por 100, el resultado indica en que porcentaje las necesidades hídricas del cultivo no fueron satisfechas y a la vez cuantas unidades se le restaron al índice.

Es el caso:

$$\frac{-20}{400} \times 100 = -5\% \text{ luego } 97-5=92\%$$

El procedimiento del cálculo se repite cuantas veces lo amerite una decena, teniendo en cuenta que el índice comienza en 100 y de ahí en adelante puede permanecer igual o disminuir, una vez afectado el índice no podrá volver a tener un resultado mayor al obtenido.

Al final de la estación de crecimiento, el índice agrometeorológico reflejará el esfuerzo acumulativo soportado por el cultivo a través de los excesos y déficits de agua. Y por lo general éste índice tiene estrecha relación con el rendimiento final del cultivo, al menos que algunos elementos perjudiciales, que no toma en cuenta el método, se hayan presentado durante el crecimiento del mismo, como fuertes vientos, plagas o inundaciones entre otros.

Como ya menciono hacía el principio el método se aplicó con los datos de precipitación media como si hubiese sido la real o actual para años anteriores a 1985, los resultados que se pudieron obtener por contar con información, se encuentran en el cuadro 2.18 de donde se observa claramente que no hay, usando el método así, una relación directa entre el índice y los rendimientos.

Cuadro 2.18 Rendimiento tonelada/hectárea de maíz de temporal contra índice agrometeorológico para Yecapixtla, Ocuituco y Tetela, 1975-1983.

Yecapixtla		Ocuituco		Tetela del Volcán	
Año Rend.	Índice	Rend	Índice	Rend	Índice
t/ha		t/ha		t/ha	
1975 1.94	100	3.65	-----	1.80	100
1976 1.64	100	3.41	-----	1.63	85
1977 1.81	97	0.76	-----	0.72	100
1978 2.10	100	-----	-----	-----	-----
1979 1.28	100	-----	-----	-----	-----
1980 0.71	100	-----	-----	-----	-----
1981 2.68	91	2.68	97	-----	-----
1982 -----	----	0.51	100	-----	-----
1983 0.43	----	0.50	94	-----	-----

Analizando la situación se consideró que el método no toma en cuenta los períodos críticos del cultivo; que la efectividad de la lluvia, por tanto, varía de una época de crecimiento a otra, con lo cual un exceso o un déficit no debe bajar siempre el índice en una proporción constante.

Así, considerando que el maíz presenta un período crítico, como lo señala Wilsie, respecto al agua cuatro semanas antes del espigamiento; se ideó correlacionar la precipitación durante ese período. Por otra parte, con el rendimiento y por otra la precipitación total con el rendimiento, se empleó la fórmula de la recta para obtener dicha correlación, para corroborar los resultados anteriores se estableció un coeficiente de correlación (r) y un coeficiente de determinación (r^2).

Los valores obtenidos se muestran en el cuadro 2.19

Cuadro 2.19 Resultados de ecuaciones de regresión que relacionan precipitación contra rendimiento.

Estación	Precipitación total de las 4 semanas anteriores al espigamiento contra rendimiento.	Precipitación total desde la siembra hasta el espigamiento contra rendimiento.
Yecapixtla	$r = 0.9971$ $r^2 = 0.9942$	$r = 0.9837$ $r^2 = 0.9676$
Ocuituco	$r = 0.9918$ $r^2 = 0.9836$	$r = 0.9430$ $r^2 = 0.8893$
Tetela	$r = 0.9886$ $r^2 = 0.9774$	$r = 0.9886$ $r^2 = 0.9774$

Como se podrá apreciar el uso de ecuaciones de regresión (r) y coeficiente de determinación (r^2) explican casi en un 100% la variación de los rendimientos en Yecapixtla y Ocuituco en base a la lluvia de las 4 semanas precedentes al espigamiento.

Lo anterior corrobora la importancia de los períodos críticos en el desarrollo de los cultivos y nos hace reflexionar acerca de la aplicación del método de manera indirecta.

Por otra parte en la *aplicación directa* el valor del índice siempre correspondió a las expectativas de la cosecha, en Yecapixtla a un índice de 100 correspondieron 2.6 ton/ha, en Ocuituco a igual índice correspondió 2.185 ton/ha y en Hueyapan en iguales condiciones el rendimiento fue de 2.171 ton/ha.

La fig. 2.2 muestra los requerimientos de calor e hídricos del maíz en 4 localidades del noreste de Morelos, si se promedia las necesidades hídricas del maíz en la región obtenemos que son necesarios 378 mm de agua para satisfacer las necesidades del cultivo, mientras que el promedio de lluvia en la región es de 992 mm *para el ciclo vegetativo solamente*, lo que quiere decir, al menos teóricamente, que hay un sobrante de 614 mm, o sea que poco más de la tercera parte del agua del temporal tan solo se aprovecha por el maíz.

El sorgo en otras partes aledañas de Morelos, según Terrones (1985) requiere entre 332 y 337 mm, poco menos que el maíz, con lo que se puede concluir que hay agua en exceso en el noreste de Morelos y altas capacidades de almacenamiento en el suelo, lo que lleva a considerar que debe plantearse un mejor aprovechamiento del vital líquido. Los campesinos de la región han pedido en repetidas ocasiones que se les dote de riego y se les ha dicho que no hay posibilidades para ello, aquí se aprecia que no hay razones climáticas que impidan la creación de sistemas de riego que permitan el establecimiento de siembras otoño-invierno y otro uso de suelo en general que beneficie a la población de la región.

HUEYAPAN, MOR.

BALANCE HÍDRICO DE LA FAO.

MAÍZ CRIOLLO DE TEMPORAL, CICLO PRIMAVERA-VERANO, 1985.

Mes	Abril			Mayo			Junio			Julio			Agosto			Septiembre			Octubre			Noviembre			Diciembre		
Variable/decena	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Pn (mm)	6	8	13	20	29	51	62	80	102	99	99	103	80	70	65	88	93	82	25	16	12	12	11	6	1	0	2
Pa (mm)	9	28	0	22	60	21	97	92	113	43	119	96	60	67	66	66	44	80	35	23	19	0	0	21	0	0	6
da	3	9	0	3	2	3	6	8	8	5	9	8	6	6	6	4	5	8	2	4	4	0	0	2	0	0	1
ETP	51	48	47	46	40	32	28	22	22	21	23	27	28	22	23	17	17	18	14	13	20	14	15	14	12	12	12
Kc	.08	.08	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.8	0.7
NH (mm)	4	4	9	14	16	16	17	15	15	17	21	24	25	22	23	17	17	20	14	13	20	14	15	13	11	10	8
Pa-NH	5	24	-9	8	44	5	80	77	98	26	98	72	35	45	43	49	27	60	21	10	-1	-14	-15	8	-11	-10	-2
Rs	5	29	20	28	72	77	157	234	332	358	456	465	465	465	465	465	465	465	465	465	464	450	435	443	432	422	420
E/D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	63	35	45	43	49	27	60	21	10	0	0	0	0	0	0	0
I (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	97	94	91	88	85	82	79	76	73	73	73	73	73	73	73	73

↑ Siembra ↑ Nacencia ↑ Amacollamiento ↑ Inicio Espigamiento ↑ Pleno Espigamiento ↑ Jiloteo (grano lechoso) ↑ Cosecha

Variables:

Pn, Precipitación media

Pa, Precipitación actual

da, días con lluvia

ETP, Evapotranspiración potencial

Kc, Coeficiente de cultivo

NH, Necesidades hídricas

Rs, Reserva de agua en el suelo

E/D, Exceso o deficiencia de agua

I, Índice meteorológico

C.A., Capacidad de almacenamiento: 465 mm

N.H. total: 409 mm

Pn: 1,240 mm

Pa (1985): 1,187 mm

