

G E R M E N

Boletín de Intercambio Técnico y Científico de la Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C.

Este boletín se distribuye gratuitamente a los socios que están al corriente de sus cuotas. Otras personas interesadas en adquirirlo pueden consultar el costo de cada ejemplar con la Secretaría Ejecutiva (Apdo. Postal No. 21, CP 56230 Chapingo, México).

Las contribuciones destinadas a G E R M E N deberán respetar el formato y las normas publicadas en Germen 7: 1-7. 1988.

DIRECTIVA 1988 - 1990

| | |
|------------------------------|---|
| Presidente | Dr. Victor A. González Hernández |
| Secretario | Dr. Manuel Livera Muñoz |
| Tesorero | Dr. Rafael Ortega Paczka |
| Vocal Genética Básica | Dra. Guadalupe Palomino Hasbach |
| Vocal Genotecnia | Dr. Arturo Palomo Gil |
| Vocal Enseñanza | M.C. Ma. Elena García Hernández (desde octubre 1989) |
| Vocal Producción de Semillas | M.C. Juan Molina Moreno |

COMITE EDITORIAL

Dr. Leopoldo E. Mendoza Onofre
(Coordinador)

| | |
|--|---|
| Dr. José Luis Rodríguez Ontiveros (Vocal) | Dr. Fernando Castillo González (Vocal) |
|--|---|

SECRETARIA EJECUTIVA

Laura Elena González (hasta junio 1989)
Guillermina Agustín M. (desde julio 1989)

Editor de Germen: Dr. Eulogio Pimienta Barrios (hasta marzo 1989).

EDITORIAL

Es evidente la necesidad de incrementar la producción y el rendimiento de los diversos y numerosos cultivos agrícolas de importancia económica en México, entre los cuales el maíz es uno de los más destacados. Frecuentemente el maíz es tema de artículos en publicaciones de la SOMEFI, donde se abordan tanto aspectos de su mejoramiento genético como de prácticas culturales, en las que se manifiesta la variabilidad de las respuestas de los genotipos. Sin dejar de reconocer la importancia de los demás factores ambientales, no cabe duda que la producción del maíz depende directamente de los factores climáticos y, por tanto, los agrónomos debemos conocer lo más posible acerca de estos factores.

Es afortunado que en cada vez mayor número de instituciones educativas se estén desarrollando cursos de licenciatura y postgrado relacionados con aspectos climáticos y su efecto en la agricultura (como climatología, agroclimatología y fenología agrícolas). Entre otros objetivos, en tales cursos se enfatiza la importancia de estudiar los factores climáticos a corto, mediano y largo plazo, de manera tal que se puedan explicar los niveles de rendimiento actuales y potenciales de una región agrícola dada; proporcionar elementos de juicio para corregir o reducir, mediante prácticas agrícolas apropiadas, los factores limitantes controlables; y crear conciencia de la necesidad de mantener un archivo de información climatológica, confiable y oportuna, al menos en nuestras principales áreas agrícolas.

Estas y otras razones indujeron al Comité Editorial de la SOMEFI a publicar la traducción al español del Capítulo X del libro Corn and Corn Improvement, publicado por la American Society of Agronomy. La traducción fue inicialmente realizada por los socios Maximino Luna Flores y Raúl Wong Romero, la cual fue corregida por el M.C. Porfirio Ramírez Vallejo quien fungía en ese entonces como Editor de la Revista Germen. Como toda traducción, se procuró ser fiel a la versión original y el suscrito revisó y modificó algunos conceptos procurando evitar las traducciones literales. Por razones de edición no fue factible incorporar en esta traducción a la Figura 1 de la versión original, lo cual no altera significativamente el contenido.

Por último, se agradece al Dr. David M. Kral, Vice-presidente Ejecutivo de la Sociedad de Agronomía de los Estados Unidos de América, en 1982, por haber autorizado la traducción del capítulo de referencia.

Dr. Leopoldo E. Mendoza Onofre
Coordinador del Comité Editorial
S O M E F I

EL CULTIVO DE MAIZ: REQUERIMIENTOS CLIMATICOS¹

Robert H. Shaw²

El maíz, debido a sus muy diversos tipos, crece en una amplia gama de condiciones climáticas. Algunos cultivares crecen muy poco, otros llegan a medir de 6 a 8 m de altura; algunos requieren de 60 a 70 días después de la emergencia para alcanzar la madurez de grano, otros requieren de 10 a 11 meses. No obstante esta variación en las características, los rasgos generales de las principales áreas de producción pueden ser caracterizados y, para áreas particulares, pueden mostrarse relaciones ambientales muy específicas.

EL CLIMA Y LA PRODUCCION DE MAIZ EN EL MUNDO

Varios investigadores han intentado definir las condiciones climáticas que limitan la producción de maíz (Finch y Baker, 1917; Jenkins, 1941; Klages, 1942; Wallace y Bressman, 1937; Ward, 1919). Antes de intentar definir las en este escrito, es necesario hacer un examen de las áreas donde se produce maíz.

El grueso de la producción mundial de maíz se obtiene entre las latitudes 30° y 55° con relativamente pocas áreas en latitudes superiores a 47° (Guidray, s/f). Casi la mitad de la producción mundial se obtiene en Estados Unidos (USDA, Foreign Agric. Serv., 1973). Solamente en dos áreas se producen cantidades significativas de maíz fuera de esas latitudes: Brasil y México. La producción en Brasil se localiza a solamente unos cuantos grados de la latitud de 30°, mientras que la mayoría de la producción en México se obtiene a altitudes de miles de metros sobre el nivel del mar.

En la primera edición de esta monografía, las áreas productoras de maíz se definieron de acuerdo a la clasificación climática de Koppen (Koppen, 1931). Debido a que el límite de Koppen entre los climas de humedad mesotermal y los de

¹ Traducción realizada por el Dr. Maximino Luna Flores y el M.C. Raúl Wong Romero del Capítulo 10 "Climatic Requirement" del libro CORN AND CORN IMPROVEMENT, Monografía No. 18 de la American Society of Agronomy (ASA), págs. 591-623, 1977. Se publica con autorización de la ASA, según comunicación del 16 de abril de 1982. Versión inicialmente revisada por el M.C. Porfirio Ramírez Vallejo, editor de la Revista Germen (1984-1986) de la Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. y corregida por el Dr. Leopoldo E. Mendoza Onofre, Coordinador del Comité Editorial (1986-1988, 1988-1990).

² Profesor de Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A.

humedad microtermal pasa por la mitad de la "Faja Maicera" de Estados Unidos, una clasificación que abarque, en lugar de separar la Faja Maicera, parece ser más apropiada. Trewartha (1968) proporciona tal clasificación. Su zona climática continental templada, con 4 a 7 meses arriba de 10°C y con un verano caluroso (el mes más caluroso arriba de 22.2°C), coincide muy de cerca con los límites de la Faja Maicera. El valor de 10°C marca el comienzo del crecimiento activo de varias especies de plantas. La llamada Faja Algodonera se ubica en la clasificación subtropical, promediando más de 10°C cuando menos en ocho meses. Un muy alto porcentaje del maíz se produce dentro de estas dos zonas climáticas. Según la clasificación de Trewartha, el clima típico para maíz es templado o subtropical continental, a una transición de clima continental marino, con un período libre de heladas relativamente amplio. Las únicas áreas significativas no incluidas serían las áreas tropicales y algunas contiguas de clima más seco que los climas típicos. El maíz prospera en climas de pradera y de bosque, pero en ausencia de riego la producción es limitada en las áreas más secas donde la vegetación nativa era pasto corto.

Papadakis (1966) desarrolló una clasificación de climas con 10 grupos climáticos principales. En esta clasificación hay dos subdivisiones que incluyen la Faja Maicera: una la zona Este y otra la Oeste, con la línea divisoria al Este de Iowa. El ha discutido también las ventajas y limitaciones de cada subdivisión para cada uno de varios cultivos incluyendo al maíz (Papadakis, 1970). Su estudio muestra muy pocas áreas en el mundo con clima comparable al de la Faja Maicera. Berbecel y Rogojan (1962) han desarrollado un mapa para Rumania que muestra la relativa bondad de diferentes áreas para la producción de maíz.

El maíz tiene un límite de frío. Este límite es una combinación de temperatura fría y del período libre de heladas. El maíz prácticamente no se cultiva donde la temperatura media en verano es menor de 19°C o donde la temperatura media de la noche en los meses de verano es inferior a 13°C . La mayor producción se obtiene donde las isotermas del mes más caluroso oscilan entre 21 y 27°C y el período libre de heladas es de 120 a 180 días. En tales regiones, los rendimientos generalmente son más altos cuando durante el verano las temperaturas son inferiores a las normales que con temperaturas superiores. Parece no haber una temperatura límite superior específica para la producción de maíz, pero los rendimientos normalmente decrecen con temperaturas más altas. Aunque al maíz generalmente se le conoce como un cultivo de ambiente cálido, no lo es tanto.

El maíz se cultiva en áreas donde la precipitación anual oscila desde 25 a más de 50 cm. Haise (1958) obtuvo valores de uso consuntivo de 42 a 54 cm en las Dakotas. Doss *et al.* (1962) indicaron que el uso consuntivo promedio fue cercano a 49 cm en Alabama y varió de 45 a 56 cm. Vázquez (1961) encontró un valor de uso consuntivo de 47 cm para un período de 125 días en Puerto Rico. La variación del uso consuntivo para maíz ordinariamente es de 41 a 64 cm (Hanway, 1966), pero se han mencionado cantidades tan bajas como 30 cm y tan altas como 84 cm (Robins y Rhoades, 1958).

Cuando los climas templados y subtropicales se mezclan dentro de climas este paríos más secos, las demandas de humedad del maíz exceden a la humedad disponible y el trigo (*Triticum aestivum* L.) y la cebada (*Hordeum vulgare* L.) se convierten en los cultivos importantes. Cuando el maíz se cultiva en una región de este pa, los rendimientos fluctúan ampliamente con las variaciones extremas de la lluvia. Esto ocurre principalmente en áreas de los Estados Unidos, Argentina, Sudáfrica y la Unión Soviética.

Una precipitación de verano de 15 cm está cerca del límite más bajo para la producción de maíz sin riego, pero las respuestas del rendimiento bajo riego se obtienen con mayor precipitación de verano, dependiendo esta respuesta de la distribución de la lluvia y de las reservas de humedad del suelo. Vázquez (1961) no obtuvo respuesta al riego cuando 51 cm de lluvia se distribuyeron bien a través del período de crecimiento. Parece no haber un límite superior de lluvia bajo el cual el maíz no prospere, pero la lluvia excesiva disminuirá los rendimientos.

ETAPAS DE CRECIMIENTO Y DE DESARROLLO

Hershey (1934) y Paddick (1944) dividieron el desarrollo de la planta del maíz en cinco etapas, cada una con su propia relación con el rendimiento final. Shaw y Loomis (1950) también dividieron el desarrollo del maíz en cinco etapas. Hanway (1971) propuso un sistema de desarrollo de 10 etapas, el cual varía de 0 cuando el ápice de la plántula emerge del suelo, a 10 cuando la planta está físicamente madura. En la siguiente discusión se emplearán siete etapas, las que serán referidas en términos de las etapas de Hanway (Fig. 1).

1. Antes de la siembra
2. De la siembra a la emergencia (desde la siembra hasta la etapa 0)
3. El crecimiento vegetativo temprano, a partir de la emergencia hasta la diferenciación de la flor (etapas 0 a 2.5-3)

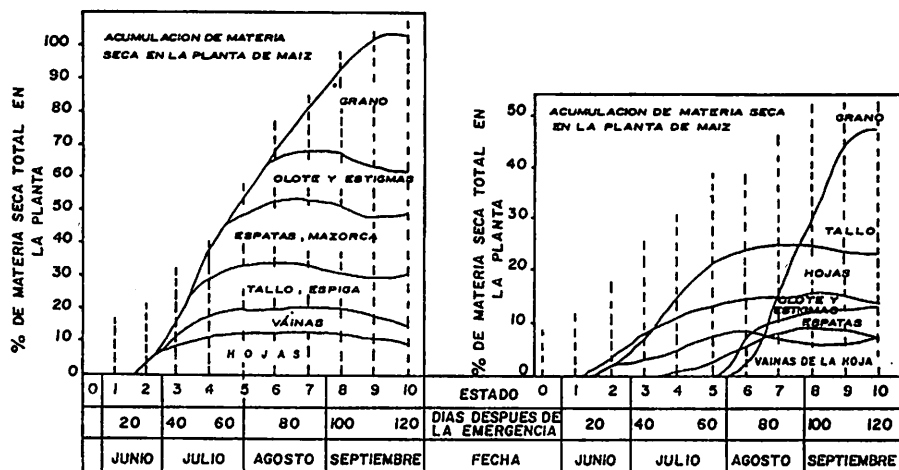


Figura 1. Acumulación de materia seca en varias etapas de desarrollo del maíz (Hanway, 1971)

4. Crecimiento vegetativo tardío, desde aproximadamente el inicio de la elongación rápida del tallo (la altura de la planta es cercana a 50 cm) hasta el espigamiento. La punta de la espiga (panoja o panícula¹) emerge (etapas 2.5-3 a 4).
5. Floraciones masculina y femenina y polinización (etapas 4 a 5)
6. Producción de grano a partir de la fecundación a la madurez fisiológica del grano (etapas 6 a 10)
7. Madurez o secado del grano

Durante el período muy temprano del crecimiento (cerca de dos semanas), el punto de crecimiento de la planta de maíz está abajo de la superficie del suelo.

¹ Nota del traductor.

Bajo condiciones favorables, el tallo completo y la espiga diferenciada se forman bajo el suelo en aproximadamente dos semanas después de la emergencia de la plántula (Klesselbach, 1949). En la etapa 1.5, el punto de crecimiento está en la superficie del suelo. El período hasta la etapa 3 incluye el estado de plántula y el crecimiento foliar inicial hasta la quinta o sexta semana después de la emergencia. Al final del período, las plantas tienen el máximo número de hojas; los haces vasculares y los óvulos en el saco embrionario de la que será la mazorca principal están ya determinados. Las potencialidades de la planta son establecidas durante la etapa 3 (mayo y parte de junio en la Faja Maicera) y este período es de considerable importancia teórica en la predicción del rendimiento. Sin embargo, el clima en la Faja Maicera y probablemente en la mayoría de las áreas donde se cultiva maíz, rara vez es limitante durante este período, excepto que afecte el establecimiento de la densidad de siembra, y la fertilidad del suelo entonces se convierte en un factor principal. Hay evidencia de que aun una ligera tensión por agua puede reducir la tasa de aparición del primordio floral. El trabajo de Nicholls y May (1963) en cebada ha mostrado que si la tensión es moderada y el período de tensión es relativamente breve, la tasa de iniciación del primordio una vez que la tensión desaparece, es más rápida que en las plantas no sometidas a tensión y el número total de espiguillas formadas puede no ser afectado. Debido a que la planta de maíz rara vez alcanza su máximo potencial bajo condiciones de campo y posee amplia capacidad para recobrase después de tensiones en las etapas tempranas, los rendimientos no pueden ser predichos con seguridad a partir de observaciones en esas etapas.

Durante la etapa 3 a la 4, el área foliar de la planta alcanza su total desarrollo y la punta de la espiga emerge al final de la etapa 4. Los entrenudos superiores del tallo se están elongando rápidamente y, al final, una o dos mazorcas están en proceso de alargamiento y elongación rápida. La altura máxima y el diámetro del tallo, así como el área foliar máxima, pueden alcanzarse al final de la etapa cuatro.

En la etapa 5 ocurren las floraciones masculinas y femenina y la polinización; es una etapa crítica en la planta del maíz. El número de óvulos que serán fecundados está siendo determinado. Tanto la tensión por humedad como por fertilidad pueden reducir drásticamente los rendimientos. En la Faja Maicera, esta etapa ocurre, en promedio, a finales de julio.

Las dos primeras semanas del período de producción de grano son una etapa de

rápido crecimiento del vástago de la mazorca, las espatas, los olotes y los granos jóvenes. El olote casi ha alcanzado su tamaño completo, pero el grano ha acumulado poco peso. De la etapa 5.5 a la 8.5 hay un rápido incremento del peso de grano. En un lapso cercano a 5 semanas puede producirse casi el 85% del peso seco de grano (Hanway, 1966; Shaw y Loomis, 1950). En la etapa 10, la madurez fisiológica ha sido alcanzada, es decir, se ha llegado al máximo peso de materia seca de grano (Daynard y Duncan, 1969; Rensch y Shaw, 1971). Para la mayoría de las variedades de la Faja Maicera, la duración promedio desde la floración femenina a la madurez fisiológica es de 50 a 60 días, pero varía con el cultivar, la fecha de siembra, la localidad y la nutrición (Peaslee *et al.*, 1971; Rensch, 1973). Berbecel y Eftimescu (1972) encontraron que el período de la floración masculina a la madurez osciló de 60 a 62 días para varios cultivares sembrados en Rumania.

Después de que se alcanza la madurez fisiológica, el grano necesita secarse lo suficiente para poderse cosechar. La longitud de este período variará con la variedad, las condiciones ambientales y los métodos de cosecha.

CONCEPTO DE TENSION POR HUMEDAD

Al discutir los efectos de varios factores climáticos sobre el crecimiento y rendimiento del maíz, se necesita entender cómo afectan esos factores al abastecimiento de humedad a la planta. El concepto actual de humedad aprovechable del suelo reconoce la importancia de la cantidad de humedad en el suelo, la textura del suelo (la humedad en arena tiende a ser más aprovechable que la humedad en arcilla), y la demanda atmosférica de agua. Se han propuesto varios conceptos diferentes de la humedad aprovechable del suelo a través de los años (Halstead, 1954; Pierce, 1958; Thornthwaite y Mather, 1955; Veihmeyer y Hendrickson, 1955). Aunque las relaciones propuestas en forma individual parecen diferir, todas ellas se basan en el concepto teórico de Phillip (1957) y Gardner (1960), el cual incluye los factores mencionados previamente. La evaluación del efecto de los factores ambientales sobre la humedad aprovechable debe usar este concepto. Esto puede ser explicado analizando la Figura 2. Discusiones más detalladas de las relaciones de la humedad están en Shaw y Burrows (1966) y Shaw y Laing (1966). La Figura 2 muestra la relación entre la humedad contenida en el suelo y la transpiración, para tres diferentes tipos de demanda diaria de plantas de maíz cultivadas en macetas grandes. En un día despejado, seco, con alta demanda atmosférica, solamente aquellas plantas en macetas con un alto contenido de humedad edáfica serán capaces de cubrir la demanda. En un día

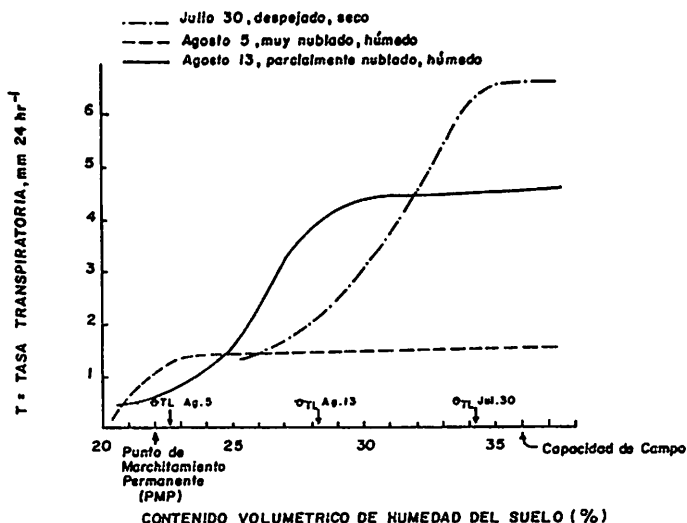


Figura 2. Transpiración diaria en tres días diferentes en función de la humedad del suelo (Denmead y Shaw, 1962)

nublado y húmedo, la demanda fue satisfecha a niveles de humedad del suelo muy cercanos al punto de marchitamiento. Los puntos θ_{TL} muestran la humedad que requirió la planta para cubrir la demanda para ese día particular. En un suelo con más bajo contenido de humedad que ese valor, la planta está bajo algún grado de tensión. El punto de tensión varía con el ambiente y las relaciones mostradas varían con los diferentes tipos de suelo. El uso de varios factores complica la explicación del suministro de agua, pero son necesarios si los problemas de tensión por humedad se van a evaluar cuantitativamente.

La demanda atmosférica por agua es una función de la energía aprovechable (radiación solar), el movimiento de humedad a partir de la superficie evaporativa (viento), la sequedad de la atmósfera (humedad relativa) y la temperatura del aire. La temperatura por sí sola no afecta la evaporación directamente, excepto cuando afecta la superficie de evaporación, pero sí afecta la sequedad de la atmósfera variando su capacidad para retener agua. La radiación usualmente es considerada el factor principal en el control de la demanda atmosférica.

La tensión por humedad interrumpe la fotosíntesis y controla el crecimiento

hasta que el turgor es restaurado al eliminar la tensión por humedad (De Jager, 1968; Vaadia *et al.*, 1961). Boyer (1970) encontró que la inhibición de la fotosíntesis en plantas de maíz de 4 a 5 semanas de edad, comenzó en potenciales hídricos foliares más altos en maíz que en soya (*Glycine max* L. Merr.); es decir, el maíz fue menos capaz de resistir condiciones severas de desecación pero tuvo una mayor tasa de fotosíntesis durante la desecación. La turgidez relativa de las hojas ha sido usada para mostrar el efecto de la tensión sobre la fotosíntesis. Barners y Woolley (1969) encontraron que la planta de maíz está bajo tensión cuando la turgidez relativa de la hoja superior es menor del 90%. Downey (1971 c) encontró casi el mismo nivel crítico, y observó que la fotosíntesis relativa neta fue cercana a cero con una turgidez relativa cercana a 70%. Los datos de Shaw y Laing (1966), en soya, muestran una relación similar.

Dale y Shaw (1975), Corsi y Shaw (1971) y Shaw y Felch (1972) han desarrollado un índice de tensión basado en el balance diario entre la humedad del suelo y la demanda atmosférica, como se muestra en la Fig. 2. Dale y Shaw (1965) consideraron cualquier día con una reducción en evapotranspiración a partir de la tasa potencial como un día de tensión. La correlación más alta con rendimiento se encontró para el período de seis semanas a tres semanas después de la floración. En las últimas referencias la reducción en evapotranspiración real a partir de la evapotranspiración potencial (no tensión por humedad) es la base para el índice. Por ejemplo, si la evapotranspiración actual para un día fue estimada como 0.20, pero la evapotranspiración potencial fue 0.30, el índice de tensión para ese día sería $1 - 0.20/0.30 = 0.33$. Este índice, acumulado para el período del 27 de junio al 31 de agosto, ha mostrado una alta correlación con los rendimientos de maíz.

El agua para el cultivo de maíz puede provenir de la precipitación durante el período de cultivo, de humedad almacenada antes de la siembra, o de riego. Pequeñas cantidades pueden provenir del rocío. Power *et al.* (1973) encontraron que dentro del rango que ellos estudiaron, todas las fuentes fueron efectivas para aumentar la producción del cultivo. La precipitación, como una variable relacionada con el crecimiento y rendimiento del maíz, es solamente buena si estima la humedad aprovechable del suelo; de hecho, solamente es buena cuando estima el estado de humedad de la planta. Si se usan de 50 a 64 cm de agua para producir un alto rendimiento de maíz, casi la mitad de ésta puede ser almacenada al comienzo de la estación en un buen suelo que tenga una capacidad de humedad aprovechable de 5 cm/30 cm y si las raíces del cultivo llegan a una profundidad de 152 cm. En la Faja Maicera, las reservas de humedad del suelo al inicio de la etapa de crecimiento va-

rían considerablemente. La situación normal es tener reservas de humedad desde adecuadas hasta excesivas en la parte Este de la Faja Maicera y reservas adecuadas a deficientes en la parte Oeste. En Iowa, Shaw *et al.* (1972) encontraron que el promedio de agua aprovechable del suelo por la planta en los 152 cm superiores del perfil, el 15 de abril, osciló de más de 25 cm en el Este y Sureste de Iowa, a menos de 12.5 cm en el Noroeste de Iowa. La cantidad de precipitación requerida en la estación de crecimiento está estrechamente relacionada con estas reservas.

El uso del agua varía con la etapa de desarrollo del cultivo de maíz. Al principio de la estación de crecimiento la pérdida es principalmente debida a la evaporación del suelo descubierto. Cuando la cobertura del cultivo se incrementa, la transpiración se vuelve un factor cada vez más dominante. Denmead y Shaw (1959) encontraron la relación entre la evapotranspiración y evaporación de un tanque-abierto clase A, que se muestra en la Fig. 3. Esta relación es similar a la mencionada por Cackett y Metelerkamp (1964), Downey (1971 b), y Mallet (1972), quienes encontraron relaciones máximas que variaron de 0.75 a 1.0. Ritchie y Burnett (1971) encontraron que fueron necesarios índices de área foliar de 2.7 en algodón y sorgo (*Sorghum bicolor* L.), para alcanzar una relación evaporación-transpiración de 90% de la evaporación potencial cuando la evaporación del suelo fue pequeña.

Shaw *et al.* (1958) encontraron un uso de agua promedio para el maíz de 0.25 cm/día para el período del 15 de abril al 15 de junio y 0.46 cm/día para el período del 15 de junio al 10. de agosto. Para un lapso de tres años la tasa diaria de uso de agua del último período fue positiva y altamente correlacionada con el rendimiento final de maíz.

El uso estacional del agua ha variado ampliamente. Harrold y Driebelbis (1951) encontraron que la pérdida por evapotranspiración de un lisímetro fue de 44 a 62 cm de mayo a septiembre. Rhoades y Nelson (1955) indicaron que el maíz de riego ordinariamente usa de 41 a 64 cm durante la estación de crecimiento. Shaw *et al.* (1958) encontraron que el agua consumida del 15 de abril al 10. de noviembre osciló desde menos de 44 cm a más de 64 cm, con incrementos del rendimiento a medida que aumentaba el uso del agua. Otros datos del uso de agua fueron citados anteriormente.

La cantidad de agua usada puede variar con la densidad de siembra. Con una baja densidad el uso de agua es bajo. A medida que se incrementa la densidad, el uso del agua aumenta rápidamente hasta un límite y entonces cambia lentamente con los incrementos en densidad. Hay un punto en el cual los incrementos en densidad

no incrementarán la utilización de la energía solar en la evapotranspiración. Olsson (1971) encontró casi el mismo uso del agua para densidades de 35, 45 y 70 mil plantas por hectárea. Esto concuerda con un modelo de evapotranspiración bajo condiciones de campo, propuesto por Viets (1966).

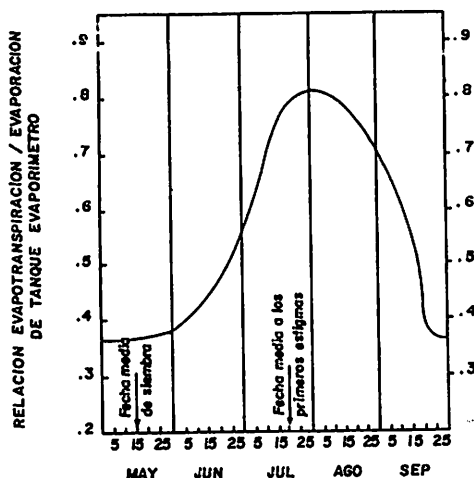


Figura 3. Relación de evapotranspiración de maíz sobre evaporación de tanque evaporímetro a través de la estación de crecimiento (Denmead y Shaw, 1959) .

Beer *et al.* (1967), trabajando en Iowa, encontraron una relación negativa entre la cantidad de agua de riego requerida para mantener la humedad del suelo arriba de 60% de la capacidad de humedad aprovechable y el rendimiento máximo de maíz obtenido con varios niveles de riego (Fig. 4). A medida que se requiera menos agua por riego (es decir, cuando la humedad ambiental natural es buena), mayor rendimiento. Posiblemente los requerimientos de riego más altos están representados por los años de más alta demanda atmosférica, ocurriendo situaciones de más tensión por humedad, aun con altos niveles de humedad del suelo.

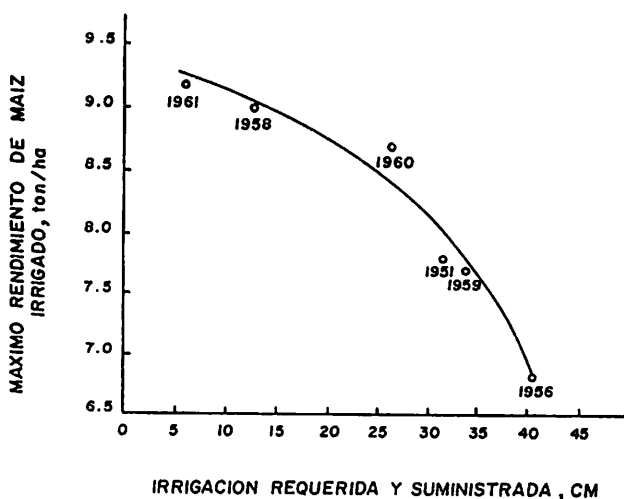


Figura 4. Relaciones entre la cantidad de agua requerida y suministrada para mantener la humedad del suelo por encima de 60% de la capacidad de agua aprovechable y los máximos rendimientos de maíz obtenidos en suelo de migajón arcilloso en Ames, Iowa (Beer *et al.*, 1967)

CONCEPTO DE LA UNIDAD GRADO DE CRECIMIENTO

Otro factor al que se hará referencia durante la discusión de las diferentes etapas de desarrollo, serán las unidades "grados de crecimiento" o "unidades calor". El número de días para que el maíz alcance la madurez varía ampliamente con los cambios del ambiente, aunque a las variedades se les ha designado un cierto número de días a la madurez. Las unidades calor se han propuesto como una aproximación más constante del índice de madurez, para condiciones climáticas variables siempre y cuando las otras condiciones ambientales no se aparten mucho del óptimo.

La unidad grado de crecimiento (UGC) está basada en el uso de datos de temperatura del aire, así que no es realmente una unidad calor, sino una unidad numérica de temperatura. Se han llamado también unidades termales (Berbecel *et al.*, 1964). Para emplearla, se acumulan valores superiores a una temperatura base seleccionada. La literatura sobre las unidades de crecimiento es extensa. Revisiones de Nuttonson (1953), Holmes y Robertson (1959), y Wang (1960, 1963) son útiles para los

Interesados en información más amplia. Casi todos los índices se ubican en uno de los siguientes tipos básicos: 1) exponencial (Livingston y Livingston, 1913; Price, 1911); 2) fisiológico (Brown, 1960; Livingston, 1916); 3) residual (Gilmore y Rogers, 1958; Holmes y Robertson, 1959; Nuttonson, 1955, 1957) y 4) evapotranspiración (Thornthwaite, 1952)

El índice exponencial supone que con un incremento de 10 °C en la temperatura, la tasa de crecimiento se duplica. Este método asigna altas eficiencias a las temperaturas muy altas para el crecimiento óptimo. Un índice de tipo fisiológico se basa en la respuesta fisiológica de las plantas a la temperatura y a menudo ha sido desarrollado de datos obtenidos en condiciones controladas. Las ecuaciones de Brown (1960) para soya fueron desarrolladas con datos obtenidos en cámaras de crecimiento. Sus ecuaciones de maíz están desarrolladas de datos de campo (Brown, 1969) y se emplean para determinar relaciones de madurez para maíz en Ontario. El efecto de la temperatura máxima (°F) (Tmáx) sobre el desarrollo, se obtuvo a partir de la ecuación:

$$Y_{máx} = 1.85 (T_{máx} - 50) - 0.026 (T_{máx} - 50)^2 \dots (1)$$

Esta ecuación supone una curva de respuesta de desarrollo parabólico para la temperatura. La contribución de las temperaturas nocturnas fue calculada por:

$$Y_{mín} = T_{mín} - 40$$

Sus unidades grados de desarrollo, H, fueron unidas por:

$$H = (Y_{máx} + Y_{mín}) / 2 \dots (3)$$

El tercer tipo básico, el índice residual, acumula grados superiores a una temperatura base. En su forma más simple se calcula por:

$$\frac{\text{Temp. máx. diaria} + \text{Temp. mín. diaria}}{2} - 10^\circ\text{C} = \text{UGC} \dots (4)$$

En este ejemplo se supuso 10 °C como temperatura base. Varios sistemas son disponibles, pero el llamado índice 30-10 °C será el que se discuta principalmente aquí. Este es un índice de tipo residual calculado por la ecuación 4. Cualquier temperatura máxima superior a 30 °C se pone en la ecuación como 30 y cualquier mínimo inferior a 10 °C se designa como 10. Las UGC pueden calcularse para cualquier etapa de desarrollo o para el tiempo total desde la siembra o desde la emergencia hasta la madurez.

Otra modificación del sistema residual es el de Newman y Blair (1969). Ellos propusieron la siguiente modificación a la ecuación básica de unidades-calor diarias:

Nota del traductor: No hay ecuación 2 en el original.

"Cuando las temperaturas medias diarias promedian 23.9°C o más y la máxima excede a 32.2°C , sustraer, de la acumulación de grados-día que resultan, la cantidad donde la máxima exceda a 32.2°C para ese día. Esto elimina en gran proporción la acumulación excesiva de grados-día en climas secos y cálidos, donde el maíz está usualmente bajo tensión por agua durante la parte calurosa del día".

Ellos propusieron otra modificación para ser aplicada en climas de regiones altas, frías, tipo montaña, o en días largos y frescos que ocurren a la mitad del verano en el Norte de Estados Unidos y Sur de Canadá, al tomar las temperaturas medias diarias inferiores de 15.6°C :

"Cuando la media diaria es 10°C o más pero abajo de 15.6°C , y la máxima exceda 18.3°C , sumar, a la cantidad de grados-día acumulados diarios, la cantidad que exceda al máximo de 18.3°C ".

Cross y Zuber (1972) probaron 22 diferentes métodos de unidades grados de crecimiento en Missouri y encontraron que las mediciones diarias dieron casi tan buenos resultados como el usar datos de temperatura de cada hora. Ellos encontraron que la mejor temperatura base para la estimación de la floración fue 10°C , con 30°C como óptimo. Excesos superiores a 30°C se sustrajeron para eliminar la tensión por temperatura alta. Brown (1969), en Ontario, usó una temperatura base de 4.4°C para la noche y 10°C para el día. Rensch (1973), en Iowa, encontró que una temperatura base de 7.2°C fue mejor para el intervalo de la siembra a la floración masculina y también fue la mejor para el período de la floración femenina a la formación de la capa negra, aunque 7.2°C fue sólo ligeramente mejor que 4.4°C ó 10°C de base.

EFFECTO DEL CLIMA SOBRE CIERTOS PERIODOS DE CRECIMIENTO DE LA PLANTA

Antes de la Siembra

La influencia del clima sobre la planta de maíz comienza aún antes de la siembra. Las condiciones anteriores a la siembra son especialmente importantes para determinar las reservas de humedad del suelo. Estas pueden reflejar un sobrante del cultivo anterior, o ser acumulaciones que pueden ocurrir durante el otoño, invierno o principios de la primavera.

Dado que las tasas de evaporación en el otoño son bajas, la precipitación durante este tiempo puede ser bastante eficiente para incrementar las reservas de humedad del suelo. En muchas áreas, la precipitación de invierno es baja, y con un suelo

frío, poca humedad entrará al suelo. En Iowa, Shaw (1965) encontró que solamente el 25% de la precipitación que ocurrió cuando el suelo estaba frío, se sumó a la reserva de humedad del suelo. Con la amplia variación de condiciones invernales que existen donde crece el maíz, los cambios en las reservas de humedad del suelo variarán grandemente, dependiendo de la precipitación y la temperatura de esa estación. Los efectos de la temperatura también son importantes en los problemas de insectos y enfermedades. La nieve también afecta estos problemas debido a los efectos moderados sobre la temperatura del suelo. La precipitación de principios de la primavera también puede ser bastante efectiva en el incremento de las reservas, pero la evaporación potencial también se incrementa a medida que avanza la primavera.

A menor reserva de humedad del suelo, más grande es el requerimiento de lluvia en el período de cultivo. Thompson (1966, 1969), usando análisis de regresión, encontró que la precipitación óptima en la preestación de cultivo (septiembre a mayo) para los cinco estados de mayor producción de maíz de la Faja Maicera fue de 68 a 71 cm, muy cerca del promedio de los cinco estados. Esta cantidad usualmente lleva la humedad del suelo a capacidad de campo o arriba de ella, pero sin mucho exceso.

La humedad del deshielo en el invierno mejora la labranza de la superficie del suelo (Newlin, 1948) y ayuda a reducir terrones y la compactación por maquinaria. El subsoleo en la Faja Maicera ha tenido poco efecto sobre el rendimiento (Larson y Blake, 1966), pero en climas cálidos, donde ocurre menos humedad por el hielo y el deshielo, puede ayudar rompiendo la capa arable. Aunque las lluvias de primavera pueden ayudar a reabastecer las reservas de humedad al suelo, ellas pueden también retrasar las operaciones de campo. Las condiciones de la primavera determinan la época en la que pueden comenzarse las operaciones de campo. En muchas áreas, un retraso en la siembra reduce el rendimiento esperado (Pendleton, 1966); esto es probablemente uno de los efectos más importantes del clima antes de la siembra.

De la Siembra a la Emergencia

El período de la siembra a la emergencia depende de la temperatura, humedad y aereación del suelo, y del vigor de la semilla. Antes de la germinación, la semilla absorbe agua y se hincha. Con temperaturas más cálidas se absorbe menos agua (Blacklow, 1972), así que la germinación comenzará más pronto y será más rápida a mayor temperatura, suponiendo que hay agua disponible. El período de la

siembra a la emergencia varía ampliamente con las condiciones ambientales y, en menor grado, con la profundidad de siembra (Alessi y Power, 1971). Durante esta etapa, el desarrollo es afectado directamente por la temperatura del suelo e indirectamente por la temperatura del aire.

El clima continúa siendo un factor importante en la determinación de la época de siembra. Las siembras relativamente tempranas en los E.U. generalmente muestran rendimientos más altos que las siembras tardías. Por ejemplo, Pendleton y Egli (1969) obtuvieron disminución en el rendimiento cuando la siembra se retrasó después de 30 de abril en Illinois. Daynard (1972) encontró que la siembra retrasada disminuyó el número de días de la siembra a la mitad de la floración femenina y aumentó los días de la floración femenina a la madurez. El total de horas calor requeridas sólo se redujo ligeramente. La fecha óptima de siembra variará con la latitud y deberá considerar períodos críticos de humedad posteriores. La siembra temprana puede no ser la mejor en todas las regiones del mundo.

En las principales áreas productoras de maíz de E.U., la siembra de maíz, hasta años recientes, comenzaba cuando la temperatura media del aire alcanzaba cerca de 12 a 14 °C (Kincer, 1919). Esta variaba desde principios de febrero en el Sur, a mediados de mayo en el Norte. Estas fechas representaban las primeras siembras de campo y no cuando la mayoría del maíz era sembrado. En años recientes ha habido un movimiento hacia siembras un poco más tempranas en el Norte, cuando las temperaturas del aire promedian cerca de 12 °C. El uso de herbicidas ha ayudado en el control de malas hierbas en las siembras más tempranas. En años anteriores, el grueso de las siembras de maíz eran hechas cuando el promedio de la temperatura del aire era cercano a 16 °C (Wallace y Bressman, 1937) y en Iowa ocurría por el 15 de mayo. La tendencia de las siembras más tempranas se muestra en los datos de Iowa (USDA Stat. Rep. Serv., 1973), las cuales muestran como fecha promedio el 11 de mayo para el período 1968-72. En ésta, la temperatura promedio del aire fue cerca de 14 a 15 °C.

La germinación es afectada por la temperatura y la humedad del suelo. Coffman (1923) encontró que el maíz germinó mejor a temperaturas superiores a 10 °C, con una marcada disminución de la germinación a temperaturas inferiores de 10 °C. Cummins y Parks (1961) informaron que el maíz no germinó a 10 °C.

En pruebas en las que se usó suelo de río, Wolfe (1927) encontró que la rapidez de la germinación se incrementó cuando la humedad del suelo aumentaba hasta el 80% de saturación. A 10% de saturación no había germinación debido a la escasez

de agua, mientras que a 100% de saturación o superior, la germinación se retrasó debido a la escasez de oxígeno. En un suelo de río con 50 a 60% de humedad, una temperatura del suelo de 35 °C dió una germinación ligeramente más rápida que una de 30 °C y considerablemente más rápida que una de 25 °C.

Blacklow (1972) encontró que las tasas de elongación de la radícula y la plúmula fueron más altas a temperaturas cercanas a 30 °C y cesaron a temperaturas constantes de 9 y 40 °C. El tiempo mínimo para la iniciación de la radícula y la plúmula ocurrió a 30 °C, con la radícula precediendo a la plúmula. Para temperaturas constantes, las tasas de elongación de la radícula y la plúmula se muestran en la Fig. 5 (Blacklow, 1972). Eso se necesita demostrar en condiciones de campo. Una corta duración de temperaturas altas, superiores a 30 °C en el campo, pueden no originar una caída tan rápida en la tasa de crecimiento como lo ocasiona una exposición constante a esa temperatura.

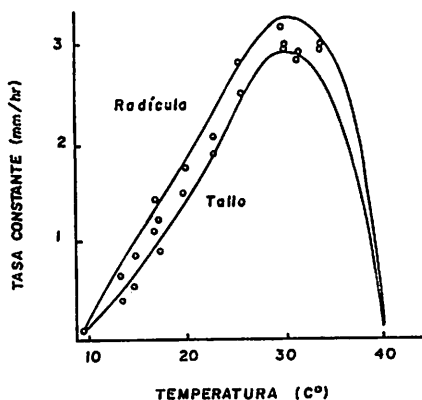


Figura 5. Tasa de elongación de la radícula y el tallo de maíz en condiciones de emergencia en función de la temperatura del suelo (Blacklow, 1972)

En el campo, en Ames, Iowa, la emergencia del maíz ha variado de 7 a 15 días después de la siembra, en un período de seis años. De acuerdo con Wallace y Bressman (1937), el maíz usualmente emerge en 8 a 10 días a una temperatura promedio

de 16 a 18 °C, pero requiere de 18 a 20 días en 10 a 13 °C. Si el suelo está húmedo, con una temperatura promedio cercana a 21 °C, la emergencia puede ocurrir en 5 a 6 días. Alessi y Power (1971) encontraron que la emergencia se retrasó un día por cada 2.6 cm de incremento en la profundidad del suelo. Como las temperaturas del suelo en primavera disminuyen con la profundidad (Holmes y Robertson, 1959; Shaw, 1971), el retraso de la emergencia es resultado tanto de temperaturas más frías como de la mayor distancia involucrada. Berbecel y Eftimescu (1972) encontraron que la duración de la siembra a la emergencia fue explicada casi en su totalidad por la temperatura del suelo. Cuando la humedad aprovechable del suelo para la capa superficial de 20 cm era superior a 10 mm y la temperatura promedio a 10 cm de profundidad se acumulaba para valores mayores a 8 °C, el período de emergencia fue casi constante al sumar 100.9 grados.

Otro factor a considerar es que en muchos estudios se usan las temperaturas del aire, aunque el suelo es el medio en el que ocurre la germinación. Las temperaturas del aire son comúnmente empleadas debido a su disponibilidad y a la escasez de datos de temperatura del suelo. Newhall (1947) demostró que la temperatura del suelo está estrechamente relacionada con la temperatura del aire, es decir, hay poca acumulación diaria de calor en el suelo. A pocas profundidades, el suelo puede estar más caliente que la temperatura del aire durante períodos de intenso calor; pero, en días nublados, la temperatura del suelo, a la profundidad de siembra, se aproxima mucho a la del aire. En la práctica, esto significa que los días despejados y calurosos de abril no calientan la superficie del suelo para una rápida emergencia a principios de mayo. Para tener un corto intervalo de emergencia, el calentamiento diario del suelo debe prevalecer durante el período de germinación y crecimiento de la plúmula y la radícula. Shaw (1971) encontró que las temperaturas máximas del suelo en primavera, en las profundidades de siembra de maíz, fueron ligeramente más frías que las temperaturas máximas del aire, y las temperaturas mínimas del suelo fueron ligeramente más calientes que las temperaturas mínimas del aire, dando valores promedio de temperatura del aire y del suelo muy cercanos.

Otros aspectos del efecto del clima también necesitan ser considerados. Ambientes fríos y húmedos posteriores a la siembra favorecen el desarrollo de patógenos. Pudrición de semilla y tizón de las plántulas pueden comenzar a prevalecer cuando el maíz se siembra en un suelo húmedo y frío. La germinación de la semilla de maíz se retrasa bastante a 10 °C o menos, pero a esa temperatura ciertas especies de *Pythium* son activas (Ullstrup, 1966). Sin embargo, Ullstrup indica que la pu-

drición y el tizón son poco frecuentes si la semilla sembrada es buena y se usa un apropiado tratamiento de ella.

Las siembras tardías pueden favorecer la reducción de las enfermedades de la plántula, pero, como anotó Dungan (1944), éste método para reducir daños por insectos y enfermedades debería ser usado con precaución, puesto que el retraso de la siembra puede disminuir el rendimiento y la calidad de la cosecha. En el Sur, Johns y Brown (1941) encontraron que la fecha de siembra influyó en la cantidad del daño del barrenador de la raíz del maíz del sureste (*Diabrotica undecimpunctata howardi*) (Barber) y del barrenador del maíz (*Ostrinia nubilalis* (Hubn)). Las prácticas en los climas más calientes pueden variar de aquéllas de climas más fríos, donde los híbridos están forzados a emplear la limitada estación disponible.

Crecimiento Vegetativo Temprano de la Emergencia a la Diferenciación Floral

Poco después de la emergencia tiene lugar un importante cambio, cuando la planta deja de depender del alimento almacenado y pasa a la autosuficiencia. Durante la primera etapa de su vida, la planta de maíz requiere una limitada cantidad de humedad para el poco crecimiento que ocurre. Esto es afortunado porque tanto la iniciación como la diferenciación de los primordios vegetativos y reproductivos en el meristemo apical y el alargamiento de las células ya diferenciadas, son muy sensibles a la tensión por agua (Slatyer, 1969). Esta tensión, poco después de la emergencia, disminuye el contenido de almidón y de clorofila de las plántulas (Maranville y Paulsen, 1970); pero, si el ambiente es algo seco en este tiempo, las raíces penetrarán más en el suelo, y la planta tendrá más capacidad para resistir posteriormente la sequía, lo cual puede más que compensar cualquier efecto detrimental inmediato por tensión. Salter y Goode (1967) indicaron que investigadores de Rusia encontraron que la tensión durante el inicio de la etapa vegetativa tuvo poco, si es que hubo algo, efecto sobre el rendimiento final; raíces más profundas y más extensas puede ser la razón. A partir de ese momento, la planta está sujeta a dos diferentes ambientes, la atmósfera y el suelo, y la dependencia de la temperatura del suelo se vuelve menor que durante el período de germinación (Cal y Obendorf, 1972).

Las plantas jóvenes de maíz son relativamente resistentes al ambiente frío; con una temperatura del aire cercana a -1 °C, generalmente mueren las partes expuestas arriba del suelo (Shaw et al., 1954). Hasta la etapa 1.5, cuando han emergido totalmente seis hojas, el punto de crecimiento está abajo de la superficie del suelo (Hanway, 1966). Por esta razón, la recuperación después de una helada moderada,

cuando el punto de crecimiento está abajo del suelo, es usualmente rápida y casi completa. Pero, ocasionalmente, una helada tardía de primavera puede matar el maíz sembrado temprano, cuyo punto de crecimiento esté en o sobre la superficie del suelo. Hanna (1924) encontró que temperaturas del aire de -1.7°C dañaron el maíz y -4.4°C lo mataron. Las temperaturas mínimas del suelo, a 2.5 cm de profundidad, serán ligeramente más altas que las temperaturas mínimas del aire, a esas temperaturas.

En plantas de maíz de dos a tres semanas de edad, Sellschop y Salmon (1928) encontraron que las heladas no tuvieron un efecto inmediato marcado sobre la planta. De los cinco a los diez días después de la helada, se desarrollaron bandas de color amarillo claro sobre las hojas, las cuales se volvieron membranosas y de color rojizo hacia los bordes. Las bandas se formaron en la parte de las hojas que formaban el verticilo de la planta al tiempo de la helada. En esta región ocurre el crecimiento más activo y ahí se encuentran los tejidos más jóvenes. En general, la planta más joven sufre el daño más grande. Ellos encontraron que plantas de seis semanas de edad, a temperaturas de 0.5 a 5°C de diferente duración, se recobraron y tuvieron la capacidad de producir semilla, si menos del 25% del área foliar mostraba daño poco después de la helada. Plantas con 25 a 50% de daño, ocasionalmente se recobraron, mientras que aquellas con más de 50% de daño, rara vez se recobraron. A medida que la duración de la helada se incrementó, la cantidad de daño también aumentó. El daño más grande ocurrió en un suelo saturado, más que en un suelo con humedad moderada, y el menor daño ocurrió en un suelo moderadamente seco. Purvis y Williamson (1972) encontraron que plantas muy jóvenes fueron severamente dañadas si se inundaba, o si en la atmósfera no había oxígeno por más de un día. En un suelo inundado, la concentración de oxígeno se acerca a 0 en 24 horas.

La respuesta de plantas muy jóvenes a temperaturas en la raíz, ha sido estudiada extensamente por Grobbelaar (1963). El sometió las raíces a una gama de temperaturas de 5 a 40°C , manteniendo constante la temperatura del aire a 20°C y la intensidad de la luz. El encontró que la iniciación de raíces en la corona se retardó progresivamente a medida que la temperatura de la raíz disminuía de 20 a 5°C . También se obtuvieron efectos pronunciados sobre el crecimiento del tallo. El crecimiento óptimo del tallo ocurrió en temperaturas de 25 a 35°C . Sin embargo, el ápice del tallo de las plantas también estaba expuesto a las temperaturas a las que se sometió la raíz, hasta los 20 días de edad. Los efectos de la temperatura de la raíz en plantas de más de 20 días de edad, donde el ápice del tallo

estuvo también sometido a la temperatura del aire, fueron, sin embargo, similares a los encontrados en plantas más jóvenes. Una tasa acelerada de iniciación foliar a 25, 30 y 35 °C, mostró ser un factor que contribuyó en la más alta tasa de crecimiento del tallo. Además, la tasa de elongación foliar también pareció ser la más rápida en el rango de 25 a 35 °C. Sin embargo, el tamaño final de las hojas individuales, pareció estar favorecido por temperaturas inferiores al rango óptimo; las hojas más largas se obtuvieron a 15 y 20 °C. El incremento total en longitud foliar por planta, sin embargo, sucedió más rápidamente a 25, 30 y 35 °C.

Grobelaar (1963) también encontró que las temperaturas de la raíz causaban diferencias pronunciadas en el porcentaje de materia seca y en el contenido de carbohidratos solubles en agua, posiblemente sacarosa. A temperaturas fuera del intervalo óptimo, fue evidente un incremento progresivo de carbohidratos solubles en agua, en el tallo. Este pareció ser resultado de una disminución relativamente mayor en el crecimiento que en la fotosíntesis. Debido al crecimiento limitado, los fotosintetizados pueden no ser utilizados en su totalidad y, consecuentemente, se acumulan en la planta. Las temperaturas de la raíz influenciaron la proporción de tallos/raíces. Un incremento relativamente más grande en el peso del tallo que en el peso de la raíz ocurrió a medida que la temperatura se incrementó de 5 a 40 °C. Dado que el crecimiento del tallo y la raíz fueron prácticamente inhibidos a 5 °C, la relación tallo/raíz, basada en el peso fresco, permaneció constante. Sin embargo, con base en el peso seco, en el tiempo, ocurrió un incremento progresivo en la relación porque el crecimiento fue prácticamente inhibido a esta temperatura, mientras que la fotosíntesis aún continuaba, pero a una tasa más lenta. El crecimiento de la raíz a 40 °C fue inhibido, mientras que la tasa de crecimiento del tallo tendió a retardarse, lo cual resultó en un incremento progresivo de la relación tallo/raíz. Sin embargo, el crecimiento de la raíz se retardó más que el crecimiento del tallo, a temperaturas más allá de intervalo de 20 a 30 °C, lo cual dio como resultado un incremento en la relación tallo-raíz.

La temperatura de la raíz afectó la absorción del nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio. En general, las temperaturas en la raíz de 4, 10, 15 y 40 °C, retardaron la absorción de N, P y K. Indicios de una excesiva acumulación en el tallo parecieron existir a temperaturas de 20, 25 y 35 °C. Sin embargo, el crecimiento del tallo de plantas jóvenes y de más edad, no se pudo incrementar a temperaturas de 5, 10 y 15 °C, al duplicar la concentración de macroelementos en la solución nutritiva. De hecho, en esa concentración doble de nutrientes, disminuyó el crecimiento en el rango de temperatura óptima de las plantas jóvenes.

Grobbelaar (1963) propuso que bajo sus condiciones experimentales, una interferencia en la absorción de agua por las raíces, que disminuyó la tasa de transpiración a temperaturas inferiores a 20 °C y a 40 °C, incrementó el déficit de presión de difusión interno de las plantas. Esto pareció ser la causa de la disminución inmediata en el crecimiento del tallo a esas temperaturas. Además, el retardo del crecimiento a 20, 25 y 35 °C, pudo haber sido resultado de un déficit de presión de difusión relativamente más alto, aunque no se pudieron determinar diferencias en la tasa de transpiración.

Varios investigadores han relacionado las temperaturas del suelo con el crecimiento que ocurre durante la etapa vegetativa temprana. Willis *et al.* (1957) encontraron que las temperaturas del suelo más favorables, a una profundidad de 10 cm, para una tasa de crecimiento y rendimiento óptimos, fue alrededor de 24 °C en promedio; ligeramente más baja que la encontrada por Grobbelaar (1963) a edades de 10 y 20 días. Allmaras y Nelson (1971) encontraron que la temperatura óptima del suelo para el crecimiento dependía de las condiciones de humedad. Cuando los suelos estaban secos, una cubierta entre los surcos ayudó al crecimiento de la raíz y del tallo aún en temperaturas inferiores a 26 °C; pero, cuando el suelo estaba húmedo, tratamientos que reducían las temperaturas abajo de 26 °C redujeron consistentemente el crecimiento y la producción de materia seca. Van Wijk *et al.* (1959) encontraron que el peso seco del tallo decrecía, si las temperaturas del suelo disminuían, en Iowa, Minnesota, Ohio y Carolina del Sur. Al aplicar cubiertas se incrementó la materia seca en Carolina del Sur, donde la temperatura del suelo al principio de la estación está a veces por encima del óptimo, pero disminuyó la materia seca en los otros estados, donde esas temperaturas son usualmente inferiores al óptimo. Adams (1970) incrementó los rendimientos de maíz en 1000 kg/ha con el uso de cubiertas de plástico claro; él consideró que el efecto se debió a un crecimiento más rápido en las primeras cuatro a seis semanas. Allmaras *et al.* (1964) mostraron que la producción relativa de materia seca de plantas de maíz, en relación a la temperatura del suelo, fue más grande a temperaturas medias diarias cercanas a 27 °C (Fig. 6). El efecto final de las temperaturas del suelo al inicio de la estación de crecimiento, sobre el rendimiento de grano, es difícil de evaluar debido a que los índices de crecimiento de maíz, basados en el peso seco y el crecimiento del tallo no están en fase durante un rango de temperaturas (Allmaras *et al.*, 1964; Arndt, 1945; Walker, 1969). La temperatura óptima para la producción de tallo es menor que para la elongación del mismo. Como la elongación puede ser un mejor estimador del área foliar, puede también ser una mejor medida del efecto de la temperatura del suelo sobre el rendimiento de grano.

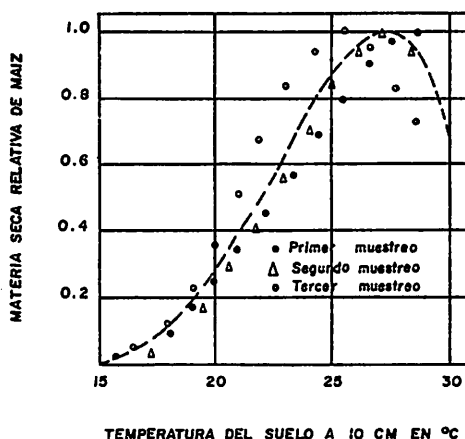


Figura 6. Producción de materia seca relativa de maíz en relación a la temperatura del suelo a 10 cm en el campo. Las mediciones del crecimiento fueron hechas desde los 13 a los 38 días, 22 a los 54 días y 41 a 67 días después de la siembra, para el primero, segundo y tercer muestreo respectivamente (Allmaras *et al.*, 1964).

Se ha encontrado que el crecimiento del maíz durante la etapa vegetativa, está relacionado tanto con la temperatura del aire como con la precipitación pluvial. Bair (1942) encontró que la correlación entre incrementos del crecimiento, expresados como ganancia de peso seco de la planta total, y los índices fisiológicos de Lehenbauer (1914), fue alta en un año pero baja en otro. Bair explicó que la baja correlación fue debida a una pobre distribución de la lluvia. Hanna (1925) encontró que el crecimiento estuvo más estrechamente relacionado con la temperatura del aire que con cualquier otra variable climática. La mejor correlación entre el crecimiento y las temperaturas del aire ocurrieron cuando se emplearon índices residuales por encima de 10 °C. McCalla *et al.* (1939) también encontraron que la temperatura del aire explicaba mucha de la variación en la tasa de crecimiento. Loomis (1934) encontró que la tasa de crecimiento disminuyó rápidamente a medida que la temperatura decreció hasta 10 °C. El crecimiento más rápido se obtuvo al final de la tarde y principio de la noche y en la mañana, o en días nublados cuando la temperatura del aire era alta y no se desarrollaban déficits de humedad. En general, las tasas de crecimiento siguieron la curva de temperatura en la noche y la curva de

suministro de agua en el día. En un período de tres años, Kiesselbach (1950) encontró casi la misma cantidad de crecimiento durante las horas de luz del día que en la noche. Wallace y Bressman (1937), para períodos cortos de crecimiento, estimaron tasas de crecimiento diario de alrededor de 8 cm, a temperaturas de 18 a 19 °C, y de 17 cm a temperaturas de 25 a 26 °C.

Bouchamp y Lathwell (1966) enunciaron que el número de primordios foliares quedaba establecido entre la cuarta y sexta hoja, en los cultivares canadienses que ellos examinaron. Adams (1970) indicó que el número de hojas fue afectado por las temperaturas del suelo en la etapa temprana. Berbecel y Eftimescu (1972) estudiaron el tiempo necesario para el desarrollo de las hojas y lo relacionaron con acumulaciones superiores a 10 °C sobre el promedio de temperatura diaria del aire. Ellos encontraron que la acumulación promedio por hoja fue 32.5 °C, para el período de la emergencia a la floración. Regland *et al.* (1965) encontraron que la tasa de incremento del área foliar de maíz sembrado al principio de la estación de crecimiento estuvo más altamente correlacionado con la temperatura del aire que con cualquier otro elemento que ellos midieron; mientras que, en el maíz sembrado tarde, estuvo positiva e igualmente correlacionada con la temperatura y con la humedad relativa. La radiación solar, precipitación, evaporación y el viento, no correlacionaron significativamente con el incremento del área foliar. La inundación redujo los rendimientos de maíz dependiendo de la época y la longitud del período de inundación. En un experimento de invernadero, Mittra y Stickler (1961) encontraron que la inundación en la etapa de cinco hojas redujo la materia seca en 7.5% si la inundación fue de 7 días, 34% si fue de 14 días y 43% si fue de 21 días. La materia seca fue cosechada 21 días después de la inundación. El maíz fue más susceptible que la soya o el sorgo de grano. Ritter y Beer (1969) encontraron que la inundación del maíz por 72, 48 y 24 horas, cuando éste tenía 15 cm de altura, redujo el rendimiento en 32, 22 y 18%, respectivamente, a un nivel bajo de fertilizante nitrogenado; a un nivel alto de nitrógeno, esas reducciones variaron de 19 a 14% en un año, hasta menos de 5% el siguiente año.

Las correlaciones entre el clima que ocurre al inicio de la estación y el rendimiento, generalmente han mostrado poca significancia. Wallace (1920) encontró correlaciones bajas entre la temperatura de mayo y el rendimiento. El estimó que una temperatura media de mayo de 15.6 °C en Iowa Central, coincidió con el promedio del rendimiento; rendimientos más altos coincidían con temperaturas más altas. Rose (1936) también encontró que las correlaciones entre el rendimiento y la temperatura de mayo fueron relativamente bajas. Sus resultados demuestran que las temperaturas

de mayo en las secciones Norte y Noroeste de la Faja Maicera (con temperatura media de mayo inferior a 15 °C), correlacionaron positivamente con el rendimiento, mientras que en la sección Suroeste (temperatura media de mayo superior a 16.1 °C) correlacionaron negativamente. Para Indiana, Visher (1940) encontró una correlación positiva entre el rendimiento y la temperatura de mayo.

En el Oeste de la Faja Maicera, los rendimientos generalmente han aumentado con incrementos en la precipitación de mayo (Rose, 1936; Wallace, 1920). Sin embargo, Wallace (1920) estimó que la lluvia de mayo superior a 12.7 cm, ocasionó disminución del rendimiento. Para rendimientos óptimos en Indiana, Visher (1940) encontró que la precipitación de mayo debería ser mayor que la normal de 10 cm y estar acompañada por un aumento en la temperatura. Muy arriba de lo normal, sin embargo, causará disminución en el rendimiento.

Thompson (1963) computó las temperaturas óptimas de junio para Iowa, Illinois, Indiana, Ohio y Missouri, suponiendo una lluvia normal de junio. Las temperaturas óptimas de 21 a 23 °C (Fig. 7), fueron similares a las citadas por Wallace (1920); sin embargo, las correlaciones entre el rendimiento y la temperatura y lluvia de junio, fueron bajas (Thompson, 1963). Algunos investigadores han examinado las relaciones entre la temperatura de junio y el rendimiento (Davis y Harrell, 1941; Rose, 1936; Visher, 1940; Wallace, 1920) y generalmente han encontrado correlaciones positivas donde el promedio de las temperaturas es inferior al óptimo y correlaciones negativas donde el promedio es superior al óptimo. Temperaturas acumuladas arriba de 32 °C, también han mostrado una correlación negativa con el rendimiento, excepto en Ohio, en las áreas limítrofes, donde las correlaciones fueron positivas.

En la parte Suroeste de la Faja Maicera, los incrementos de la lluvia de junio aumentaron el rendimiento (Davis y Harrell, 1941; Rose, 1936; Wallace, 1920), pero los resultados no han sido iguales en otras partes de la misma Faja. En años individuales, la respuesta a la lluvia de junio está relacionada con la reserva de la humedad del suelo, la temperatura de junio y las condiciones ambientales subsecuentes. Thompson (1966) determinó la respuesta del maíz a la lluvia de junio para los cinco estados más productores de la Faja Maicera, considerando las otras condiciones como normales (Fig. 8). La curva de respuesta para la lluvia de junio fue relativamente plana, pero mostró rendimientos más altos con lluvias abajo de lo normal, que con lluvias arriba de lo normal. Para un año con reservas de humedad del suelo abajo de lo normal, las lluvias arriba de lo normal serían benéficas.

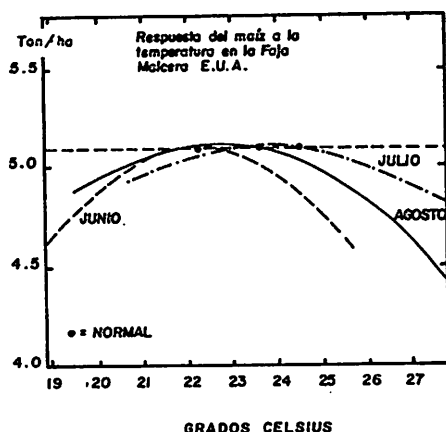


Figura 7. Respuesta promedio del maíz a las temperaturas de verano en cinco estados de la Faja Maicera (Thompson, 1963).

En la discusión previa sobre los efectos del ambiente que incide al inicio del crecimiento sobre los rendimientos, solamente se han discutido los que podrían llamarse macroefectos, los cuales promedian las diferencias globales entre los suelos. Se debería recordar que los microefectos, tales como la diferencia entre un suelo pobremente drenado y otro bien drenado, son importantes para suelos específicos, o para agricultores individuales, y no pueden ser menospreciados. Estas diferencias probablemente son más significativas al principio de la estación que al final de la misma.

Sopher *et al.* (1973) establecieron que en los suelos de la planicie costera del Atlántico Sur, el exceso de humedad y las temperaturas frías, también deberían incluirse a las mediciones de sequía al inicio de la de crecimiento. Esto probablemente también debería hacerse en muchos estados de la Faja Maicera.

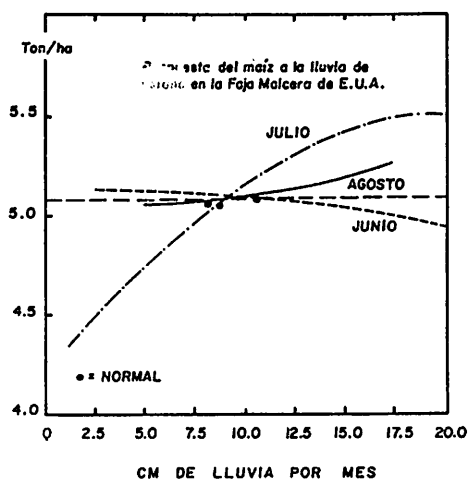


Figura 8. Respuesta promedio de maíz a la lluvia de verano en cinco estados de la Faja Maicera (Thompson, 1966)

Crecimiento Vegetativo Tardío: Inicio de la Elongación Rápida del Tallo a la Floración Masculina

En la etapa vegetativa tardía, la relación entre el ambiente y el rendimiento ha sido más marcada y significativa. En la mayor parte de la Faja Maicera, este estado de crecimiento antes de la floración femenina, ocurre a finales de julio. Los efectos del clima sobre la floración femenina serán cubiertos en la siguiente sección. Wallace (1920) encontró que en la mayoría de los estados, la temperatura de julio correlacionó negativamente con el rendimiento. Rose (1936) encontró que en los márgenes NO, SO y S de la Faja Maicera, la relativamente alta correlación entre la temperatura de julio y el rendimiento fue negativa; en la parte central de la Faja Maicera, encontró correlaciones bajas y no significativas. Thompson (1962, 1963 y 1966) usó técnicas de regresión para estudiar las relaciones clima-rendimiento de maíz para varios estados. Para los cinco estados más productores de maíz, encontró que el promedio óptimo de la temperatura de julio fue aproximadamente

24 °C, suponiendo que la lluvia en ese mes y la temperatura y lluvia para otros meses fueron normales (Fig. 7). Esto es aproximadamente 1 °C abajo del promedio normal de temperatura para el mes. Temperaturas superiores a la normal reducen el rendimiento severamente. La temperatura óptima varía con la cantidad de lluvia (Fig. 9); el promedio óptimo de temperatura en Iowa es cercano a 21 °C, con solamente 2.5 cm de lluvia en julio, pero es aproximadamente 28 °C con 15 cm de lluvia. Con más humedad aprovechable del suelo, puede encontrarse una mayor demanda de agua, causada por temperaturas elevadas, sin que ocurra tensión.

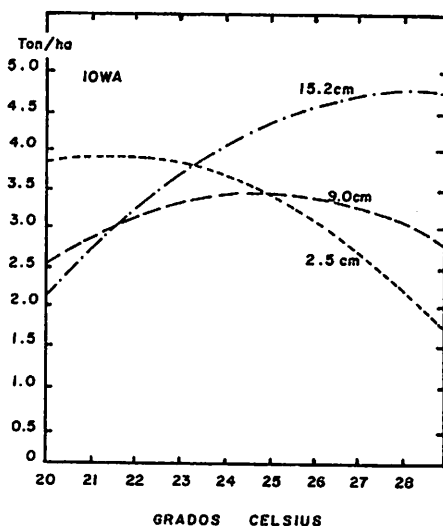


Figura 9. Relación del rendimiento de maíz sobre la temperatura de julio con diferentes niveles de lluvia en Iowa (Thompson, 1963).

En el estado vegetativo tardío, las plantas de maíz crecen muy rápido. El uso del agua es mayor, y en la mayoría de las áreas, la lluvia es menor que en junio, por lo que el balance del agua puede ser muy importante bajo condiciones de escasa precipitación pluvial. La lluvia óptima de julio (Fig. 8) es superior a la normal para los estados de la Faja Maicera (Hendricks y Scholl, 1943; Thompson, 1966).

Esto no es sorprendente, dado que la demanda atmosférica por agua es alta y la planta requiere mucho más agua para cubrir sus necesidades.

La tensión por humedad durante este período causará reducciones en el rendimiento. Algunos investigadores (Claassen y Shaw, 1970; Denmead y Shaw, 1960; Mallett, 1972; Robins y Domingo, 1953; Wilson, 1968) han estudiado este problema. En esos experimentos, el maíz creció con una área radical reducida y se conservó bien regado, excepto cuando la tensión fue impuesta. En esta etapa el agua fue suspendida hasta dar el grado deseable de tensión. Los tratamientos consistieron en someter a las plantas de maíz a tensiones severas por 4 a 6 días. Los resultados, en términos de reducción de rendimiento de grano por día tensión, se presentan en el Cuadro 1. Los datos de Mallett muestran una respuesta lineal a tensiones de hasta ocho días de duración en todos los períodos.

Cuadro 1. Porcentaje de la posible reducción en el rendimiento de grano por día de tensión (datos al entero más cercano).

| Etapa de Crecimiento | Investigadores | | | | |
|----------------------|--------------------|----------------|--------|-----------------|---------|
| | Robinson y Domingo | Denmead y Shaw | Wilson | Claassen y Shaw | Mallett |
| Vegetativa tardía | - | 3-4 | 2 | 2 | 3 |
| Floración | 6-8 | 6-8 | 2-3 | 3-13 | - |
| Llenado de grano | 3 | 3 | 5-6 | 4-7 | 4 |

En el experimento de Denmead y Shaw, la reducción del rendimiento fue debida en parte a una tensión en la fertilidad durante el período vegetativo tardío, el cual disminuyó el área foliar por abajo de la óptima. Al evitar esta tensión en la fertilidad en un experimento posterior, la disminución del rendimiento durante este período se redujo a 2% por día por Claassen y Shaw. Aunque no se midió, el área foliar fue mucho mayor que en el experimento de Denmead y Shaw. Downey (1971a) encontró que la tensión detuvo en algún grado el desarrollo de las plantas. Hoyt y Bradfield (1962), Eik y Hanway (1966) y Mallett (1972), han encontrado una relación lineal entre los rendimientos de grano en maíz y el área foliar, para índices de área foliar (IAF) inferiores a 3.3. Si la tensión por humedad reduce el IAF por debajo de 3.3, las reducciones en rendimiento pueden ser mayores que si hubiera una mayor área foliar. Claassen y Shaw (1970 a) encontraron que la materia seca vegetativa se redujo de 15 a 17% por un tratamiento de cuatro días de tensión en el pe-

ríodo vegetativo tardío.

Cuando se anegó maíz de 76 cm de altura, Ritter y Beer (1969) encontraron que 24 horas de anegamiento, a un bajo nivel de nitrógeno, redujo el rendimiento un 14%; esta reducción en el rendimiento se incrementó a 30% con 96 horas de anegamiento. Con un alto nivel de nitrógeno en el suelo, la reducción en el rendimiento fue muy poca aún con 96 horas de anegamiento. Cuando el aniego ocurrió cerca de la floración femenina, no hubo reducción en el rendimiento a un nivel alto de nitrógeno; pero, ocurrieron reducciones hasta de 16% en el rendimiento, con 96 horas de aniego a niveles bajos de nitrógeno.

Floración Masculina, Femenina y Polinización

Este es un estado muy crítico en la planta de maíz. En esta etapa el número de óvulos que puede ser fertilizado está siendo determinado. Tanto la tensión de humedad y como la de fertilidad que ocurran en esta etapa, pueden tener un serio efecto sobre el rendimiento; según sea la etapa exacta en la cual esto ocurra, será el efecto en la reducción del rendimiento. Barnes y Wooley (1969) encontraron reducciones del 6 al 8% en el rendimiento, cuando se impuso una tensión por un período de pocos días en la emergencia de la espiga. Su grado de tensión no puede compararse directamente con la información del Cuadro 1, debido a una diferencia en la forma en que la tensión fue impuesta.

Claassen y Shaw (1970 b) encontraron que la tensión por humedad, impuesta al 6% de floración femenina, redujo el rendimiento sólo 3% por día, pero al 75% de floración femenina, la reducción del rendimiento fue 7% por día de tensión. Los datos del Cuadro 1 indican que una reducción de 6 a 8% por día fue la más común. Una tensión impuesta al 75% de floración femenina combinada con una tensión de fertilidad originó una reducción en el rendimiento de 13% por día, con una gran reducción en el número de semillas desarrolladas. Voladarski y Zinevich (1960) también indican que la tensión en esta etapa puede reducir el número de granos por mazorca. Berbecel y Eftimescu (1973) encontraron que temperaturas máximas superiores a 32 °C, en etapas cercanas al espigamiento y la polinización, aceleraron el proceso de diferenciación de las partes reproductivas y originaron mayores tasas de aborto de semillas. Si muchas semillas son abortadas, la demanda total puede limitar el rendimiento, pero bajo condiciones normales, el número de semillas no es tan importante como en arroz (Yoshida, 1972). El tamaño máximo de las semillas de arroz está determinado genéticamente, así que un cambio en el número causará un cambio en el rendimiento total. Aunque hay un tamaño máximo de los granos de maíz, el límite

del factor tamaño por número raramente es alcanzado. Prine (1971) también encontró que un pobre ambiente de luz a muy altas densidades, puede causar aborción de mazorcas.

Barnes y Woolley (1969) sometieron a un cultivar que producía una sola mazorca "susceptible a la tensión" y un cultivar cuatero "resistente a la tensión", a tensiones severas de humedad. En la etapa de floración femenina y polinización, la variedad cuatero fue más tolerante a la tensión, con una reducción del rendimiento de 14%, comparada con una reducción de 73% de la variedad de una mazorca por planta. El tipo cuatero también tuvo mucho mayor flexibilidad, escapando parcialmente a un período corto de tensión y tomando mayor ventaja de una buena humedad posterior. Hallauer y Troyer (1972) resumieron los datos de varios experimentos, donde se compararon híbridos prolíficos contra híbridos de una sola mazorca y encontraron que en una serie de ambientes y fechas de siembra, los híbridos prolíficos tuvieron mayor flexibilidad para ajustarse a tensiones ambientales. Los híbridos prolíficos mostraron menos interacción genotipo por ambiente y mayor estabilidad en su comportamiento a través de ambientes.

Existe poca información de los efectos de la temperatura del suelo en esta etapa. Adams y Thompson (1973), no obstante, encontraron que el decremento de la temperatura del suelo de 26 a 22 °C durante la polinización y formación del grano, no tuvo efecto sobre el rendimiento en maíz, pero al reducir la temperatura del suelo a 23 °C, se redujo en cerca de 10% el rendimiento de grano del sorgo en Texas.

El tiempo en el cual las floraciones masculina y femenina ocurren, también son muy dependientes del ambiente. Wallace y Bressman (1937) citaron datos que muestran que una variedad de 115 días requirió de 74 días de la siembra a la floración masculina, con un promedio de temperaturas de 20 °C, pero sólo 54 días con un promedio de temperaturas cercanas a 23 °C. Las noches frías antes de la floración masculina reducen la velocidad del crecimiento. Con un promedio para el período de 60 días posteriores a la siembra, ellos encontraron que por cada grado de temperatura promedio mayor de 21.1 °C, la floración masculina se adelantó de dos a tres días. Datos de Shaw y Thom (1951 a) y Rensch (1973) muestran variaciones similares en la longitud del período. Rensch observó que la longitud del período estuvo altamente correlacionada con la temperatura (unidades grados de crecimiento), pero que la humedad del suelo también necesitaba ser considerada. Si una variedad es sensible al fotoperíodo, este factor también influye en el espigamiento. Berbecel y Eftimescu (1972) estimaron el período a la floración masculina por la ecuación:

$$n = \frac{32.5 (N - 3)}{(t - 10)}$$

donde:

n = es la duración en días del período foliar (de 3 hojas hasta el espigamiento).

N = es el número de hojas específicas del híbrido, y

t = es la media de la temperatura del suelo en °C durante el período, a 10 cm de profundidad.

Allen *et al.* (1973) encontraron que un híbrido necesita aproximadamente el mismo número de langleyes ($g\ cal/cm^2$) de la siembra a la floración masculina, aunque el número de días varió significativamente. Mallet (1972) encontró que una tensión se vera tuvo poco efecto sobre la fecha de floración masculina, aunque la floración femenina se retrasó de 6 a 8 días. Resultados similares encontraron Shaw y Thom (1951 b). Rhoades y Stanley (1973) encontraron que tanto la floración masculina como la femenina, ocurrieron más pronto cuando disminuyó la tensión de humedad del suelo.

Shaw (1949), Du Plessis y Dijkhuis (1967), y Berbecel y Eftimescu (1973) encontraron que la tensión antes y durante la floración, ocasionó un retraso del lapso entre la dehiscencia de anteras y la floración femenina. Con tensión severa, la floración femenina puede ser retrasada hasta después de que todo o la mayoría del polen haya sido liberado, incrementándose el número de plantas "jorras" y de mazorcas pobremente llenadas.

Rench (1973) encontró que la clasificación de la maduración de un cultivar, así como la temperatura y la humedad del suelo, eran necesarias para predecir las fechas de floración femenina. Las unidades grados de crecimiento, fueron un mejor estimador de la fecha de floración femenina que la clasificación de la madurez de la variedad en número de días, pero ambas mostraron aún considerable variación.

Producción de Grano desde la Fecundación a la Madurez Fisiológica del Grano

Durante la etapa del llenado de la mazorca, puede ocurrir una reducción significativa del rendimiento por tensión de humedad. Mallett (1972) expuso maíz a tensión a los 10, 20, 30 y 40 días después de la floración femenina y mantuvo la tensión hasta por ocho días. Cuatro días de tensión causaron una reducción promedio del rendimiento de 4.3% por día de tensión, en cualquier período en el cual la ten-

sión fue impuesta. En otro experimento, Mallett encontró que la reducción fue de 4.1% por día de tensión. Algunas reducciones en el rendimiento (Cuadro 1) han sido un poco mayores (Claassen y Shaw, 1970 b; Wilson, 1968) y otras han sido un poco menores (Denmead y Shaw, 1960; Robins y Domingo, 1953). Mayores reducciones ocurrieron cuando algún grado de tensión por fertilidad fue combinado con la tensión por humedad. Los datos de Claassen y Shaw (1970 b) también indican que menores reducciones en el rendimiento ocurrieron como resultado de una tensión al final del ciclo; este reducido daño puede haberse debido a la dificultad de imponer un grado de tensión tan severo como al principio del ciclo, por la menor demanda de humedad.

Barnes y Wooley (1969) obtuvieron una reducción en el rendimiento de 22% para sus variedades cuateras y 48% para sus variedades no cuateras, cuando la tensión fue impuesta al inicio del llenado de grano. La reducción del 22% es comparable a la encontrada por Mallett, pero la reducción del 48% es mucho mayor. La sensibilidad a la tensión de esa variedad de una sola mazorca, fue sin duda un factor significativo en su gran respuesta a la tensión.

El clima de agosto, el cual cubre la primera parte de este período, obviamente tiene un efecto sobre el rendimiento. Wallace (1920), Rose (1926), Davis y Harrell (1941), Kiesselbach (1950), y Thompson (1963) han encontrado que el promedio de temperaturas de agosto es más alto que las asociadas con los rendimientos óptimos de maíz en la Faja Maicera. Thompson (1963) (Fig. 7) estimó que la temperatura óptima para los cinco estados más productores de maíz, fue un poco más de 1 °C abajo del normal, muy cerca del valor dado por Wallace (1920). En Missouri, Bondavalli *et al.* (1970) encontraron que la temperatura en la segunda quincena de agosto tuvo un efecto más significativo sobre el rendimiento de maíz que la lluvia en el mismo período; pero, en la primera quincena de agosto, la lluvia tuvo un efecto más significativo sobre el rendimiento que la temperatura. Peters *et al.* (1971), en un experimento sin repeticiones, encontraron que una temperatura nocturna del aire, de 29.4 °C en el período de la floración a la maduración, redujo el rendimiento de maíz casi 40%, comparado con una temperatura fría de 16.6 °C. La temperatura alta produjo senescencia y madurez tempranas y pudo haber inducido una tensión hídrica en las plantas.

En un año seco, con una baja reserva de humedad, incrementos de lluvia en agosto pueden aumentar los rendimientos del maíz, pero en un año húmedo, donde también llueva mucho en agosto, se pueden crear algunos problemas en la cosecha. Esto puede ser particularmente importante en suelos pobremente drenados de áreas húmedas. Rose (1936) encontró que la lluvia de agosto correlacionó positivamente con el

rendimiento en la mayoría de las áreas de la Faja Maicera, pero las correlaciones fueron bajas en la parte central. Thompson (1962, 1963, 1966) encontró que el incremento de las lluvias de agosto estuvo asociado con más altos rendimientos (Fig. 8), pero las correlaciones con el rendimiento fueron bajas en los estados más productores de maíz. La temperatura de agosto fue mucho más importante que la lluvia de ese mes en su técnica de regresión para predecir rendimientos de maíz. En un artículo posterior, Thompson (1969) eliminó la precipitación de agosto de la ecuación de regresión, y encontró que la temperatura de agosto definió adecuadamente el ambiente para este mes.

En septiembre, el cultivo del maíz se está acercando a la madurez en la Faja Maicera; al final del mes, la mayoría del maíz está fisiológicamente maduro. En un año seco, la tensión ya sea por la falta de agua o por altas temperaturas, puede reducir el rendimiento de híbridos tardíos; la tensión severa puede causar secado prematuro y una pérdida adicional de rendimiento. En un año húmedo, se incrementan las reservas de humedad del suelo para el siguiente ciclo y el ambiente húmedo tiene poco efecto directo sobre el rendimiento, pero puede retrasar la cosecha. Una helada temprana antes de la madurez fisiológica, puede causar serias pérdidas en el rendimiento, especialmente si el cultivo es de maduración tardía. A causa de estos efectos tan variados, las correlaciones entre los factores climáticos de septiembre y el rendimiento han sido bajas.

El tiempo de la madurez fisiológica (máximo peso seco) parece estar bien definido en términos del desarrollo de la capa negra (Daynard y Duncan, 1969; Rench y Shaw, 1971). La humedad del grano, cuando se desarrolla la capa negra en la madurez fisiológica, varía en la variedad. La pérdida de humedad del grano desde el inicio de la formación de la mazorca a la madurez fisiológica, está poco correlacionada con los factores climáticos (Hallauer y Russell, 1961). Los grados de temperatura mostraron la mejor relación con la pérdida de humedad, pero los resultados no fueron consistentes. Rench (1973), usando seis híbridos con clasificación de madurez de 85 a 135 días, encontró que las variedades tardías requirieron de más tiempo para alcanzar la capa negra después de la floración femenina, que las variedades precoces. Las temperaturas frías incrementaron la longitud del período en cierto grado. Rench encontró que la clasificación del grado de madurez del cultivar fue el mejor estimador de la longitud de este período; adicionando la variable temperatura, se incrementó ligeramente la correlación. La variación de la longitud del período de llenado de grano, entre los seis híbridos, fue mucho menor que la variación en el período desde la siembra a la floración. Berbecel y Eftimescu (1972) encontraron

una relación similar para los dos intervalos. Dado que el tamaño del grano en maíz es poco restringido, el extender la duración del período de llenado de grano, o el mantener una alta actividad fotosintética durante este tiempo, puede incrementar el rendimiento (Yoshida, 1972).

Maduración o Secado del Grano

Después de la madurez fisiológica, el grano debe secarse hasta un nivel de humedad cosechable. La tasa de secado es afectada por el clima y las características de la variedad. Dodds y Pelton (1967) encontraron que la tasa de secado del trigo en el campo, estuvo influenciada por el déficit de presión de vapor (humedad relativa), las horas de luz solar, la tasa de evaporación y el viento. Ellos encontraron que el déficit de presión de vapor, fue una medida excelente para describir las causas de la fluctuación de la humedad en trigo. Las horas de luz solar tienen un efecto sobre la temperatura, y al igual que el viento, puede contribuir al secado. Schmidt y Hallauer (1966) encontraron que antes de la madurez fisiológica, la humedad del grano fue principalmente un proceso fisiológico, cuya reducción muestra cierta relación con la temperatura del aire. Por debajo del 30% de humedad, ellos encontraron que la reducción en humedad de la semilla estuvo relacionada más directamente con el déficit de presión de vapor, mostrando casi tan buena relación con la depresión del bulbo húmedo. La humedad relativa dió una relación más pobre, como se podría esperar cuando se usa esta variable como una expresión del poder de secado del aire.

La lluvia es un contribuyente mayor para incrementar la humedad durante la etapa temprana de secado, mientras que la condensación durante los períodos de alta humedad es importante en las etapas tardías de la madurez.

Efectos Estacionales

En la Figura 10, la reducción del rendimiento debida a tensiones por humedad está relacionada con la edad del cultivo. El área sombreada cubre la mayoría de los resultados obtenidos por varios investigadores, con valores extremos omitidos. La línea a través del área sombreada, representa los promedios de reducción de rendimiento. Los datos anteriores a los 50 días después de la siembra, no están disponibles. Esta figura es aplicable a períodos de tensión severa de pocos días de duración. Mallett (1972) encontró una relación lineal entre días de tensión y reducción total de rendimiento, para tratamientos de hasta ocho días de duración. Si una tensión severa ocurre por muchos días, las plantas pueden morir. En el

campo, los grados de tensión pueden variar de día a día, dependiendo del balance entre la humedad del suelo y la demanda atmosférica de agua.

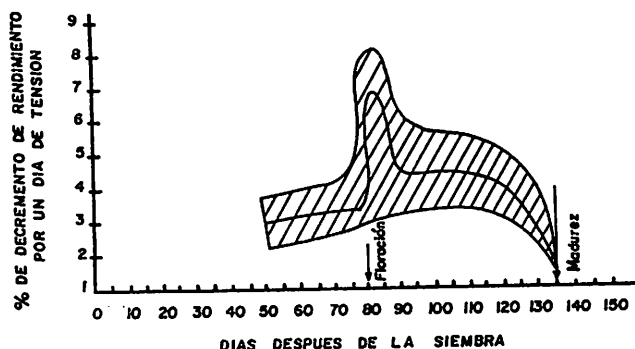


Figura. 10. Diagrama esquemático de la relación entre la edad del cultivo y el porcentaje de decremento del rendimiento debido a un día de tensión de humedad.

Los principales efectos ambientales sobre el rendimiento, en diferentes estados de crecimiento, han sido cubiertos en secciones anteriores. Hay algunos datos, sin embargo, que relacionan los efectos totales del ciclo con el rendimiento. La lluvia total del ciclo generalmente no ha dado altas correlaciones con el rendimiento. Esto en parte se atribuye a las correlaciones negativas para una parte de la estación y correlaciones positivas para otra parte de la estación. Pengra (1946) encontró que la lluvia durante el ciclo en Dakota del Sur estuvo más altamente correlacionada con los rendimientos de maíz ($r = 0.58$), de lo que estuvo la precipitación preestacional.

En Nebraska, Kiesselbach (1915) encontró que cada aumento de 0.56°C en la media estacional de temperatura durante junio, julio y agosto, originó una disminución del rendimiento de 423 kg/ha. En áreas húmedas, esta relación puede no ser cierta, al menos a ese grado.

Mederski y Jones (1963) encontraron que en suelo calentado el crecimiento fue

más rápido y temprano pero se redujo la altura de la planta madura. El calentamiento incrementó los rendimientos 15% cuando la temperatura del suelo alrededor del cable de calentamiento se mantuvo cerca de 30 °C. Willis (1956) encontró que los días a emergencia, floración femenina, y maduración, fueron acelerados por temperaturas altas del suelo. El encontró que los rendimientos se incrementaron al aumentar la temperatura del suelo (10 cm de profundidad) hasta 23 °C; después decreció con un incremento mayor de esa temperatura.

L. M. Thompson (comunicación personal) ha encontrado que grados acumulados, por encima de 32.2 °C, están relacionados con el rendimiento. Usando las temperaturas máximas diarias y acumulando los grados por encima de 32.2 °C, (i.e., una temperatura de 35.2 °C, serían 3 °C), él encontró que por cada 5.6 °C acumulados, los rendimientos se redujeron 62.7 kg/ha para maíz y una tercera parte de esa cantidad para soya.

Duncan *et al.* (1973) desarrollaron maíz con riego en Davis y Greenfield, Calif., y Lexington, Ky., todos ellos a la misma altitud. Los rendimientos fueron mayores en Davis, donde se tuvo la más baja insolación, la temperatura nocturna más alta y el mayor número de días unidades de desarrollo. Otros factores ambientales se confundieron en estas comparaciones. Temperaturas máximas de 37.8 °C, o mayores ocurrieron en 25 días del ciclo en Davis. Las temperaturas nocturnas parecen particularmente significativas. Schwab *et al.* (1958), sin embargo, encontraron que el número de días con temperaturas máximas por encima de 32.2 °C, estuvo relacionado negativamente con los rendimientos de maíz de riego en Iowa.

El empleo de la radiación como un tratamiento en experimentos controlados, casi siempre muestra efectos positivos; Pendleton *et al.* (1967) encontraron que al incrementar la luz, aumentaban los rendimientos de maíz, y Duncan y Hesketh (1968) encontraron que el sombreado reducía el rendimiento. Análisis de regresión de datos de clima y rendimiento en varios años, frecuentemente han mostrado efectos negativos al incrementar la radiación. Kiesselbach (1950) encontró que un incremento estacional de 1% en la luz solar, redujo el rendimiento de grano en 96 kg/ha, mientras que un incremento de 1 g cal en la media estacional diaria de la radiación total, redujo el rendimiento en 24 kg/ha. En áreas menos secas y cálidas, se puede esperar que esto sea al revés, aunque McCalla *et al.* (1939) encontraron una correlación negativa entre el crecimiento de trigo y la luz solar en Edmonton, Alberta, Canadá. En el campo, el efecto de la alta radiación, frecuentemente con temperaturas relativamente altas, bien puede depender de las magnitudes relativas de los dos

factores. En Iowa en 1972, un promedio estatal de rendimiento de maíz 815 kg/ha mayor que lo hasta entonces producido, ocurrió con excelente humedad, temperaturas de verano más frías que las normales y una radiación solar ligeramente menor al promedio.

En una revisión sobre el enriquecimiento del ambiente de la planta, Wittwer (1966) estableció: "El bióxido de carbono ha dado los más espectaculares incrementos en rendimiento, que cualquier factor de crecimiento descubierto hasta ahora, en cultivos desarrollados en invernadero". Sin embargo, como indicó Waggoner (1969), los resultados para maíz en el campo han estado lejos de lo espectacular. No obstante, recientemente, Harper *et al.* (1973) han mostrado un gran incremento en la producción fotosintética en algodón (*Gossypium hirsutum* L.), con altas tasas de enriquecimiento de CO_2 en el campo. Usando un simulador de fotosíntesis, Waggoner ha estimado que para incrementar la fotosíntesis substancialmente, a pleno sol, sería necesario incrementar la concentración de CO_2 arriba del dosel, así como al nivel del suelo. Esto puede explicar el porqué la adición al nivel del suelo raramente ha tenido éxito en el campo.

Con respecto a la concentración de CO_2 en el aire, a menudo se ha usado un valor promedio de 300 ppm. A una latitud de 41 °N durante diciembre de 1961, la concentración fue 315 ppm (Bolin y Keeling, 1963). De acuerdo a Waggoner (1969), si las 315 ppm estuvieran presentes durante la estación de crecimiento, se podría incrementar en 4% la fotosíntesis en el campo. Este es el único beneficio que él ha encontrado de la contaminación del aire.

Waggoner (1969), con el uso de simuladores, ha examinado el efecto de las variaciones del viento sobre la transpiración y la fotosíntesis. El encontró que una ventilación deficiente puede causar pequeños decrementos en el CO_2 disponible, lo cual puede ser contrarrestado por la mejor hidratación de la planta. Bajando la velocidad del viento de 1225 a 22 cm/seg, la tasa transpiratoria decreció de 108 a 96. Este cambio en la tasa transpiratoria resume tanto la ventaja del manejo del viento como los modestos resultados que pueden ser anticipados.

RECONOCIMIENTO

Este es el artículo No. J-7707 de Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station. Ames, Iowa, Proyecto 1852.

LITERATURA CITADA

- Adams, J. E. 1970. Effects of mulches and bed configuration. II. Soil temperature and yield responses of grain sorghum and corn. *Agron. J.* 62: 785-790.
- _____, and D. O. Thompson. 1973. Soil temperature reduction during pollination and grain formation of corn and grain sorghum. *Agron. J.* 65: 60-63.
- Alessi, J., and J. F. Power. 1971. Corn emergence in relation to soil temperature and seeding depth. *Agron. J.* 63: 717-719.
- Allen, J. R., G. W. McKee, and J. H. McGahan. 1973. Leaf number and maturity in hybrid corn. *Agron. J.* 65: 233-235.
- Allmaras, R. R., W. C. Burrows, and W. E. Larson. 1964. Early growth of corn as affected by soil temperature. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 28: 271-275.
- _____, and W. W. Nelson. 1971. Corn (*Zea mays* L.) root configuration as influenced by some row-interrow variants of tillage and straw mulch management. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 35: 974-980.
- Arndt, C. H. 1945. Temperature-growth relations of roots and hypocotyls of cotton seedlings. *Plant Physiol.* 20: 200-220.
- Bair, R. A. 1942. Growth rates of maize. *Plant Physiol.* 17: 619-631.
- Barnes, D. L., and D. G. Woolley. 1969. Effect of moisture stress at different stages of growth. 1. Comparison of a single-eared and a two-eared corn hybrid. *Agron. J.* 61: 788-790.
- Beauchamp, E. G., and D. J. Lathwell. 1966. Effects of root-zone temperature on corn leaf morphology. *Can. J. Plant Sci.* 46: 593-601.
- Beer, C. E., W. D. Shrader and R. K. Schwanke. 1967. Interrelationships of plant population, soil moisture and soil fertility in determining corn yields on Colo clay loam at Ames, Iowa. *Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn. Res. Bull.* 556.
- Berbecel, O., and M. Eftimescu. 1972. Effect of agrometeorological conditions on maize growth and development p. 45-50. *Inst. Meteor. Hydrol. Bucharest* (English translation).
- _____, and _____. 1973. Effect of agrometeorological conditions on maize growth and development. p. 10-31. *Inst. Meteor. Hydrol. Bucharest.* (English translation).
- _____, and _____, E. Gogorici, and I. Rogojan. 1964. The forecast of the vegetative phases of the self sown and cultivated flora. p. 347-358. *Culegere de lucrari. Romanian Inst. Meteor. Bucharest.* (English summary).
- _____, and I. Rogojan. 1962. Evaluarea zonala a conditiilor meteorologice in cultura porumbului. p. 319-330. *Culegere de lucrari. Romanian Inst. Meteor. Bucharest.* (English summary).
- Blacklow, W. M. 1972. Influence of temperature on germination and elongation of the radicle and shoot of corn (*Zea mays* L.). *Crop Sci.* 12: 647-650.

- Bolin, B., and C. D. Keeling. 1963. Large-scale atmospheric mixing as deduced from the seasonal and meridional variations of carbon dioxide. *J. Geophys. Res.* 68: 3899-3920.
- Bondavalli, B., D. Colyer, and E. M. Kroth. 1970. Effects of weather, nitrogen and population on corn yield-response. *Agron. J.* 62: 669-672.
- Boyer, J. S. 1970. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybeans. *Plant Physiol.* 46: 236-239.
- Brown, D. M. 1960. Soybean ecology. I. Development temperature relationships from controlled environment studies. *Agron. J.* 52: 493-496.
- _____. 1969. Heat units for corn in southern Ontario. Information Leaflet. Ontario Dep. Agric. Food, Canada.
- Cackett, K. E., and H. R. R. Metelerkamp. 1964. Evapotranspiration of maize in relation to open-pan evaporation and crop development. *Rhod. J. Agric. Res.* 2: 35-44.
- Cal, J. P., and R. L. Obendorf. 1972. Differential growth of corn (*Zea mays* L.) hybrids seeded at cold root zone temperatures. *Crop Sci.* 12: 572-575.
- Claassen, M. M., and R. H. Shaw. 1970 a. Water deficit effects on corn. I. Vegetative components. *Agron. J.* 62: 649-652.
- _____, and _____. 1970 b. Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agron. J.* 62: 652-655.
- Coffman, F. A. 1923. The minimum temperature for germination of seed. *J. Am. Soc. Agron.* 15: 257-270.
- Corsi, W. C., and R. H. Shaw. 1971. Evaluation of stress indices of corn in Iowa. *Iowa State J. Sci.* 46: 79-85.
- Cross, H. Z., and M. S. Zuber. 1972. Prediction of flowering dates in maize based on different methods of estimating thermal units. *Agron. J.* 64: 351-355.
- Cummins, D. G., and W. L. Parks. 1961. The germination of corn and wheat as affected by various fertilizer salts at different soil temperatures. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 25: 47-49.
- Dale, R. F., and R. H. Shaw. 1965. Effect on corn yields of moisture stress and stand at two fertility levels. *Agron. J.* 57: 475-479.
- Davis, F. E., and G. D. Harrell. 1941. Relation of weather and its distribution to corn yields. *USDA Tech. Bull.* 806.
- Daynard, T. B. 1972. Relationships among black-layer formation, grain moisture percentage and heat unit accumulation in corn. *Agron. J.* 64: 716-719.
- _____, and W. G. Duncan. 1969. The black layer and grain maturity in corn. *Crop Sci.* 9: 473-476.
- De Jager, J. M. 1968. Carbon dioxide exchange and photosynthetic activity in forage grasses. Unpublished Ph. D. Thesis. Univ. of Wales, Aberystwyth.

- Denmead, O. T., and R. H. Shaw. 1959. Evapotranspiration in relation to the development of the corn crop. *Agron. J.* 51: 725-726.
- _____, and _____. 1960. The effects of soil moisture stress at different stage of growth on the development and yield of corn. *Agron. J.* 52: 272-274.
- _____, and _____. 1962. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agron. J.* 45: 385-390.
- Dodds, M. E., and W. L. Pelton. 1967. Effect of weather factors on the kernel moisture of a standing crop of wheat. *Agron. J.* 59: 181-184.
- Doss, B. D., O. L. Bennett, and D. A. Ashley. 1962. Evapotranspiration by irrigated corn. *Agron. J.* 54: 497-498.
- Downey, L. A. 1971 a. Effect of gypsum and drought stress on maize (*Zea mays* L.) I. Growth, light absorption and yield. *Agron. J.* 63: 569-572.
- _____. 1971 b. Effect of gypsum and drought stress on maize (*Zea mays* L.). II. Consumptive use of water. *Agron. J.* 63: 597-600.
- _____. 1971 c. Water requirements of maize. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 11: 32-41.
- Duncan, W. G., and J. D. Hesketh. 1968. Net photosynthetic rates, relative leaf growth rates and leaf numbers of 22 races of maize grown at eight temperature. *Crop Sci.* 8: 370-374.
- _____, D. L. Shaver, and W. A. Williams. 1973. Insolation and temperature effects on maize growth and yield. *Crop Sci.* 13: 187-191.
- Dungan, G. H. 1944. Yield and bushel weight of corn grain as influenced by time of planting. *J. Am. Soc. Agron.* 36: 166-170.
- Du Plessis, D. P., and F. J. Dijkhuis. 1967. The influence of the time lag between pollen shedding and silking on the yield of maize. *S. Afr. J. Agric.* 10: 667-674.
- Eik, K., and J. J. Hanway. 1966. Leaf area in relation to yield of corn grain. *Agron. J.* 58: 16-18.
- Finch, V. C., and O. E. Baker. 1917. Geography of the world's agriculture. US Government Printing Office, Washington, D.C.
- Gardner, W. R. 1960. Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil Sci.* 89: 63-73.
- Gilmore, E., and J. S. Rogers. 1958. Heat units as a method of measuring maturity in corn. *Agron. J.* 50: 611-615.
- Grobbelaar, W. P. 1963. Responses of young maize plants to root temperatures. *Meded. Landbouwhogeschool Wageningen.* 63 (5) 1-71.

- Guidray, Nelson P. s/f. A graphic summary of world agriculture. USDA Misc. Publ. 705. Washington, D.C.
- Haise, H. R. 1958. Irrigation. Agronomic trends and problems in the Great Plains. In: A. G. Norman (ed.). Adv. Agron. 6: 47-56. Academic Press, Inc., New York.
- Hallauer, A. R., and W. A. Russell. 1961. Effects of selected weather factors on grain moisture reduction from silking to physiologic maturity in corn, Agron. J. 53: 225-229.
- _____, and A. F. Troyer. 1972. Prolific corn hybrids and minimizing risk of stress. 27th Annu. Corn Sorghum Res. Conf. Proc., Am. Seed Trade Assoc., Washington, D.C.
- Halstead, M. H. 1954. The fluxes of momentum, heat and water vapor in micrometeorology. The John. Hopkins Univ., Lab. of Climatology, Publ. in Climatology 7: 326-358.
- Hanna, W. F. 1924. Growth of corn and sunflowers in relation to climatic conditions. Bot. Gaz. 78: 200-214.
- _____. 1925. The nature of the growth rate in plants. Sci. Agric. 5: 133-138.
- Hanway, D. G. 1966. Irrigation. p. 155-176. In: W. H. Pierre, S.A. Aldrich, and W. P. Martin (eds.). Advances in corn production: principles and practices. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Hanway, J. J. 1971. How a corn plant develops. Iowa Coop. Ext. Serv. Spec. Rep. 48 (rev.)
- Harper, L. A., D. N. Baker, J. E. Box, Jr., and J. D. Hesketh. 1973. Carbon dioxide and the photosynthesis of field crops: A metered carbon dioxide release in cotton under field conditions. Agron. J. 65: 7-11.
- Harrold, L. L., and R. F. Dreibelbis. 1951. Agricultural hydrology as evaluated by monolith lysimeters. USDA Tech. Bull. 1050.
- Hendricks, W. A., and J. C. Scholl. 1943. The joint effects of precipitation and temperature on corn yields. N. C. Agric. Exp. Stn. Tech. Bull. 74.
- Hershey, A. L. 1934. A morphological study of the structure and development of the stem and ears of *Zea mays* L. Unpublished Ph. D. Thesis. Iowa State University, Ames.
- Holmes, R. M., and G. W. Robertson. 1959. Heat units and crop growth. Can. Dep. Agric., Ottawa. Publ. 1042.
- Hoyt, P., and R. Bradfield. 1962. Effect of varying leaf area on dry matter production in corn. Agron. J. 54: 523-525.
- Jenkins, M. T. 1941. Influence of climate and weather on growth of corn. USDA Yearb. Agric. p. 308-320.
- Johns, D. M., and H. B. Brown. 1941. Effect of date of planting on corn yield, insect infestation and fungous diseases. La. State Bull. 327.

- Kiesselbach, T. A. 1915. Transpiration as a factor in crop production. Nebr. Agric. Exp. Stn. Res. Bull. 8.
- _____. 1949. The structure and reproduction of corn. Nebr. Agric. Exp. Stn. Res. Bull. 161.
- _____. 1950. Progressive development and seasonal variation of the corn crop. Nebr. Agric. Exp. Stn. Res. Bull. 166.
- Kincer, J. B. 1919. Temperature influence on planting and harvest dates. Month. Weather Rev. 47: 312-323.
- Klages, H. K. W. 1942. Ecological crop geography. The MacMillan Co., New York.
- Koppen, W. 1931. Grundriss der Klimakunde. Walter de Gruyter, Berlin.
- Larson, W. E., and G. R. Blake. 1966. Seedbed and tillage requirements. p. 27-52. In: W. H. Pierre, S. A. Aldrich, and W. P. Martin (eds.). Advances in corn production: principles and practices. Iowa State Univ. Press, Ames.
- Lehenbauer, P. A. 1941. Growth of maize seedlings in relation to temperature. Physiol. Res. 1: 247-288.
- Livingston, B. E. 1916. Physiological temperature indices for the study of plants growth in relation to climatic conditions. Physiol. Res. 1: 399-420.
- _____. and G. I. Livingston. 1913. Temperature coefficients in plant geography and climatology. Bot. Gaz. 56: 349-375.
- Loomis, W. E. 1934. Daily growth of maize. Am. J. Bot. 21: 1-6.
- Mallett, J. B. 1972. The use of climatic data for maize yield predictions. Ph. D. Thesis. Dep. of Crop Sci., Univ. of Natal, Pietermaritzburg, S.A.
- Maranville, J. W., and G. M. Paulsen. 1970. Alteration of carbohydrate composition of corn (*Zea mays* L.) seedlings during moisture stress. Agron. J. 62: 605-608.
- McCalla, A. G., J. R. Weir, and K. W. Neatby. 1939. Effects of temperature and sunlight on the rate of elongation of stems in maize and gladiolus. Can. J. Res. Sect. C. 17: 388-409.
- Mederski, H. J., and J. B. Jones, Jr. 1963. Effect of soil temperature on corn plant development and yield. I. Studies with a corn hybrid. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 27: 186-189.
- Mittra, M. K., and F. C. Stickler. 1961. Excess water effects on different crops. Trans. Kans. Acad. Sci. 64: 275-286.
- Newhall, F. 1947. The influence of temperature on the time interval between planting and emergence of corn in Iowa. Unpublished M.S. Thesis. Iowa State Univ., Ames.
- Newlin, J. J. 1948. The role of weather in the growth of corn and seed corn in Polk Co. Iowa. Bull. Am. Meteorol. Soc. 29: 5-8.

- Newman, J. E., and B. O. Blair. 1969. Growing degree days and dent corn maturity. Part II. Mimeo. Agron. Dep. Purdue Univ., Lafayette, Ind.
- Nicholis, P. B., and L. H. May. 1963. Studies on the growth of the barley apex. I. Interrelationships between primordium formation, apex length, and spikelet development. *Aust. J. Biol. Sci.* 16: 561-571.
- Nuttonson, M. Y. 1953. Phenology and thermal environment as a means for a physiological classification of wheat varieties and for predicting maturity dates of wheat. *Am. Inst. Crop Ecol.*, Washington, D. C.
- _____. 1955. Wheat-climate relationships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photo-thermal requirements of wheat. *Am. Inst. Crop Ecol.*, Washington, D.C.
- _____. 1957. Barley-climate relationships and the use of phenology in ascertaining the thermal and photo-thermal requirements of barley. *Am. Inst. Crop Ecol.*, Washington, D.C.
- Olson, T. C. 1971. Yield and water use by different populations of dryland corn, grain sorghum, and forage sorghum in the western Corn Belt. *Agron. J.* 63: 104-106.
- Paddick, M. E. 1944. Vegetative development of inbred and hybrid maize. *Iowa Agric. Exp. Stn. Res. Bull.* 331.
- Papadakis, J. 1966. Climates of the world and their agricultural potentialities. Av. Cordoba 4564, Buenos Aires, Argentina.
- _____. 1970. Agricultural potentialities of world climates. Av. Cordoba 4564, Buenos Aires, Argentina.
- Peaslee, D. E., J. L. Ragland, and W. G. Duncan. 1971. Grain filling period of corn as influenced by phosphorus, potassium and the time of planting. *Agron. J.* 63: 561-563.
- Pendleton, J. W. 1966. Increasing water use efficiency by crop management. p. 236-258. In: W. H. Pierre, D. Kirkham, J. Pesek, and R. Shaw (eds.). Plant environment and efficient water use. *Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am.*, Madison, Wis.
- _____, and D. B. Egli. 1969. Potential yield of corn as affected by planting date. *Agron. J.* 61: 70-71.
- _____, _____, and D. B. Peters. 1967. Response of *Zea mays* L., to a "light rich" field environment. *Agron. J.* 59: 395-397.
- Pengra, R. F. 1946. Correlation analysis of precipitation and crop yield date for the sub-humid areas of the northern Great Plains. *J. Am. Soc. Agron.* 38: 848-849.
- Peters, D. B., J. W. Pendleton, R. H. Hageman, and C. M. Brown. 1971. Effect of night air temperature on grain yield of corn, wheat and soybeans. *Agron. J.* 63: 809.

- Philip, J. R. 1957. The physical principles of soil water movement during the irrigation cycle. 32nd. Cong. Int. Comm. Irrig. and Drain. Question 8: 8-125-8.154.
- Pierce, L. T. 1958. Estimating seasonal and short term fluctuations in evapotranspiration from meadow crops. Bull. Am. Meteorol. Soc. 39: 73-78
- Power, J. F., J. J. Bond, W. A. Sellner, and H. M. Olson. 1973. Effect of supplemental water on barley and corn production in a subhumid region. Agron. J. 65: 464-467.
- Price, H. L. 1911. The application of meteorological data in the study of physiological constants. Va. Agric. Exp. Stn. Ann. Rep. 1909-1910: 206-212.
- Prine, G. M. 1971. A critical period for ear development in maize. Crop Sci. 11: 782-786.
- Purvis, A. C., and R. E. Williamson. 1972. Effects of flooding and gaseous composition of the root environment on growth of corn. Agron. J. 64: 674-678.
- Ragland, J. L., A. L. Hatfield, and G. R. Benoit. 1965. The growth and yield of corn. I. Microclimate effects on the growth rates. Agron. J. 57: 217-220.
- Rench, W. E. 1973. Climatic influences on and indices of *Zea mays* L. growth and development. Ph. D. Thesis. Iowa State Univ. Ames.
- _____, and R. H. Shaw. 1971. Black layer development in corn. Agron. J. 63: 303-305.
- Rhoades, F. M., and R. L. Stanley, Jr. 1973. Response of three corn hybrids to low levels of soil moisture tension in the plow layer. Agron. 65: 315-318.
- Rhoades, H. F., and L. B. Nelson. 1955. Growing 100-bushel corn with irrigation. USDA Yearb. Agric. p. 394-400.
- Ritchie, J. T., and E. Burnett. 1971. Dryland evaporative flux in a subhumid climate. II. Plant influences. Agron. J. 63: 56-62.
- Ritter, W. F., and C. E. Boer. 1969. Yield reduction by controlled flooding of corn. Trans. ASAE 12: 46-50.
- Robins, J. S., and C. E. Domingo. 1953. Some effects of severe soil moisture deficits at specific growth stages in corn. Agron. J. 45: 618-621.
- _____, and H. F. Rhoades. 1958. Irrigation of field corn in the west. USDA Leaflet. 440.
- Rose, J. K. 1936. Corn yield and climate in the Corn Belt. Geogr. Rev. 26: 88-102.
- Salter, P. J., and J. E. Goode. 1967. Crop responses to water at different stages of growth. Commonw. Agric. Bur. Res. Rev. 2.
- Schmidt, J. L., and A. R. Hallauer. 1966. Estimating harvest date of corn in the field. Crop Sci. 6: 227-231.

- Schwab, G. D., W. D. Shrader, P. R. Nixon, and R. H. Shaw. 1958. Research on irrigation of corn and soybeans at Conesville and Ankeny, Iowa, 1951-1955. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn. Res. Bull. 458.
- Sellschop, J. P. F., and S. C. Salmon. 1928. The influence of chilling above the freezing point on certain crop plants. J. Agric. Res. 37: 315-338.
- Shaw, R. H. 1949. Studies on corn phenology and maturity in Iowa. Ph. D. Thesis. Iowa State Univ., Ames.
- _____. 1965. The prediction of soil moisture for the winter period in Iowa. Iowa State J. Sci. 39: 337-344.
- _____. 1971. A comparison of soil and air temperatures in the spring at Ames, Iowa. Iowa State J. Sci. 45: 613-620.
- _____, and W. C. Burrows. 1966. Water supply, use and requirement. p. 121-142. In: W. H. Pierre, S. A. Aldrich, and W. P. Martin (eds.). Advances in corn production: Principles and practices. Iowa State Univ. Press, Ames.
- _____, and R. E. Felch. 1972. Climatology of a moisture-stress index for Iowa and its relation to corn yields. Iowa State J. Sci. 46: 357-368.
- _____, _____, and E. R. Duncan. 1972. Soil moisture available for plant growth in Iowa. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn. Spec. Rep. 70.
- _____, and D. R. Laing. 1966. Moisture stress and plant responses. p. 73-74. In: W. H. Pierre, Don Kirkham, J. Pesek, and R. Shaw (eds.). Plant environment and efficient water use. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wis.
- _____, and W. E. Loomis. 1950. Bases for the prediction of corn yields. Plant Physiol. 25: 225-244.
- _____, J. R. Runkles, and G. L. Barger. 1958. Seasonal changes in soil moisture as related to rainfall, soil type and crop growth. Iowa Agric. Home Econ. Exp. Stn. Res. 457.
- _____, and H. C. S. Thom. 1951 a. On the phenology of field corn, the vegetative period. Agron. J. 43: 9-15.
- _____, and _____. 1951 b. On the phenology of field corn, silking to maturity. Agron. J. 43: 541-546.
- _____, _____, and G. L. Barger. 1954. The climate of Iowa...I. The occurrence of freezing temperatures in the spring and fall. Iowa Agric. Exp. Stn. Spec. Rep. 8.
- Slatyer, R. O. 1969. Physiological significance of internal water relations to crop yield. p. 53-83. In: J. D. Eastin, F. A. Maskins, C. Y. Sullivan, and C. H. M. van Bavel (eds.). Physiological aspects of crop yield. Am. Soc. Agron. and Crop Sci. Soc. Am., Madison, Wis.
- Sopher, C. D., R. J. McCracken, and D. D. Mason. 1973. Relationships between drought and corn yields on selected south Atlantic coastal plain soils. Agron. J. 65: 351-354.

- Thompson, L. M. 1962. An evaluation of weather factors in the production of corn. Cent. for Agric. Econ. Adjustment Rep. 12T, Iowa State Univ., Ames.
- _____. 1963. Weather and technology in the production of corn and soybeans. Cent. for Agric. Econ. Development Rep. 17. Iowa State Univ., Ames.
- _____. 1966. Weather variability and the need for a food reserve. Cent. for Agric. Econ. Development Rep. 26, Iowa State Univ., Ames.
- _____. 1969. Weather and technology in the production of corn in the U. S. Corn Belt. Agron. J. 61: 453-456.
- Thorntwaite, C. W. 1952. Climate in relation to planting and irrigation of vegetable crops. The Johns Hopkins Univ. Lab. of Climatology, Seabrook, N. J.
- _____, and J. R. Mather. 1955. The water budget and its use in irrigation. USDA Yearb. Agric. p. 346-358.
- Trewartha, G. T. 1968. An introduction to climate. 4th. ed. McGraw Hill, New York.
- Ullstrup, A. J. 1966. Diseases of corn and their control. p. 419-446. In: W. H. Pierre, S. A. Aldrich, and W. P. Martin (eds). Advances in corn production: principles and practices. Iowa State Univ. Press Ames.
- USDA Foreign Agric. Serv. 1973. World agricultural production and trade. Statistical Rep. World Summaries.
- USDA. Statistical Reporting Serv., Iowa Weekly Weather and Crop Bull. 1973. USDC and USDA Stat. Rep. Serv.
- Vaadia, R., R. C. Rancy, and R. M. Hagen. 1961. Plant water deficits and physiological processes. Annu. Rev. Plant Physiol. 12: 265-292.
- Van Wijk, W. R., W. E. Larson, and W. C. Burrows. 1959. Soil temperature and the early growth of corn from mulched and unmulched soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 23: 428-434.
- Vasquez, R. 1961. Effects of irrigation at different growth stages and nitrogen levels on corn yields in Lajar Valley. P.R.J. Agric. 45: 85-105.
- Veihmeyer, F. J., and A. H. Hendrickson. 1955. Does transpiration decrease as the soil moisture decreases? Trans. Am. Geophys. Union 36: 425-428.
- Viets, F. G. 1966. Increasing water use efficiency by soil management p. 259-274. In: W. H. Pierre, Don Kirkham, J. Pesek, and R. H. Shaw (eds.). Plant environment and efficient water use. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wis.
- Visher, S. S. 1940. Weather influences on crop yields. Econ. Geogr. 16: 437-443.
- Voladarski, N. I., and L. V. Zinevich. 1960. Drought resistance of corn during ontogeny. Fiziol. Rast. 7: 176-179.
- Waggoner, P. E. 1969. Environment manipulation for higher yield. p. 343-373. In: J. D. Eastin, F. A. Haskins, C. Y. Sullivan, and C. H. M. van Bavel (eds.). Physiological aspects of crop yield. Am. Soc. Agron. and Crop Sci. Soc. Am. Madison, Wis.

- Wallace, H. A. 1920. Mathematical inquiry into the effect of weather on corn. *Monthly Weather Rev.* 48: 439-446.
- _____, and E. N. Bressman. 1937. Corn and corn growing. John Wiley & Sons, New York.
- Wang, Jen Yu. 1960. A critique of the heat unit approach to plant response studies. *Ecology* 41: 785-790.
- _____. 1963. Agricultural meteorology. Pacemaker Press, Milwaukee.
- Ward, R. DeC. 1919. The larger relations of climate and crops in the United States. *Monthly Weather Rev.* 47: 238-240.
- Willis, W. O. 1956. Soil temperature, mulches and corn growth. Ph D. Thesis. Iowa State Univ., Ames.
- _____, W. E. Larson, and D. Kirkham. 1957. Corn growth as affected by soil temperature and mulch. *Agron. J.* 45: 323-328.
- Wilson, J. H. 1968. Water relations of maize. Pt. 1. Effects of severe soil moisture stress imposed at different stages of growth on grain yields of maize. *Rhod. J. Agric. Res.* 66: 103-105.
- Wittwer, S. H. 1966. Carbon dioxide and its role in plant growth. XVII Int. Hort. Congr. Proc. 3: 311-322.
- Wolfe, T. K. 1927. A study of germination, maturity and yield in corn. Va. State Tech. Bull. 30.
- Yoshida, S. 1972. Physiological aspects of grain yield. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 23: 437-464.

LA SOCIEDAD MEXICANA DE FITOGENETICA AGRADECE A
LA ESCUELA SUPERIOR DE AGRICULTURA HERMANOS ESCOBAR,
EL APOYO BRINDADO PARA LA IMPRESION DE ESTE NUMERO
DE LA REVISTA GERMEN: