

Uso eficiente del agua en la producción de maíces nativos de color en Xalostoc, Morelos, México

Efficient use of water in the production of local coloured maize in Xalostoc, Morelos, Mexico

Utilisation efficace de l'eau dans la production des maïs natif de couleur à Zalostoc, Morelos, Mexique

Elizabeth Broa-Rojas*, Gregorio Bahena-Delgado**, Luis-Alberto Villarreal-Manzo***, Mario Valadez-Ramirez****, Miguel-Angel Jaime-Hernández*****

Recibido: 2013-00-00 // Aceptado: 2013-00-00 // Evaluado: 2013-00-00 // Publicado: 2013-12-30

Cómo citar este artículo: Broa-Rojas, E., Bahena-Delgado, G., Villarreal-Manzo, L. A., Valadez-Ramirez, M., & Hernández, M. A. J. (2013). Uso eficiente del agua en la producción de maíces nativos de color en Xalostoc, Morelos, México. *Ambiente y Desarrollo*, 17(33), 99-110.

Código SICI:

Resumen

La investigación tuvo como objetivos evaluar el rendimiento, la eficiencia de aplicación y el índice de productividad del agua en maíces nativos de color. El trabajo se estableció en primavera-verano de 2011 en Xalostoc Morelos en fertirrigación. El diseño experimental fue bloques completos al azar con quince tratamientos y tres repeticiones. Se midió rendimiento de grano, cantidad total e índice de productividad del agua. Se cosechó toda la parcela experimental. Se desgranaron las mazorcas para calcular el rendimiento. El rendimiento más alto ($p \leq 1$) fue de 4.163 kg ha⁻¹ y el más bajo de 2.039 kg ha⁻¹. Todos los rendimientos superaron el promedio nacional y estatal. Se emplearon 3002 m³ de agua por hectárea. Se obtuvo 1.4 kg de grano por cada m³ de agua. Lo anterior demuestra la eficiencia de esta tecnología.

Palabras clave: maíces criollos, índice de productividad del agua, sistema de riego por goteo, fertirrigación.

Palabras clave descriptores: utilización del agua, irrigación agrícola, México, tecnología agrícola, maíz, producción agropecuaria.

* Tesista de maestría en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional, Colegio de Postgraduados Campus Puebla. E-mail: broarojazelizabeth@yahoo.com.mx

** Doctor en Estrategias para el Desarrollo Agrícola Regional. Profesor Universidad Autónoma de Morelos-IPRO. E-mail: gbahena20@yahoo.com.mx

*** Doctor en Agricultural and Biosystems Engineering, Profesor Colegio Posgraduados. E-mail: lavilla@colpos.mx

**** Doctor en Filosofía. Profesor Colegio Posgraduados, Campus Puebla. E-mail: mvaladez@colpos.mx

***** Estudiante de Doctorado en Agricultura y Desarrollo Rural. Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UAEM. E-mail: amacuzac1999@yahoo.com.mx

Abstract

The study aims to evaluate the performance, the application efficiency and the water productivity rate in local coloured maize. The work was established in spring-summer 2011 at Xalostoc Morelos on fertigation. The experimental design was applying fifteen treatments and three replications to complete blocks chosen at random. The grain performance, the total amount and the water productivity rate were measured. The whole experimental plot was harvested. The grains from the corn cobs were removed in order to calculate the output. The highest yield ($p \leq 1$) was 4,163 kg ha⁻¹ and the lowest one was 2,039 kg ha⁻¹. All the production exceeded the national and state average. 3002 m³ of water were used per hectare. 1.4 kg of grain were obtained per each m³ of water. These results demonstrate the efficiency of this technology.

Key words: indian corn, water productivity rate, drip irrigation system, fertigation.

Key words plus: water use, agricultural irrigation, Mexico, agricultural technology, corn farming, agropecuary production.

Résumé

La recherche a visé à évaluer le rendement, l'efficacité d'application et l'indice de productivité de l'eau dans des maïs natifs de couleur. Le travail a été établi au printemps-été de 2011 à Xalostoc, Morelos, en fertigation. La conception expérimentale a été des blocs entiers randomisés avec quinze traitements et trois répétitions. Le rendement des grains, la quantité totale et l'indice de productivité de l'eau se sont mesurés. Toute la parcelle expérimentale a été récoltée. Les épis de maïs ont été égrenés pour calculer le rendement. Le rendement plus haut ($p \leq 1$) a été de 4.163 kg ha⁻¹ et le plus bas de 2.039 kg ha⁻¹. Tous les rendements ont surmonté la moyenne nationale et de l'état. 3002 m³ d'eau par hectare se sont utilisés. 1.4 kg de grain par chaque m³ d'eau ont été obtenus. Ceci montre l'efficacité de cette technologie.

Mots-clés: maïs natifs, indices de productivité de l'eau, micro-irrigation (goutte à goutte), fertigation.

Mots-clés descripteur: utilisation de l'eau, irrigation agricole, Mexique, technologie agricole, culture du maïs, production agricole.

Introducción

México es el centro de domesticación del maíz y uno de los principales centros de diversidad. En la actualidad es el cereal más importante desde el punto de vista alimenticio, económico, social e industrial, y contribuye al sostenimiento alimenticio de la población mexicana con el 69% del total de la producción de grano en el país (Vázquez, 2010).

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal básico de la alimentación mexicana. En el grano es donde se encuentra la mayor riqueza en cuanto a la diversidad genética que ofrece esta planta. El maíz se cultiva en dos ciclos productivos: primavera-verano y otoño-invierno, bajo las más diversas condiciones agroclimáticas de humedad (temporal y riego) (Rincón *et al.* 2010).

Los pequeños agricultores del país, en su mayor parte indígenas y campesinos, son quienes continúan manteniendo la diversidad del maíz en sus campos, en sus solares y en sus huertas; sin embargo, esta conservación de los materiales criollos no está dictada solamente por el aspecto económico, sino por todo un complejo entramado de costumbres, conocimientos, gustos y necesidades subjetivas (Cortés, 2010).

En las áreas de temporal y donde las lluvias son escasas o erráticas, los maíces criollos siguen siendo de gran utilidad para los productores rurales, ya que estos materiales están adaptados a condiciones ambientales específicas y conservan sus características genéticas haciendo de la plantas de maíz una de las más eficientes en la producción de grano (Carballo *et al.*, 2007). Además, presentan un buen potencial de rendimiento de grano cuando son cultivados bajo el sistema de irrigación; ya que presentan una elevada eficiencia de producción por cada litro de agua aplicado (Bahena *et al.*, 2009).

De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua (CNA) (2005) el agua es indispensable en las múltiples actividades del ser humano como la industria, el hogar, la ganadería, el turismo, la piscicultura, para beber, lavar la ropa, cocinar, y sobre todo, en la producción de alimentos agrícolas y pecuarios. Por su parte, Anaya (2001) considera que hacia el año 2025 más de 2800 millones de habitantes, se verán afectados por la escasez y contaminación del agua sufriendo graves consecuencias en la disponibilidad suficiente de alimentos y agua para beber por lo que deberán aplicarse tecnologías que permitan el ahorro y la eficiencia del agua.

La FAO (2003) considera que el uso del agua en la producción agrícola y el desarrollo rural deberá mejorar continuamente para satisfacer los objetivos de la producción de alimentos. El crecimiento económico y el ambiente, será un elemento clave para mantener la seguridad alimentaria y la generación de ingresos entre los agricultores de menores recursos; para lograr lo anterior, se requiere de un manejo adecuado de la infraestructura de aguas existente, el compromiso de los usuarios del agua y el uso de prácticas agrícolas innovadoras.

De acuerdo con la FAO (2008) la agricultura es el mayor usuario de agua del mundo: cerca del 70% del consumo total y cerca del 95% en los países en desarrollo. Además establece que en los próximos 50 años solo será posible producir alimentos si se toman las medidas urgentes para mejorar el uso del agua en la agricultura y afrontar los agudos desafíos, que en materia de agua dulce, deberá afrontar la humanidad.

La producción de alimentos requiere enormes cantidades de agua. En promedio, se necesitan 3500 litros de agua para producir los alimentos que requiere diariamente una persona, mientras que el mínimo recomendado para uso doméstico es de 50 litros diarios por persona. Los requerimientos de agua para la producción de alimentos varían según el clima: en las zonas de clima cálido, seco o ventoso se requiere de más agua para obtener el mismo volumen de producción (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP, 2006).

A menos que se siga mejorando la productividad del agua, o haya cambios importantes en los sistemas de producción, la cantidad de agua consumida por la evapotranspiración agrícola aumentará entre el 70 y el 90% hacia el año 2050. Por ello, una opción importante consiste en mejorar la agricultura de secano mediante el perfeccionamiento de las prácticas de gestión del agua y con la ordenación de tierras y suelos es posible aumentar la productividad del agua, a través de la aplicación de sistema de riego, mediante intervenciones a pequeña escala, tales como la captación del agua de lluvia y aplicar riegos complementarios para asegurar la producción de los cultivos (FAO, 2011).

La productividad del agua considera las diferencias en los valores nutricionales de los diferentes cultivos o que la misma cantidad de un cultivo alimenta más personas que la misma cantidad de otro cultivo. En la discusión sobre seguridad alimentaria es necesario tener en cuenta los criterios acerca de la productividad del agua. La productividad del agua definida en kilos por gota es un concepto útil cuando se compara la productividad del agua en diferentes partes del mismo sistema o cuenca, y también cuando se compara la productividad del agua en la agricultura con otros usos posibles del agua. (Renault & Wallender, 2000).

La agricultura es una actividad económica de alto consumo de recursos hídricos CNA (2006); por lo tanto, es imprescindible estimar la eficiencia de utilización del agua en el proceso de transformación insumo-producto. En este proceso, se establecen relaciones como insumos-productos primarios. Obviamente, en la relación agua-rendimiento se busca el incremento en la productividad del insumo agua en términos de maximizar el rendimiento del producto por unidad de volumen invertido (Sánchez *et al.*, 2006).

En la actualidad, el cambio climático influye de forma directa en la disponibilidad de este recurso en cantidad y calidad suficientes para obtener los niveles adecuados de producción agrícola y ganadera ante la creciente demanda de la población mundial. De esta manera, es necesario incrementar la productividad de los maíces criollos, ya que en México, es la fuente de alimentación principal en las comunidades rurales, además de aprovechar fuentes pequeñas de agua para producir maíz en tiempo de secas con la incorporación de tecnología.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación tuvo como objetivos principales demostrar que mediante la incorporación de tecnología moderna como el sistema de riego por goteo y la fertirrigación, es posible incrementar el rendimiento de los maíces nativos de color, el ahorro y la productividad del agua.

Materiales y métodos

Durante el ciclo primavera-verano de 2011, se establecieron en una parcela de riego por goteo y fertirrigación 15 genotipos de maíces nativos de color colectados en la Región Oriente del estado de Morelos (Tabla 1).

Ubicación del experimento

El trabajo de investigación se estableció en el ejido Xalostoc, municipio de Ciudad Ayala, en las instalaciones del campo experimental del Instituto Profesional de la Región Oriente de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Se localiza a 18° 44' 37" de latitud Norte y 98° 54' 34" de longitud Oeste, con una altitud de 1288 msnm (Google Earth, 2012), (Figura 1). El tipo de clima se clasifica como cálido subhúmedo, con lluvias en verano de junio a octubre, con precipitación anual de 950 mm; con temperatura media anual de 24 °C alcanzando temperaturas extremas de 46 °C; el suelo que predomina es el vertizol (arcilloso) (INIFAP, 2008).

Preparación del suelo, surcado y siembra

La preparación del suelo se realizó con tracción mecánica consistiendo en un barbecho y rastreo, se surcó a una distancia de 1 m entre surcos.

Sistema de riego por goteo

El sistema de riego por goteo se instaló previamente con la colocación de una bomba de 1 HP, filtro de anillos, Venturi para la aplicación del fertilizante, colocación de tuberías de 2 pulgadas, se procedió a perforar la tubería, se instalaron conectores iniciales, tubo ciego, conectores rápidos y las cintillas con el gotero hacia arriba para evitar la acumulación de sales. Una vez instalado, se procedió a verificar el buen funcionamiento para revisar fugas o taponamiento de cintillas.

Siembra

Una vez instaladas las cintillas se procedió a efectuar la siembra, que se realizó el 4 de marzo del 2011 y consistió en depositar dos semillas por mata en el lugar donde se encontraban los goteros esto es a 30 cm de distancia dando una densidad de 66.666 plantas por hectárea.

Tabla 1
Genotipos de maíz de color colectados en la Región Oriente del estado de Morelos

<i>CLAVE</i>	<i>MUNICIPIO</i>	<i>COMUNIDAD</i>	<i>COLOR</i>
1NPoM1	Temoac	Popotlán	azul
2NJM1	Joncatepec	Joncatepec	azul
3NIM1	Tepalcingo	Ixtlilco	azul
4RIM1	Tepalcingo	Ixtlilco	rojo
5NAM1	Joncatepec	Amacuitlapilco	azul
6NTM1	Axochiapan	Tlalayo	azul
7RTeM1	Tepalcingo	Tepehuaje	rojo
8NPM1	Axochiapan	Palo blanco	azul
9RTM1	Axochiapan	Tlalayo	rojo
10RAM1	Joncatepec	Amacuitlapilco	rojo
11NXM1	Ayala	Xalostoc	azul
12RChM1	Joncatepec	Chalcatzingo	azul
13UAEMR	Ayala	Xalostoc	rojo
14UAEMN	Ayala	Xalostoc	azul
15RPM2	Axochiapan	Palo blanco	rojo

Fuente: elaboración propia.

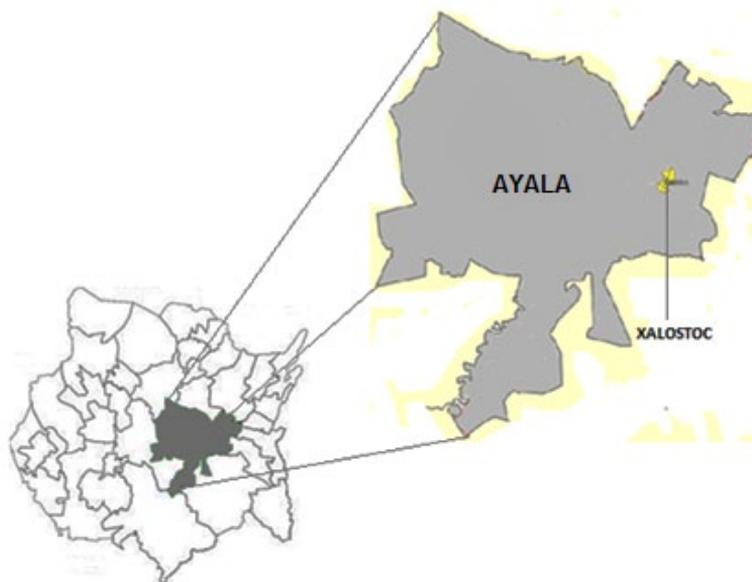


Figura 1. Ubicación del campo experimental de la UAEM, Xalostoc, Morelos
Fuente: elaboración propia.

Control de malezas

El control de malezas se realizó mediante el método químico empleando Atrazina (Gesaprim calibre 90 GDA) a razón de 1.5 kg de i. a. por ha y posteriormente 2, 4-D Amina (Hierbamina) a razón de 1.5 l de i. a. por ha.

Riegos

Para determinar la lámina de riego se empleó el método indirecto considerando la evaporación media mensual y la fenología del cultivo, empleando la siguiente fórmula:

$$ETC = Kc \cdot ETo = Lr = \frac{EV \cdot Kc \cdot Kp}{Ea}$$

Donde:

ETC= Evapotranspiración máxima mensual, mm

ETo= Evapotranspiración del cultivo de referencia, mm EV= Evaporación en mm

Lr = Lámina de riego en mm

Kc= Coeficiente de ajuste en función del desarrollo vegetativo del cultivo mediante la curva única de Hansen, adimensional Kp= Coeficiente del tanque evaporímetro tipo "A" (0.75) (Doorembos & Pruitt, 1977)

Ea= Eficiencia de aplicación del sistema de riego, adimensional.

Los riegos se efectuaron diariamente desde la siembra hasta la cosecha, revisando previamente la instalación eléctrica, equipo de bombeo, filtro, tubería cintas de riego, conectores para evitar fugas y desperdicio de agua y nutrientes.

Fertilización

La fórmula de fertilización que se empleó fue 140-110-160 kg de nitrógeno, fósforo y potasio por hectárea respectivamente. El fertilizante fue de tipo soluble y se aplicó una vez que se tuvo el 100% de emergencia del cultivo de acuerdo con las etapas fenológicas del cultivo, esto sucedió a los seis días después de la siembra, se disolvió previamente y se incorporó al sistema de riego por goteo mediante un inyector tipo Venturi. La aplicación se hizo diariamente hasta que el grano alcanzó la madurez fisiológica.

Control de plagas

La principal plaga que se presentó fue el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*); sin embargo, no se consideró la aplicación de insecticidas y su control fue biológico.

Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fue el de bloques completos al azar con quince tratamientos y tres repeticiones. La unidad experimental estuvo constituida por 4 surcos de 6 m de longitud (24 m²). El análisis de varianza fue efectuado con el paquete estadístico SAS (2008) (*Statistical Analysis Sistem*).

Variables evaluadas

Para lograr los objetivos planteados se determinó el rendimiento de grano, la cantidad total de agua empleada y el índice de productividad del agua y para controlar la cantidad total de agua empleada en la producción del cultivo se colocaron recipientes en la parcela experimental en los que se captó el volumen de agua en diferentes goteros por cada riego durante todo el ciclo productivo. Con el fin de determinar el índice de productividad del agua, se procedió a dividir el rendimiento de grano obtenido entre la cantidad total de agua empleada. Definiendo la productividad del agua en los cultivos (WP) como la cosecha producida por unidad de agua consumida en la producción (t/m³ o kg/m³). El numerador puede ser expresado en términos de rendimiento del cultivo, mientras que en el denominador puede usarse la transpiración, la evapotranspiración, el agua aplicada o agua total entre otros (Stewart *et al.*, 1977; Molden, 1997; Dehghanisanij *et al.*, 2009).

En este trabajo se utilizó la siguiente definición de IPA:

$$\text{IPA (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{R (kg)}}{\text{CTAA (m}^3\text{)}}$$

Donde:

IPA= Índice de Productividad del Agua

R= Rendimiento (kg)

CTAA= Cantidad Total de Agua Aplicada (m³)

El rendimiento de grano por hectárea se calculó con base en el peso de grano seco de las mazorcas cosechadas de toda la parcela al 12% de humedad, expresándolo en t ha⁻¹. El peso del grano de las mazorcas cosechadas en la parcela se realizó con una balanza digital marca AE ADAM modelo AQT-1500 con precisión de ± 0.1g.

Para calcular el rendimiento por hectárea se empleó la siguiente fórmula (Reyes, 1990):

$$\text{t ha}^{-1} = \frac{\text{RPC X NPH}}{1000}$$

Donde:

RPC= Rendimiento de la parcela cosechada

NPH= Número de parcelas por hectárea

Análisis estadístico

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa estadístico SAS (*Statistical Analysis System*). La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tukey ($p \leq 0.01$) cuando existieron diferencias estadísticas significativas.

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos del análisis de varianza ($P < 0.01$) mostraron diferencias estadísticas significativas entre los genotipos evaluados. En la Figura 2 se puede observar que la población que mayor rendimiento obtuvo en promedio fue la número 5 con 4,163 kg ha⁻¹ seguida de la población 12 con un promedio de 3,425 kg ha⁻¹ mientras que la población 11 fue la que obtuvo el menor promedio de rendimiento con 2,039 kg ha⁻¹. Adicionalmente, los genotipos 1, 3, 4, 9 y 13 superaron el rendimiento promedio nacional de maíz de temporal que es de 2.3 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2009) y el rendimiento promedio estatal que es de 1.86 t ha⁻¹ (Ortega, 2010).

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede observar que los rendimientos se incrementaron significativamente en todos los genotipos evaluados en comparación con los rendimientos promedio tanto nacionales como del estado de Morelos, lo que demuestra la importancia de aplicar la cantidad de agua que necesitan las plantas en todas las etapas fenológicas del cultivo, principalmente en la etapa de floración, lo que asegura una buena polinización y de esta manera, un incremento en los rendimientos de grano.

De igual forma, la aplicación de nutrientes de acuerdo con la etapa fenológica de las plantas se tradujo en mayores rendimientos, lo anterior coincide con lo reportado por Armenta *et al.*, (2001) quienes encontraron que la concentración de nutrimentos suministrada en la solución nutritiva debe ser de acuerdo con la etapa fenológica del cultivo. Resultados similares fueron reportados por Bahena *et al.*, (2009) quienes obtuvieron rendimientos que oscilaron entre los 3,406 y 2,112 kg ha⁻¹ en maíces de color cultivados en riego por goteo y fertirrigación. Lo anterior indica que existen materiales criollos con potencial de rendimiento si se les proporcionan nutrientes y agua de acuerdo con sus etapas fenológicas en momentos críticos como la floración y la polinización.

Cantidad total de agua aplicada (m³)

Los resultados obtenidos de la aplicación del agua a través del sistema de riego por goteo muestran que se utilizaron en total 3002 m³ por ha, y en total se dieron 57 riegos de dos horas y media en promedio (ver Tabla 2), lo que indica que con el sistema de riego por goteo se tiene un ahorro significativo de agua en la producción de las cosechas. Este sistema es una excelente opción para hacer una aplicación más eficiente de un recurso tan escaso e importante como el agua ya que, en este caso, se coloca de manera directa en las raíces de la planta de acuerdo con las necesidades en cada etapa de desarrollo fenológico. Este sistema evita que se tenga una elevada evaporación del agua del suelo, ya que solo se aplica en pequeños caudales pero de manera constante y por períodos cortos, aumenta el rendimiento de los cultivos al aumentar la transpiración y la fotosíntesis.

Tabla 2
Número de riegos y cantidad total de agua aplicada en los genotipos evaluados

<i>RIEGOS TOTALES</i>	<i>CANTIDAD TOTAL DE AGUA EN 720 M²</i>	<i>CANTIDAD TOTAL DE AGUA EN 10 000 M²</i>
57	221m ³	3002m ³

Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del análisis.

Resultados similares fueron reportados por Howell *et al.* (2008b) en un trabajo realizado en maíz para forraje. Aplicaron una cantidad total de agua de 418 m³ por ha en el año 2006 y de 671 m³ por ha en el año de 2007. Mientras que Bahena y Tornero (2007) obtuvieron un ahorro significativo hasta del 90.2% en el uso del agua de riego y rendimientos de 9 toneladas por hectárea de maíz para grano, al comparar el riego por gravedad con el sistema de riego por goteo.

Tal como lo establece CONAGUA (2008), el 77% corresponde al uso agrícola, pecuario y acuicultura, 14% al público, y 9% a las industrias que obtienen agua de ríos y acuíferos; ya que en el sector agrícola la eficiencia del agua oscila entre el 33 y 55%, esto se complica aún más porque la disponibilidad es escasa en amplias zonas del territorio y la eficiencia en el uso del agua de riego en general son bajas. Esta situación se torna más crítica si consideramos que el crecimiento poblacional que se presenta en nuestro país requiere una mayor producción agrícola para cubrir las crecientes necesidades alimentarias.

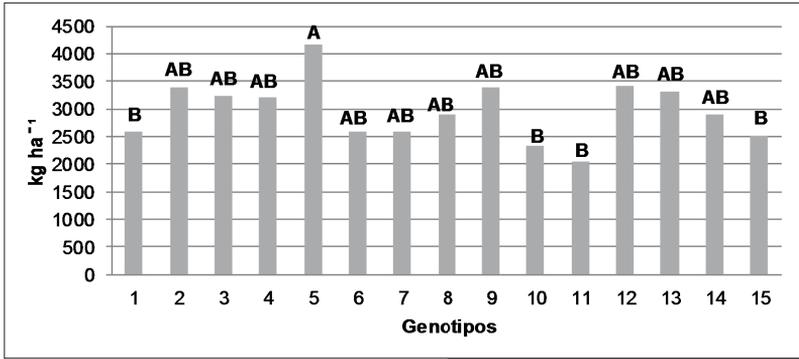
Índice de Productividad del Agua (kg/m³)

Los resultados obtenidos en la producción de grano se muestran en la Gráficas 1 y 2 donde se puede observar que el genotipo que utilizó menor cantidad de agua se vió reflejada en la producción obtenida: (NAM1) con un gasto de 722 litros por kilogramo y una producción de 1.4 kg/m³; y el mayor consumo de agua fue (NXM1) que utilizó 1472 litros por kilogramo y solamente produjo 0.68 kg/m³.

Lo anterior indica que existieron algunos genotipos que al estar sometidos bajo el sistema de riego por goteo alcanzaron una excelente productividad del agua, ya que esta al ser colocada directamente en las raíces de las plantas, evita una lixiviación y una excesiva evapotranspiración del agua, pues cada gota de agua que se aplica debe traducirse ya sea en materia, verde, seca o rendimiento de cosechas y productividad del agua desde el punto de vista económico.

Por otra parte, se puede observar que existieron genotipos que al emplear un mayor volumen de agua y con esta obtener baja producción de grano, así tuvieron una baja o casi nula productividad del agua pues se requiere un mayor volumen de ésta y el rendimiento obtenido no es suficiente para justificar dicho gasto, lo que probablemente se debió a las condiciones climáticas prevaletientes en la época de primavera.

Resultados similares fueron reportados por (Howell *et al.*, 2008b) quienes en un cultivo de maíz obtuvieron 3.63 kg por cada m³ de agua en el año 2006 y 3.64 kg por m³ de agua utilizada en el año 2007. Al respecto (Keller, 2005) considera que existe una fuerte correlación entre el rendimiento de maíz y la evapotranspiración de las plantas y la productividad del agua se maximiza mejor en áreas pequeñas que en áreas grandes con el mismo volumen de agua consumida.



Gráfica 1. Rendimiento de maíces criollos de color en fertirrigación

Fuente: elaboración propia con datos del análisis estadístico.

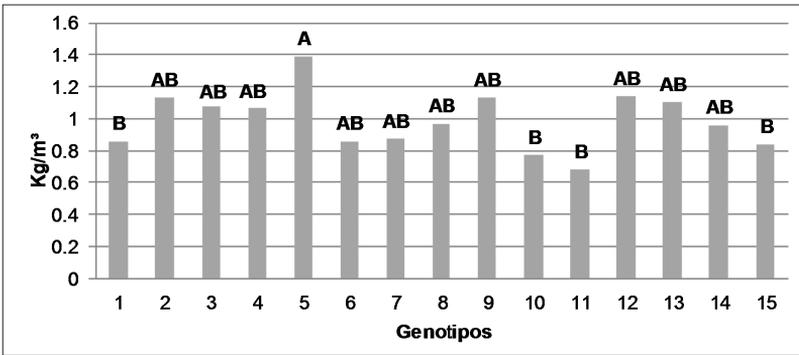


Gráfico 2. Índice de productividad del agua

Fuente: elaboración propia con datos del análisis estadístico.

Por su parte, (Howell, 2001a) obtuvo un alto índice de productividad del agua 1.2 a 1.5 kg por m³ de agua aplicada en el cultivo de maíz. Mientras que (Bahena & Tornero, 2007) quienes reportaron que por cada kg de maíz producido se utilizaron 85 litros de agua mediante el sistema de riego por goteo con la técnica de fertirrigación.

En tanto que González *et al.* (2010) obtuvieron índices de productividad del agua en maíz a partir de los datos experimentales en promedio 1.96 kg/m³ dependiendo del manejo del riego y al clima en el momento del cultivo. Otros autores reportan para USA, China, y algunos países de Europa índices de productividad del agua superior a los 1,5 kg/m³, mientras que en muchos países de África reportaron una baja productividad del agua de 1 kg/m³ (Liu *et al.*, 2008).

Por lo tanto, el sistema de riego por goteo con la técnica de fertirrigación puede ser empleado para suministrar el agua de acuerdo con las etapas fenológicas de las plantas, ya que ahorra agua de forma significativa en comparación con los sistemas convencionales de riego y es posible incrementar los rendimientos del cultivo de maíz por cada litro de agua empleado. Es un sistema de riego muy adecuado para pequeñas extensiones de siembra, permite incrementar la superficie de cultivo, el ahorro de agua es significativo, reduce la contaminación de los mantos freáticos debido a la poca percolación de los fertilizantes. El riego por goteo también ofrece la ventaja de poder trabajar el campo durante todo el ciclo de cultivo, ya que los surcos siempre están secos. El sistema radicular mucho más robusto evita el estrés hídrico y la uniformidad en la aplicación del riego se transforma en la uniformidad del cultivo y en mejores rendimientos.

Conclusiones

El sistema de riego por goteo y fertirrigación permitió incrementar los rendimientos de grano en los genotipos de maíces nativos de color en un 81% en comparación a los rendimientos promedios nacionales en condiciones de temporal, esto se debe a que es un sistema que distribuye el agua en forma homogénea en el lugar donde se encuentran las raíces de las plantas, así como una distribución homogénea de los nutrientes, además de que permite un mejor control de malezas, lo que se traduce en incrementos notables en el rendimiento.

El sistema de riego por goteo con la técnica de fertirrigación permite tener ahorro de agua hasta un 90% en comparación con el sistema de riego por gravedad y se convierte en un sistema adecuado para el ahorro del agua en la producción de los cultivos.

El sistema de riego por goteo es de suma importancia para aumentar la productividad de las cosechas por cada litro de agua aplicado ya que permitió obtener un índice de productividad del agua de 1.4 kg/m³ equiparado a los índices de productividad del agua obtenidos en países de Europa, África y Asia que es de 1.5 kg/m³ de agua empleada. Es una excelente opción para aumentar la superficie de secano y la producción de alimentos por unidad de superficie.

Referencias

- Anaya, G. M. (2001). *Manual sobre sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico y consumo humano*. Colegio de postgraduados, Montecillos, Texcoco Estado de México.
- Armenta, A., Baca G., Alcántar, G., Kohashi, J., Valenzuela, G., & Martínez, A. (2001). Relaciones de nitratos y potasio en fertirriego sobre la producción, calidad y absorción nutrimental de tomate. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 7(1), 61-75.
- Bahena, D. G., & Tornero, C. M. A. (2007). La tecnología de microirrigación, una alternativa para el manejo sustentable del agua en la producción de maíz en el estado de Morelos, México. *Revista Agricultura*, 892(1), 42-49.
- Bahena, G., Broa, E., Vázquez, S.J.M., Morales, M., Delgado, I., & Sainz, M. de J. (2009). Sustentabilidad del agua en la producción de maíces criollos, en Xalostoc, Morelos. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 6(2), 197-205.
- Carballo, C. A., & Hernández, G. J. A. (2007). *Selección y manejo de maíces criollos*, SAGARPA, COLPOS, México D.F., 8 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). (2005). *Identificación de reservas potenciales de agua para el medio ambiente en México*. México, D. F.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). (2006). *Estadísticas del agua en México*. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, D. F., 35 p.
- Comisión Nacional del Agua (CNA). (2008). *Programa Nacional Hídrico 2007-2012*, México, D. F., 13-32.
- Cortés, E. L. (2010). *Estudio de factores que intervienen en la declinación de razas criollas de maíz en la región Valles Altos, en el estado de México y en el Distrito Federal*. INIFAP. Centro de Investigación Región Centro, Campo Experimental Valle de México. Texcoco, Edo. De México.
- Dehghanisani, H., Nakhjavani, M., Tahiri, Z., & Anyoji, H. (2009). Assessment of wheat and maize water productivities and production function for cropping system decisions in arid and semiarid regions, *Irrig. And Drain*, 58, 105-115.
- Doorenbos, J., & Pruitt, W.O. (1977). Las necesidades de agua de los cultivos. FAO. Serie *Riego y Drenaje*. Tomo 24. Food and Agriculture Organization (FAO). (2003). *Descubrir el potencial del agua para la agricultura*. Roma, Italia.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2008). *Agua para la alimentación agua para la vida*. Roma, Italia.
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. Cómo gestionar los sistemas en peligro*. Roma, Italia pp. 22-23.
- González, R. F., Herrera, P. J., & López, S. T. (2010). Productividad del agua en maíz, soya y sorgo en suelo Ferralítico Rojo del sur de La Habana. *Rev. Cie Têc Agr* [on line], 2010, vol.19, n.º1 [recuperado de <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=el> el 14 de agosto de 2013 [pp. 95-97].
- Google Earth (2012). *Europa technologies*.
- Howell, T. A. (2001a). Subsurface and surface microirrigation corn-Southern High Plains. *transaction. transaction of ASAE* 40, 635-641.
- Howell, T. Evett, S., Tolú, J., Copeland, K., Colaizzi, P., & Gowda, P. (2008b). *Evapotranspiration of corn and forage sorghum for silage*. USDA. Experiment station RD-SHIP. Matamorales, Texas. USA.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2008). *Estadísticas climatológicas básicas del estado de Morelos*. Libro técnico (3) 53-54.
- Keller, A. (2005). *Evapotranspiration and crop water productivity: Making sense of the yield-ET relationship. Impacts of*

- global climate change*. American Society of Civil engineers. USA.
- Liu, J., Zehnder, A. J. B., & Yang, H. (2008). Drops for crops: Modelling crop water productivity on a global scale, *Global NEST Journal*, 10(3), 295-300.
- Molden, D. (1977). *Accounting for water use and productivity*, 16pp, swim Paper 1. International Irrigation Management Institute: Colombo, Sri Lanka.
- Ortega, A., Noel, O. G., Coutiño, B., & Trujillo, A. (2010). *Conocimiento de la diversidad y distribución actual del maíz nativo y sus parientes silvestres en México, segunda etapa 2008-2009*. Informe Final FZ016. México D.F.
- Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). (2006). *El agua, una responsabilidad compartida*, 2do. Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los recursos Hídricos. UNESCO, p.1
- Renault, D., & Wallender, W. W. (2000). Nutritional water productivity and diets: from 'crop per drop' towards 'nutrition per drop'. *Ag. Wat. Man.*, 45, 275-296.
- Stewart, J. I. (1977). *Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil*. Utah Water Res. Lab., Utah State University, Logan. Pub. N°. PRNG 151-1.
- Reyes, C. P. (1990). *Diseño de experimentos aplicados*. Tercera edición. México. Edit. Trillas, pp. 85-87.
- Rincón, S. F., Ruiz, T. N. A., Cuéllar, F. R., & Sandoval, R. H. (2010). *Evaluación y caracterización de poblaciones experimentales de maíz*. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Departamento de Fitomejoramiento. Saltillo, Coahuila. México, 116 p.
- Sánchez, C. I., Macías, R. H., Heilman, P., González, C. G., Mendoza, M. S. F., Inzunza, I. M. A., & Estrada, A. J. (2006). Planeación multiobjetivo en los distritos de riego de México. Aplicación de un sistema de auxilio para la toma de decisiones. *Ingeniería Hidráulica en México*, 21(3), 101-111.
- Stewart, J. I. (1977). *Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil*. Utah Water Res. Lab., Utah State University, Logan. Pub. N°. PRNG 151-1.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2009). Síntesis del Sector Agropecuario de Morelos, 16 p.
- Statistical Analysis System (SAS). Institute Inc. 2008. SAS user's guide. Statistics. Versión 9.1. Cary N.C. 943 p.
- Vázquez, C. M. G. (2010). *Componentes del grano y usos potenciales*. INIFAP. Centro de Investigación Región Centro, Campo Experimental Valle de México. Texcoco, Edo. de México.