



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN

**Riego deficitario controlado en el cultivo de maíz
(*Zea mays*) en Cuautitlán Izcalli, Edo. México**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

PRESENTA

CAYETANO HERNÁNDEZ VERÓNICA

ASESOR: ALONSO SÁNCHEZ HOMERO

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE TITULACIÓN

UNAM
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DR. DAVID QUINTANAR GUERRERO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: DRA. MARÍA DEL CARMEN VALDERRAMA BRAVO
Jefa del Departamento de Titulación
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la: **Tesis**

Riego deficitario controlado en el cultivo de maíz (Zea mays) en Cuautitlán Izcalli, Edo. México

Que presenta la pasante: **Verónica Cayetano Hernández**
Con número de cuenta: **313167250** para obtener el Título de: **Ingeniera Agrícola**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a de 27 de Abril de 2022.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Dra. Gloria María Solares Díaz	
VOCAL	Dr. Joob Anastacio Zaragoza Esparza	
SECRETARIO	Dr. Homero Alonso Sanchez	
1er. SUPLENTE	Dra. Martha Elena Domínguez Hernández	
2do. SUPLENTE	Ing. Gustavo Mendoza Rivera	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater, la Universidad Nacional Autónoma de México, por todo el apoyo brindado para desarrollarme personal y profesionalmente a lo largo de mi vida académica.

A la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán y la carrera de Ingeniería Agrícola, por todos los conocimientos adquiridos y por abrirme paso a crecer como profesionalista.

A toda mi familia: padres, hermanos, primos y tíos; por todo el amor, impulso y apoyo incondicional.

A mis amigos, por todas las experiencias vividas dentro y fuera de las aulas, y sobre todo por la ayuda, motivación y aprendizajes de vida que brindaron durante mi vida universitaria.

Agradezco al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT: IA208519) por el financiamiento del proyecto y al “Programa para Actividades Especiales de Cooperación Interinstitucional” (PAECI) por hacer posible la estancia en la Universidad de Castilla-La Mancha, en la cual tuve la oportunidad de desempeñar y aprender más acerca de mi proyecto.

Mi agradecimiento especial a mi asesor, el Dr. Homero Alonso Sánchez, por el increíble desempeño que tiene como docente y por las clases impartidas que despertaron aún más mi interés en el área. Gracias por todas las facilidades y apoyo brindados durante la realización del proyecto aun a pesar de las adversidades que se presentaron durante el desarrollo de éste.

También se agradece al Dr. Gustavo Mercado Mancera por los datos proporcionados de las variables del clima medidas en la estación climatológica de la FESC.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	III
RESUMEN.....	IV
REVISIÓN DE LITERATURA.....	2
1.1. El agua en la agricultura.....	2
1.2. Evapotranspiración del cultivo según la FAO.....	3
1.3. Estrés hídrico.....	5
1.4. Efectos del estrés hídrico en las plantas.....	6
1.5. Riego deficitario.....	7
1.6. Importancia del cultivo de maíz.....	9
1.7. Riego deficitario en maíz.....	10
1.7.1. Fenología del maíz.....	14
II. OBJETIVO	16
2.1. Objetivo.....	16
2.2. Objetivos particulares.....	16
2.3. Hipótesis.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	17
3.1. Localización del experimento.....	17
3.2. Tratamientos y diseño experimental.....	17
3.3. Evaluación de tratamientos.....	19
3.3.1. Híbridos utilizados.....	22
3.4. Aplicación de tratamientos.....	22
3.5. Manejo agronómico.....	24

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1. Comparación de medias del factor híbridos (A)	27
4.2. Comparación de medias para el factor del nivel de estrés (B).....	33
4.3. Variables hidroclimáticas.....	37
V. CONCLUSIONES.....	40
VI. LITERATURA CITADA	42

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Cuadro 1	Diferentes tratamientos de riego deficitario en maíz.	12
Cuadro 2	Etapas vegetativas y reproductivas del maíz.	14
Cuadro 3	Niveles de los factores que conforman los 30 tratamientos para el diseño experimental	18
Cuadro 4	Híbridos utilizados en el experimento	22
Cuadro 5	Factor de déficit para los diferentes tratamientos.	23
Cuadro 6	Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas en híbridos de maíz de Valles Altos con diferentes niveles de déficit hídrico. Ciclo P-V 2020.	26
Cuadro 7	Comparación de medias entre híbridos de maíz para Valles Altos. Ciclo P-V, 2020.	27
Cuadro 8	Comparación de medias entre híbridos de maíz para Valles Altos. Ciclo P-V, 2020. (Continuación cuadro 7)	28
Cuadro 9	Comparación de medias entre híbridos de maíz para Valles Altos. Ciclo P-V, 2020. (Continuación cuadro 7)	30
Cuadro 10	Comparación de medias entre híbridos de maíz para Valles Altos. Ciclo P-V, 2020. (Continuación cuadro 7)	31
Cuadro 11	Comparación de medias entre niveles de estrés de las variables agronómicas del cultivo de maíz.	33
Cuadro 12	Comparación de medias entre niveles de estrés de las variables agronómicas del cultivo de maíz. (Continuación cuadro 11)	34
Cuadro 13	Comparación de medias entre niveles de estrés de las variables agronómicas del cultivo de maíz. (Continuación cuadro 11)	35
Cuadro 14	Comparación de medias entre niveles de estrés de las variables agronómicas del cultivo de maíz. (Continuación cuadro 11)	36
Figura 1	Resultados obtenidos en diferentes tratamientos de RDS (Mendoza <i>et al.</i> 2016)	11

RESUMEN

Uno de los factores más importantes en la producción agrícola es el agua, sin el recurso hídrico es imposible establecer una producción. En los últimos 50 años se ha generado una mayor demanda del recurso debido al aumento de la población y a la necesidad de producir mayor cantidad de alimentos “con el rápido crecimiento de la población, las extracciones de agua se han triplicado en los últimos 50 años. Esta tendencia se explica en gran medida por el rápido incremento del desarrollo de sistemas de irrigación, estimulados por la alta demanda de alimentos en los años 70 y por el continuo crecimiento de economías basadas en la agricultura” (UNESCO, 2009).

Por lo anterior, se buscan alternativas para racionar de mejor manera el líquido y/o disminuir la cantidad utilizada. Una de las alternativas que se tienen para el sector agrícola es el riego deficitario, que consiste en racionar y disminuir la cantidad de agua, de tal forma que la planta la aproveche de mejor manera sin que afecte la calidad y el rendimiento en la cosecha del producto (García, 2013).

Dentro de las diferentes estrategias de Riego Deficitario se encuentra el Riego Deficitario Controlado (RDC) que consiste en disminuir la cantidad de agua aplicada al cultivo en fases estratégicas, donde el estrés hídrico no repercuta en la producción final.

Dada la importancia socioeconómica que tiene el maíz en México existe una gran diversidad de materiales híbridos y nativos según las condiciones geográficas donde se cultiva. Para los Valles Altos de México existen diversos híbridos recomendados para las condiciones edáficas y climáticas que prevalecen en esta región. El INIFAP y la UNAM han desarrollado algunos materiales que se hacen llegar a los productores a través de la transferencia de tecnología. En estos últimos no hay suficientes trabajos de investigación sobre las variables hídricas que

proporcionen una herramienta útil en la toma de decisiones en el panorama generalizado de escasez de agua.

Con el objetivo de estudiar el impacto que tiene el RDC las variables agronómicas del cultivo de maíz, se condujo un ensayo durante el periodo primavera-verano del año 2020 en la parcela agrícola de la FES Cuautitlán. El ensayo de riego consistió en un experimento con diseño en bloques completos al azar con dos factores a saber; déficit o estrés de riego (A) con tres niveles, déficit del 10% (a1), déficit del 20% (a2) y riego óptimo (a3); híbridos de maíz (B) con 10 materiales recomendados para Valles Altos.

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. El agua en la agricultura

El agua es fundamental para la vida en sí, es uno de los principales constituyentes de los seres vivos, compone alrededor del 85% de la biomasa de las plantas y es vital para el buen funcionamiento de los procesos fisiológicos.

García *et al.* (2001) señala que “El agua cumple con tres funciones principales en las actividades fisiológicas de la planta, como constituyente, forma parte importante del protoplasma, así como de proteínas y lípidos. Una reducción del contenido de agua en las células, por debajo del nivel crítico ocasiona cambios en la estructura celular y finalmente la muerte; como solvente, permite que gases, minerales y otros solutos se muevan entre células y órganos de la planta y como reactante o sustrato para muchos procesos importantes, como la fotosíntesis”. Según Vélez (2012) existen algunas plantas que pueden soportar el estrés hídrico disminuyendo su actividad metabólica.

Carmen Betancourt (2017) menciona que para el año 2030 el agua disponible en el mundo será un 40% menor con respecto a la demanda total de agua. Se dice también que entre el 15 y 20% del área cultivable en el planeta se encuentra bajo riego y contribuye entre el 33 y 40% de la producción de alimento, pero para el año 2030 esta superficie irrigada puede aumentar al 46% y será afectada por problemas relacionados con el cambio climático como pueden ser cambios en los regímenes de lluvia.

De igual manera, el agua es el factor más limitante en la agricultura y es la actividad agrícola la que consume cerca del 70% del agua dulce que se encuentra disponible en el planeta, a esto se

suma que la población va en aumento y, por lo tanto, también la demanda de alimentos (Gilbert, 2010). Asimismo, la influencia del cambio climático limita la disponibilidad de agua en algunas zonas, lo cual genera que las plantas estén sometidas a niveles elevados de estrés hídrico y en algunos cultivos puede llegar a afectar casi todas las funciones vegetales que generan una reducción en la producción y/o en la calidad final del producto, por ello es importante buscar métodos que ayuden a disminuir el consumo de agua sin afectar el rendimiento final del cultivo ni la calidad requerida para su consumo, de esta manera se contribuye a la seguridad hídrica y alimentaria en el país.

1.2. Evapotranspiración del cultivo según la FAO

La FEADER (2018) define la transpiración como “El proceso por el cual el agua se evapora, sobre todo desde los tejidos internos de las hojas de las plantas, una vez que ha pasado, junto con ciertos nutrientes, desde el suelo a las raíces de las plantas y de ellas a través de los tallos a la atmósfera”.

Existe una gran dificultad para separar e identificar la evaporación del suelo y la transpiración de los cultivos, es por ello por lo que se crea el concepto de evapotranspiración, el cual incluye a ambos y va a ser diferente para cada cultivo (ETc). Los valores de ETc, son los valores que se utilizan normalmente en el diseño de los sistemas de riego, ya que estos son los valores más próximos a las necesidades de riego.

De acuerdo con el Boletín 56 de la FAO, la evapotranspiración del cultivo ET_c se calcula como el producto de la evapotranspiración del cultivo de referencia, ET_o y el coeficiente de cultivo K_c :

$$Etc = Eto * Kc \quad (3)$$

Donde:

ET_c = Evapotranspiración del cultivo (mm d^{-1})

ET_o = Evapotranspiración del cultivo de referencia (mm d^{-1})

K_c = Coeficiente del cultivo (adimensional)

Dentro de ET_o se encuentran incorporados la mayoría de los efectos de los diferentes factores meteorológicos, sin embargo, debido a la falta de información confiable sobre los valores de resistencia aerodinámica y de resistencia de la vegetación, correspondientes a distintas superficies cultivadas, la ET_o , se estima solamente a partir de una superficie hipotética de un cultivo de pastos, bien regada, la cual considera valores fijos de altura de cultivo, albedo y resistencia de la superficie.

El K_c es básicamente el cociente entre la evapotranspiración del cultivo ET_c y la evapotranspiración del cultivo de referencia ET_o , este valor representa el límite máximo de evapotranspiración del cultivo cuando no existen obstáculos al crecimiento de este debido a las limitaciones de agua, densidad del cultivo, enfermedades, malezas, insectos o excesiva salinidad. Dadas estas condiciones, la FAO, ha transferido valores estándar del K_c entre distintas áreas geográficas y climas.

1.3. Estrés hídrico

De acuerdo con Larcher (1995) “el estrés se define como cualquier factor biótico o abiótico que puede alterar significativamente un proceso fisiológico en el organismo afectado”.

Las plantas están expuestas a diferentes tipos de estrés, como el salino, el nutrimental, el térmico y el biótico, entre otros. Cada uno de ellos provocan un efecto diferente en la planta, y un tipo de estrés puede provocar que sea susceptible a otro debido a que los factores que causan el estrés se presentan de forma conjunta. A pesar de ello, las plantas son capaces de resistirlo mediante la activación de mecanismos que disminuyen o retardan la acción por medio de respuestas morfofisiológicas, celulares, bioquímicas y moleculares. Según Bray (1997) estas respuestas estarán dadas por la severidad y duración del estrés, la especie en la que se presente y el genotipo de ésta, la etapa fenológica en la que se presente, el órgano vegetal y el tipo celular. Estos factores, cuando se presentan en plantas cultivadas provocan la reducción del rendimiento.

Sánchez (2000) señala que el agua líquida permite la difusión y el flujo de solutos, de tal manera que funciona como transporte y distribución de nutrientes y metabolitos en toda la planta. “La deshidratación de los tejidos por debajo de un nivel crítico, se acompaña de cambios irreversibles en la estructura y finalmente la muerte de la planta”.

Medrano y Flexas (2003) definen el estrés hídrico como “cualquier limitación al funcionamiento óptimo de las plantas impuesta por una insuficiente disponibilidad de agua”.

El déficit hídrico se refiere a la falta del suministro de agua en los tejidos, por tanto, se considera como sinónimo de estrés hídrico.

Hsiao (1973) describe que el estrés hídrico se presenta en tres grados:

- **Estrés leve:** Potencial hídrico entre -0.20 y -0.80 MPa o una disminución en el Contenido Relativo de Agua (CRA) en un 8-10 % respecto a las plantas bien regadas bajo leve demanda evaporativa.
- **Estrés moderado:** Potencial hídrico entre -0.81 y -1.49 MPa o una disminución del CRA entre un 10 y un 20 %.
- **Estrés severo:** Disminución del potencial hídrico mayor a 15 bares (-1.5 MPa) o disminución del CRA mayor a un 20 %.

1.4. Efectos del estrés hídrico en las plantas

Aunque el déficit hídrico en la planta sea mínimo, el efecto sobre su desarrollo será al instante, de igual manera sobre los procesos como la fotosíntesis, transporte y acumulación de solutos. Si las células vegetales pierden agua y su turgencia disminuye, se cierran los estomas y se pierde la integridad de la membrana. Si la pérdida es total entonces hay desecación, pero principalmente la fotosíntesis se reduce y de igual manera el crecimiento se ve afectado (Hsiao, 1973).

De acuerdo con Bray (2002) la transpiración es “la liberación de agua de la planta a través de los estomas” y bajo condiciones de estrés, el contenido de humedad en el suelo disminuye reduciendo el movimiento de agua al interior de las células; se dice que las raíces son el principal sensor del estrés hídrico y al deshidratarse provocan un cambio bioquímico debido a que la concentración de los nutrimentos cambia en el suelo y su translocación suele disminuir a causa de la baja transpiración, el agua que se transpira no es reemplazada y la célula entonces también pierden turgencia.

La fotosíntesis también se ve afectada por el cambio en la apertura y cierre de estomas, debido al estrés, los estomas se cierran y la toma de CO₂ se reduce provocando de esta manera una disminución de la tasa fotosintética. Como consecuencia de la reducción de la fotosíntesis se genera la reducción en la cantidad de carbohidratos producidos por la planta, y el reparto de estos se ve afectado, la competencia por ellos se dará en cada uno de los tejidos que lo demandan como las raíces, flores o frutos. Finalmente, todo esto provoca una reducción en el crecimiento de estos tejidos y la caída de flores y frutos que repercutirán al final en el rendimiento (Moreno, 2009).

1.5. Riego deficitario

Como se conoce, las plantas necesitan agua de forma constante para tener un buen desarrollo, y en muchos casos la precipitación no es suficiente para satisfacer esta demanda, Con lo anterior, se define el riego como “el aporte artificial de agua a las plantas con el fin de suministrar la humedad necesaria para su desarrollo o de aumentar su producción, de forma complementaria al aporte de las precipitaciones” (García, 2013).

El principal objetivo del riego es entonces, complementar la demanda hídrica de la planta, aunque también tiene otros objetivos como:

- El transporte de nutrientes del suelo a cada una de las partes de la planta
- La lixiviación de sales que se encuentran en exceso en el suelo y son perjudiciales para las plantas.
- Como efecto térmico al aumentar la humedad relativa del ambiente reduciendo así el riesgo de heladas en época de frío y aminorar el calor del verano.

Para entender las necesidades de riego de cualquier cultivo Martínez (2014) dice que se debe conocer cómo interactúan el clima y la planta: “Las características climáticas que afectan a la vida de las plantas son la temperatura, las precipitaciones y la humedad atmosférica”.

Si bien, lo ideal es aplicar el riego óptimo, no en todos los casos puede llevarse a cabo y esto genera grandes pérdidas en el rendimiento final del cultivo, por ello se buscan alternativas para maximizar la eficiencia del agua y que la planta aproveche la mayor cantidad posible. Una de estas alternativas es el riego deficitario, que consiste en racionar y disminuir la cantidad de agua, de manera que la planta pueda aprovecharla de mejor manera y sin afectar la calidad y el rendimiento en la cosecha (García *et al.*2013).

El riego deficitario se lleva a cabo con diferentes estrategias, las más importantes y las que más destacan son las siguientes:

- Riego deficitario controlado (RDC)
- Riego deficitario sostenido (RDS)

EL RDC consiste en disminuir la cantidad de agua aplicada al cultivo en fases estratégicas, donde el estrés hídrico no repercute en la producción final. Fue una estrategia que comenzó en España para disminuir la cantidad de agua aplicada en el cultivo de melocotón, ya que se observaba que durante la etapa de desarrollo del fruto hay un periodo en el que éste no crece, develando así que en este estadio lo único que pasa en el fruto es el endurecimiento del hueso, de tal forma que esto no repercute en el proceso de desarrollo de éste. Luego de muchas investigaciones se observó que el déficit de agua en esta etapa no repercute en el rendimiento, siempre y cuando una vez terminada la etapa de endurecimiento del fruto se retome el riego normal del cultivo, abasteciendo en su totalidad el requerimiento hídrico del árbol.

Por otro lado, el RDS consiste en el recorte de agua de manera constante durante toda la campaña de riego (García *et al.*, 2013).

1.6. Importancia del cultivo de maíz

El maíz es el cultivo básico para la alimentación mexicana y es uno de los 4 cereales más importantes a nivel mundial. En México se encuentran una gran variedad de genotipos debido a que es el centro de origen del maíz, cuenta con una amplia gama de climas y la capacidad de adaptación elevada.

De acuerdo con Jeglay y Cruz (2006) el maíz es la base de la alimentación no sólo para México, sino también para otros países de América latina. Por el impacto en la alimentación de las personas y también de los animales, las áreas de tierra que se cultivan, los empleos que se generan a partir de su producción, el proceso industrial que se realiza y la comercialización a lo largo de todo su proceso productivo, el maíz es considerado un cultivo estratégico para el sector agrícola. Por ello, surge la necesidad de realizar buenas prácticas en el manejo agronómico para obtener productos de buena calidad y con la menor cantidad de insumos posible.

El mayor productor a nivel mundial de maíz, según Helbilng (2008), es EUA que genera el 43% de la producción; en segundo lugar se encuentra China, que produce el 18.8%; en tercer lugar está Brasil con el 6.9% de la producción total en el planeta. México ocupa el quinto lugar en producción generando el 2.9%.

Del maíz se aprovechan diversas estructuras: el grano como alimento humano y animal, en la industria se emplea para obtener etanol; las mazorcas cocidas se consumen como elotes o esquites si se desgranar; las hojas de la mazorca se utilizan para hacer tamales. Los restos de la planta que

quedan una vez eliminada la mazorca sirven como forraje para el ganado o cuando se corta en verde se puede triturar para generar ensilado.

1.7. Riego deficitario en maíz

Dada la importancia que tiene el maíz en el mundo y la limitante del recurso hídrico que cada día es mayor, es vital vislumbrar nuevas estrategias de producción reduciendo la cantidad de agua utilizada.

Se han realizado algunos estudios en el Colegio de Posgraduados, México, donde se ha implementado Riego Deficitario Controlado durante la etapa vegetativa del cultivo; tomando en cuenta la capacidad de retención de agua del suelo. El periodo de estrés hídrico comenzó a partir del momento en que el suelo llegó a Punto de Marchitez Permanente (PMP), pero no se tomó como referencia el requerimiento de agua del cultivo; el rendimiento se vio influenciado negativamente conforme se aumentaron los días de ausencia de riego. Sin embargo, a pesar de que el rendimiento de grano disminuyó, el crecimiento vegetativo no tuvo repercusiones considerables en ninguno de los tratamientos bajo estrés (Avendaño *et al*, 2008).

Otro estudio realizado en Sevilla, España, llevo a cabo un tipo de RDC, pero de igual manera, no se tomó en cuenta el requerimiento del cultivo durante el desarrollo del experimento; se tomaron como base los datos de la aplicación tradicional de riego y a partir de este se redujo a 50% en las plantas que serían parte del experimento, el rendimiento se vio gravemente afectado ya que durante todas las fases del cultivo se tuvo déficit hídrico. La productividad del agua aumento en algunos casos hasta el 40%, sin embargo, el rendimiento se ve afectado y esto no es deseable para el productor debido a las pérdidas que se provocan en la producción, conduciendo a una disminución en su economía, por lo tanto, no es una opción viable para llevarlo a la práctica (Aguilar *et al*.2007).

Por otro lado, se han realizado experimentos donde el estrés hídrico no fue elevado y el déficit de agua se llevó a cabo en etapas que no son cruciales para el rendimiento en maíz. En este caso los resultados han sido satisfactorios y se comprobó que las etapas más sensibles al estrés hídrico son la floración y el periodo cercano a ésta, que comprende 15 días antes y hasta 15-20 días posteriores a la floración (Rivetti, 2006; Mendonza *et al.*, 2016).

En la Figura 1 se observan los resultados obtenidos de rendimiento en un trabajo presentado por Mendoza (2016) en un congreso de irrigación en la Universidad Autónoma de Chapingo, donde se efectuó una combinación entre los dos tipos de Riego deficitario más importantes: Riego Deficitario Controlado y Riego Deficitario Sostenido.

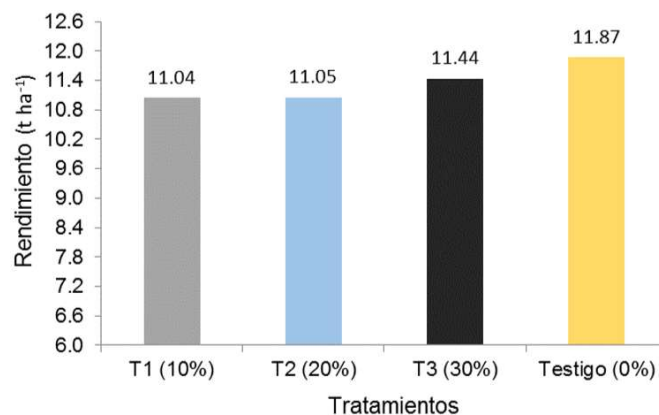


Figura 1. Resultados obtenidos en diferentes tratamientos de RDS (Mendonza *et al.* 2016)

En todos los tratamientos se redujo el riego durante todo el ciclo del cultivo en 10, 20 y 30%, con excepción de la etapa de floración (R1) (Cuadro 5), donde se hizo una reposición del 100% de la evapotranspiración del cultivo en todos los tratamientos, esto con el fin de no afectar la etapa más crítica en el desarrollo del maíz. Los tratamientos se condujeron según se observa en el Cuadro 1. Los datos obtenidos mostraron que el rendimiento no es significativamente afectado, por lo tanto, ésta puede ser una práctica viable para implementar en campo.

Cuadro 1. Diferentes tratamientos de riego deficitario en maíz.

Riego	Etapa fenológica*	Tratamiento de déficit hídrico			
		T1	T2	T3	TESTIGO
1er	V6	10%	20%	30%	0%
2 do	R1	0%	0%	0%	0%
3 er	R2	10%	20%	30%	0%
4 to	R3	10%	20%	30%	0%

*La evolución de cada una de las etapas fenológicas se pueden visualizar en el Cuadro 2

Fuente: Mendonza, 2016

Tomando en cuenta los datos anteriores y la importancia que tiene el maíz en nuestro país ya que se utiliza como alimento y materia prima para la industria, se considera de suma importancia buscar alternativas para reducir la cantidad de agua utilizada en este cultivo, que si bien, gracias al mejoramiento genético se han creado nuevas variedades resistentes a la sequía, como el H-440 desarrollado por el INIFAP para el noreste de México (Reyes-Méndez *et al.*, 2007); existe también la posibilidad de generar otras alternativas para reducir el consumo de agua.

De acuerdo con Sifuentes (2018), se necesitan en promedio 800 mm de agua por ciclo, distribuidos de acuerdo con las fases fenológicas, para satisfacer la demanda de riego del cultivo de maíz, lo cual se traduce también a 8, 000 m³ de agua por hectárea. Conjuntando el valor anterior con el de superficie cultivada de maíz del SIAP donde señala que se cultivan alrededor de 600 mil hectáreas bajo riego en toda la República Mexicana, se deduce que se necesitan alrededor de 4 mil 800 millones de m³ de agua para satisfacer las necesidades hídricas en el cultivo de maíz bajo riego. Por tanto, para disminuir la cantidad de agua aplicada se vuelve primordial buscar alternativas.

Si se considera el ahorro de agua que significaría implementar los resultados del trabajo de Mendoza *et al.* (2016), se ahorrarían aproximadamente 800 m³ de agua por hectárea, esto con un déficit hídrico del 10%, en el caso de utilizar un déficit del 30% se traduce a un ahorro de 2,400 m³ de agua. Esto sólo es la cantidad de agua que se ahorraría por hectárea, extrapolando a toda la república con los datos de superficie cultivada de maíz bajo riego del SIAP del año 2019, se tienen las condiciones para ahorrar aproximadamente 480 millones de m³ si se aplicara solamente el 90% del requerimiento de agua. Aunque no es una receta, el razonamiento anterior muestra una posibilidad ante el panorama generalizado de escasez de agua.

Con lo anterior se reconocen y justifican las investigaciones para aumentar la productividad hídrica del cultivo, es decir, generar el mayor rendimiento con la menor cantidad de agua posible.

1.7.1. Fenología del maíz

Para aplicar la técnica del riego deficitario es necesario conocer las etapas fenológicas del maíz. De acuerdo con la Universidad de Iowa, estas etapas están determinadas cuando el 50% de la población muestra el rasgo distintivo particular de cada etapa, en el Cuadro 2 se muestran estas características.

Cuadro 2. Etapas vegetativas y reproductivas del maíz.

ETAPA VEGETATIVA	
VE	Emergencia
V1	Hay un collar visible en la hoja más baja, esta hoja tiene una punta redondeada a diferencia de las hojas puntiagudas posteriores.
V2	Las dos hojas más bajas tienen un collar visible
V(n)	Todas las hojas presentes (n) presentan collar
VT	La rama más baja de la inflorescencia masculina es visible, pero no han surgido los estigmas
ETAPA REPRODUCTIVA	
R1 (estigmas)	Los estigmas son visibles
R2	Los granos son pequeños y blancos; el endospermo es transparente
R3 (leche)	Los granos son amarillos con líquido blanco lechoso
R4	El contenido del grano es pastoso y se va acumulando el almidón
R5	Los granos presentan una abolladura debida a el endurecimiento del almidón en la parte superior del grano. A medida que la madurez avanza el almidón se endurece y la línea de leche se mueve hacia la mazorca.
R6 (Capa negra o madurez fisiológica)	La línea de leche ya no es visible: Se forma una capa negra en el núcleo del grano, lo que significa el final de la acumulación de materia seca

Fuente: Elaboración propia con datos de la Universidad de Iowa (2009)

Las fases fenológicas más sensibles y de mayor importancia en las plantas de maíz son la floración y el desarrollo del fruto, por tanto, se debe tener sumo cuidado en dichas etapas en lo que respecta a la disposición del agua (Granados, 2013).

La reducción del rendimiento dependerá de la intensidad, duración y etapa fenológica en la que se presente el estrés hídrico de acuerdo con Yi *et al.* (2010) y Cakir *et al.* (2004), quienes afirman que existe una reducción del rendimiento a causa de estresar la planta en las etapas de floración y llenado de grano. Westgate (1995) demostró que el estrés durante la floración provoca un efecto negativo en las flores femeninas: los ovarios tienden a una menor capacidad de absorción de sacarosa y de hidrólisis, lo que genera una limitación en la repartición de asimilados a las mazorcas, tanto por falta de reservas como por una disminución en el nivel de actividad metabólica en los ovarios; como consecuencia, disminuye el número de granos formados. En el caso del llenado del grano, si se provoca un déficit, el peso de las mazorcas se ve reducido lo que se traduce en un menor rendimiento (Westgate, 1994).

Cuando se aplica un déficit hídrico en las etapas tempranas del llenado de grano, el efecto sobre el rendimiento es mucho mayor que si se aplica en etapas posteriores, esto se debe a que el embrión se encuentra recién formado y por ello es más susceptible de aborto ante situaciones de estrés, afectando de esta manera el número final de granos (Giménez, 2012).

En el contexto anterior, se justifica la conducción de experimentos relacionados a las variables que pueden reducir el consumo de agua de los cultivos.

II. OBJETIVO

2.1. Objetivo

Evaluar el efecto de déficit hídrico controlado en cinco híbridos PUMA (TSIRI PUMA, TLAOLI PUMA, ATZIRI PUMA, IXIM PUMA y CUXI PUMA), y cinco híbridos del INIFAP (H-47, H-49, H-53, H-51 y H-50) que se comercializan en Valles Altos de México para identificar la posible reducción de lámina de riego y contribuir al uso eficiente del agua.

2.2. Objetivos particulares

- 1.- Analizar las dife (rencias en componentes de rendimiento en diez híbridos comerciales de maíz con reducción de la lámina de riego.
- 2.- Identificar el efecto de 10 y 20% de estrés hídrico en las variables agronómicas y el rendimiento de maíz.

2.3. Hipótesis

Si existe déficit hídrico en el cultivo de maíz, entonces se reducirá el rendimiento de grano en al menos uno de los híbridos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del experimento

El trabajo se llevó a cabo en el rancho Almaráz de la FESC-UNAM, municipio de Cuautitlán Izcalli, Estado de México (latitud 19°29'29" y longitud -98°54'29"), con altitud 2 274 msnm. El clima de Cuautitlán se clasifica como C(W0) (W)b (i''), denominado templado subhúmedo, el más seco de los templados subhúmedos, con una temperatura media anual de 14,8°C con un régimen de lluvia en verano y menos del 5% de lluvias en invierno, poca oscilación térmica y una precipitación anual promedio histórica de 609,2 mm (García, 2004).

El suelo tiene una textura arcillosa, con densidad aparente de 1.05 g cm⁻³. Cuenta con una capacidad de campo del 25.6% y punto de marchitez permanente de 15.2%.

3.2. Tratamientos y diseño experimental

Se emplearon 5 híbridos del Centro Experimental del Valle de México (CEVAMEX) perteneciente al INIFAP: (H-47, H-49, H-53, H-51 y H-50) y 5 híbridos generados por la UNAM: TSIRI PUMA, TLAOLI PUMA, ATZIRI PUMA, IXIM PUMA y CUXI PUMA. El experimento consistió en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial de 30 tratamientos; los tres niveles de estrés del factor A (dos de déficit hídrico y el testigo con riego óptimo) y los diez híbridos del factor (Cuadro 3), cada tratamiento con tres repeticiones, para constituir 90 unidades experimentales. Cada unidad experimental se conformó por un surco de 3 m y se aplicó riego por gravedad. Cada tratamiento mantuvo el mismo déficit hídrico a lo largo de sus etapas fenológicas a excepción de la floración, en la cual todos los tratamientos recibieron riego para reponer el 100%

de la evapotranspiración, los niveles de estrés hídrico de los tratamientos fueron de 0, 10, 20%, para TESTIGO. T1 y T2 respectivamente.

Cuadro 3. Niveles de los factores que conformaron los 30 tratamientos para el diseño experimental.

FACTOR A (Déficit hídrico)	FACTOR B (Híbridos)	
TESTIGO (A1)	H-47 (B1)	TSIRI PUMA (B6)
	H-49 (B2)	TLAOLI PUMA (B7)
	H-53 (B3)	ATZIRI PUMA (B8)
	H-48 (B4)	IXIM PUMA (B9)
	H-50 (B5)	CUXI PUMA (B10)
10% DÉFICIT (A2)	H-47 (B1)	TSIRI PUMA (B6)
	H-49 (B2)	TLAOLI PUMA (B7)
	H-53 (B3)	ATZIRI PUMA (B8)
	H-48 (B4)	IXIM PUMA (B9)
	H-50 (B5)	CUXI PUMA (B10)
20% DÉFICIT (A3)	H-47 (B1)	TSIRI PUMA (B6)
	H-49 (B2)	TLAOLI PUMA (B7)
	H-53 (B3)	ATZIRI PUMA (B8)
	H-48 (B4)	IXIM PUMA (B9)
	H-50 (B5)	CUXI PUMA (B10)

3.3. Evaluación de tratamientos

Las variables para evaluar el efecto del estrés por riego deficitario controlado fueron el rendimiento del grano y sus componentes:

- a) Peso en campo (kg). Después de cosechar todas las plantas, se registró el peso de las mazorcas con olote.
- b) Floración masculina y femenina
- c) Altura de planta
- d) Altura de mazorca
- e) Longitud de mazorca
- f) Diámetro de mazorca
- g) Diámetro de olote
- h) Hileras por mazorca
- i) Granos por hilera
- j) Peso volumétrico
- k) Porcentaje de materia seca
- l) Porcentaje de grano

Para obtener estos datos, de cada unidad experimental se tomó una muestra representativa de cinco mazorcas con las cuales se realizó lo siguiente:

- Se dejaron secar por aproximadamente 2 semanas en bolsas de papel, hasta que se observó que tenían un nivel de humedad óptimo.
- Una vez teniendo un nivel de humedad adecuado se pesaron nuevamente.
- Se midió el diámetro y longitud de mazorca, se contaron el número de hileras y número de granos por cada hilera, para posteriormente desgranar las mazorcas.
- Cuando se tuvieron solo los olotes se midió el diámetro.

- El grano que se obtuvo de las 5 mazorcas fue pesado y se tomaron los datos de porcentaje de humedad del grano haciendo uso de un determinador de humedad eléctrico Stenlite, se anotaron los valores del porcentaje de materia seca, restando a cien el valor de la humedad determinada.
- El porcentaje de grano/mazorca se obtuvo con el peso de 5 mazorcas de cada unidad experimental, el peso del grano solo, el valor fue dado por el cociente de peso de grano entre peso de grano más olotes.
- Una vez obtenidos los valores de longitud de mazorca, hileras por mazorca y granos por hilera de las cinco mazorcas, se calculó el promedio.

Las otras variables fueron evaluadas directamente en campo, estas son:

- Floración masculina: Tomando en cuenta los días a partir de la siembra en que el 50% de las plantas presentaban espigas.
- Floración femenina: Se consideran los días de la siembra y hasta la aparición del 50% de los estigmas.
- Altura de planta: Se seleccionaron 5 plantas al azar y se midió la distancia desde la base de la planta hasta la primera bifurcación de la espiga.
- Altura de mazorca: Se determinó de distancia desde la base de la planta hasta el nudo de la mazorca más próxima.
- Calificación de planta: Se determinó visualmente, de acuerdo con el aspecto que presenta la planta cuando aún es verde y las mazorcas se han desarrollado por completo. En cada unidad se evaluó la altura de la planta, daños causados por enfermedades o insectos y uniformidad de las plantas, según la escala del 1 al 10, donde 10 es la calificación más alta, cuando la planta presenta buena altura, sanidad y cobertura. (CIMMYT, 1995)

Para calcular el rendimiento del grano se utilizó la ecuación 2 que recomiendan Espinosa *et al.* (2013) y se expresa como:

$$\text{Rendimiento} = (P.C. \times \% MS \times \%G \times F.C) / 8600 \quad (2)$$

donde;

P.C.= Peso de campo del total de mazorcas cosechadas en cada parcela, expresada en kilogramos,

% MS= Porcentaje de materia seca,

% G= Porcentaje de grano, obtenido como el cociente peso de grano/peso de mazorca,

F.C.= Factor de conversión para obtener rendimiento por hectárea, se obtiene al dividir 10 000 m²/ tamaño de la parcela útil en m², y

8600= Es un valor constante, que permite estimar el rendimiento con una humedad uniforme del 14% que corresponde a la humedad comercial (Espinosa *et al.*, 2013).

Se comprobaron los preceptos del ANDEVA de las variables respuesta y se realizó el análisis estadístico utilizando el paquete computacional Infostat (Versión 2008) en el que, para la comparación múltiple de medias, se implementó la prueba de Tukey con la posibilidad de cometer el error tipo I del 5%.

3.3.1. Híbridos utilizados

En el cuadro 4 se muestran las características más relevantes de cada uno de los híbridos utilizados en este ensayo, todos recomendados para Valles Altos.

Cuadro 4. Híbridos utilizados en el experimento

HÍBRIDOS UNAM				
Híbrido	Tipo de híbrido	Año de liberación	Condición de humedad	Rendimiento promedio de grano (kg ha⁻¹)
TSIRI PUMA	H. Trilineal	2012	Temporal	8,500
TLAOLI PUMA	H. Trilineal	2019	Riego	11,500 ¹
ATZIRI PUMA	H. Trilineal	2019	Riego	10,500 ¹
IXIM PUMA	H. Trilineal	2015	Riego	7,032
CUXI PUMA	H. Trilineal	2015	Riego	5,891
HÍBRIDOS INIFAP				
Híbrido	Tipo de híbrido	Año de liberación	Condición de humedad	Rendimiento promedio de grano (kg ha⁻¹)
H-47	H. Trilineal	2015	Temporal	7,978
H-49	H. Trilineal	2018	Temporal	8,600
H-53	H. Trilineal	2016	Riego	8,400
H-48	H. Trilineal	1999	Temporal	8,400
H-50	H. Doble	1998	Temporal	8,637

¹ Rendimiento potencial

Fuentes: Espinosa, *et al.* (2004), Tadeo, *et al.* (2016), Ramírez (2020)

3.4. Aplicación de tratamientos

La lámina de riego que se aplicó a cada tratamiento fue medida con el lisímetro de pesada y comparándola con la Evapotranspiración del cultivo cada semana a partir de la siguiente fórmula:

$$ET_c = ET_o * K_c * \text{Factor de déficit} \quad (3)$$

donde;

ET_c= Evapotranspiración del cultivo, en mm,

ET_o= Evapotranspiración potencial, en mm,

K_c= Coeficiente del cultivo, que estará dado por la etapa fenológica del cultivo, y

Factor de déficit= que dependerá de cada tratamiento.

El factor de déficit fue dado en función del nivel de estrés al que se sometió cada tratamiento, en el cuadro 5 se muestra el factor de déficit de cada tratamiento considerando el porcentaje de estrés hídrico que se aplicó a partir de la Evapotranspiración del cultivo.

Cuadro 5. Factor de déficit para los diferentes tratamientos.

Tratamiento	Reposición de la ETc del cultivo (%)	Déficit hídrico (%)	Factor de déficit* (adim)
T1	90	10	0.9
T2	80	20	0.8
TESTIGO	100	0	1

*En la etapa de floración el factor de déficit fue de 1.0 en todos los tratamientos.

La evapotranspiración del cultivo calculada se corroboró utilizando el método de lisímetro de pesada, que se llevó a cabo en 5 macetas donde se sembraron las 5 variedades de maíz PUMA y se ubicaron dentro de la parcela experimental. Se medía el peso después de cada riego a CC y una semana más tarde se procedía a pesar nuevamente, la diferencia de peso correspondió a la *Etc.*

El tiempo de riego para aplicar los tratamientos se obtuvo utilizando la relación del volumen a reponer entre el caudal a la entrada del surco, este último se identificó por medio de un aforo volumétrico.

3.5. Manejo agronómico

La preparación del terreno se realizó de forma mecánica, consistió en un paso del arado de discos, dos pasos de rastra cruzados y surcado a 80 cm.

La siembra se llevó a cabo con un 17% de humedad en suelo, sembrando una semilla cada 10 cm y aplicando una dosis de fertilización de 80-60-40 utilizando como fuentes el cloruro de potasio, fosfato diamónico y urea, seguido de esto se aplicó un riego de un minuto y medio en cada surco con un caudal de 48 L/min hasta llevar a capacidad de campo un espesor de suelo de 20 cm, esto aseguró la germinación en todos los tratamientos y fue el punto de partida para el balance hidrológico. Se realizó también la aplicación de herbicida pre-emergente LUMAX en una dosis de 2 L ha⁻¹ dos días después de la siembra, aplicando antes un riego ligero en abanico de 10 segundos por surco. Posteriormente, 30 días después del establecimiento se llevó a cabo un aclareo a 17 plantas por surco para obtener una densidad de 65,000 Plantas ha⁻¹. Se adicionó una dosis más de fertilización 70-00-00 en la etapa V4 utilizando urea.

La cosecha se llevó a cabo de forma manual en el mes de agosto, recolectando todas las mazorcas por surco, una vez identificada la madurez fisiológica a través de la presencia de la capa negra, registrando en la parcela el peso total de las mazorcas de cada unidad experimental.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es importante señalar que el crecimiento y desarrollo de cualquier cultivo va a depender en gran medida de la especie, variedad, propiedades del suelo, gestión de prácticas y de las condiciones meteorológicas que ocurran durante todo el proceso productivo (Li, 2010).

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza, se detectó para el factor híbrido (A) diferencias altamente significativas para las variables de peso completo en campo, altura de mazorca, diámetro de mazorca, granos por hilera, porcentaje de grano y rendimiento, este último con un coeficiente de variación del 17.5% y la media general de 9.202 t ha⁻¹ (Cuadro 5).

Para el factor de variación estrés (B), se presentaron diferencias altamente significativas en las variables de floración masculina, altura de mazorca y diámetro de mazorca.

No se encontró interacción entre el factor estrés y el factor híbrido (A x B) ya que no resultaron diferencias significativas en ninguna de las variables observadas.

En ambos factores no se encontró diferencia significativa en las variables: plantas cuatas, plantas sin mazorca, calificación de mazorca, mazorcas buenas, mazorcas malas, calificación de planta, longitud de mazorca, hileras por mazorca, porcentaje de materia seca y porcentaje de humedad del grano. Lo anterior puede relacionarse con la estabilidad de los híbridos en el caso del factor A y al efecto nulo que mostró el estrés en la respuesta de estas variables.

Cuadro 6. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas en híbridos de maíz de Valles Altos con diferentes niveles de déficit hídrico. Ciclo P-V 2020.

VARIABLES	PCC	PEC	PCO	FM	FF	AP
Híbrido(A)	1.49**	0.07*	0.03*	10.13*	4.51	443.27
Estrés (B)	0.03	0.07	0.06*	33.10**	22.71*	1149.14*
A x B	0.43	0.03	0.02	7.61	4.37	116.77
CV	17.41	11.41	12.15	2.46	2.36	6.6
MEDIA	3.80	1.33	0.85	84.01	87.40	241.40
	AM	PC	PSM	CM	MB	MM
Híbrido (A)	390.15**	9.79	0.79	0.23	21.81	13.84
Estrés (B)	525.45**	12.68	3.61	0.88	2.71	36.63
A x B	48.62	5.71	1.67	0.52	13.81	13.2
CV	6.36	46.73	138.85	7.73	24.04	44.22
MEDIA	126.64	3.42	0.50	8.15	13.87	10.00
	CP	LM	DM	HM	GH	DO
Híbrido (A)	0.42	1.79	0.15**	1.41	14.75**	0.07*
Estrés (B)	0.74	0.5	0.32**	1.4	20.65*	0.14**
A x B	0.44	1.46	0.04	1.16	6.19	0.03
CV	q	7.8	3.57	8.56	7.62	6.04
MEDIA	9.17	14.47	4.90	16.28	27.29	2.68
	PV	MS	PG	GM	PH	REN
Híbrido	17.26	0.46	16.49**	5986.26	0.52	9974.01**
Estrés	44.98*	1.38	10.25	9248.21*	1.32	1582.25
A x B	16.87	0.73	4.02	2272.2	0.6	2638.60
CV	5.11	0.79	2.62	12.37	6.68	17.53
MEDIA	75.12	89.02	86.06	444.25	10.96	9.20

*Significativo **Altamente significativo PCC=Peso completo en campo, PEC=Peso completo de 5 mazorcas en campo, PCO=Peso de mazorcas con olote, FM=Floración masculina, FF=Floración femenina, AP=Altura de planta, AM=Altura mazorca, PC=Plantas cuatas, PSM=Planta sin mazorca, CM=Calificación mazorca, MB=Mazorcas buenas, MM=Mazorcas malas, CP=Calificación planta, LM=Longitud mazorca, DM=Diámetro mazorca, HM=Hileras por mazorca, GH=Granos por hilera, DO=Diámetro de olote, PV=Peso volumétrico, MS=Porcentaje de materia seca, PG=Porcentaje de grano, GM=Grano/mazorca, PH=Porcentaje de humedad, REN=Rendimiento.

4.1. Comparación de medias del factor híbridos (A)

En el cuadro 6 se observa que, para las variables de peso en campo, peso completo de 5 mazorcas en campo y peso completo de 5 mazorcas existe diferencia significativa para los híbridos, sin embargo, en el cuadro 9 se observa que para PCO solo existe un grupo de significancia lo que indica que no existe diferencia estadística significativa, esto podría deberse a que en PC se tomaron en cuenta todas las mazorcas de cada tratamiento incluyendo mazorcas malas y en mal estado, que genera un mayor rango de datos y así una diferencia superior entre híbridos.

Cuadro 7. Comparación de medias entre híbridos de maíz para Valles Altos. Ciclo P-V, 2020.

HÍBRIDO	PC (kg)	PEC (kg)	PCO (kg)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)
H-47	3.69 ab	1.29 ab	0.84 a	83.89 ab	87.56 a	229.62 b
H-49	3.51 b	1.28 ab	0.83 a	83.22 b	87.11 a	235.87 ab
H-53	3.59 b	1.24 ab	0.77 a	86.78 a	89.22 a	242.89 ab
H-48	3.35 b	1.21 b	0.78 a	83.56 ab	86.44 a	238.53 ab
H-50	3.97 ab	1.48 a	0.95 a	83.44 ab	87.11 a	253.33 a
TSIRI PUMA	4.25 ab	1.41 ab	0.89 a	83.67 ab	87.44 a	248.8 ab
TLAOLIPUMA	4.09 ab	1.37 ab	0.88 a	83.56 ab	87.33 a	247.31 ab
ATZIRI PUMA	3.95 ab	1.39 ab	0.9 a	84.33 ab	87.44 a	242.04 ab
IXIM PUMA	3.64 b	1.31 ab	0.85 a	83.44 ab	87.11 a	244.62 ab
CUXI PUMA	4.71 a	1.41 ab	0.91 a	84.78 ab	87.11 a	236.53 ab
MEDIA	3.80	1.33	0.85	84.01	87.40	241.40
DSH (0.05)	1.03	0.25	0.17	3.45	3.18	22.92

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (en sentido vertical). PC=Peso completo en campo, PEC=Peso completo de 5 mazorcas en campo, PCO=Peso de mazorcas con olote, FM=Floración masculina, FF=Floración femenina, AP=Altura de planta.

Para la altura de planta (Cuadro 7) el mejor híbrido fue H-50 que es similar a los datos obtenidos por Tadeo *et al.* (2010) donde definen la capacidad productiva de seis híbridos de maíz, entre ellos H-50, H-48 y H-47, siendo H-50 y H-48 los que obtuvieron un mayor valor en esta variable.

La altura de mazorca (Cuadro 8) muestra diferencia estadística significativa entre los híbridos, corroborando así la alta significancia que se obtuvo en el Cuadro 6. Los híbridos H-50 y H-48 tuvieron los valores más altos con 137 y 135 cm respectivamente, estos valores coinciden con lo que reportan Tadeo *et al.* (2010) para el nudo de la mazorca más alta, sin embargo, en este trabajo se midió el nudo de la mazorca más baja lo que indica que se obtuvieron mayores alturas relacionadas con las condiciones de disponibilidad de humedad.

Cuadro 8. Comparación de medias entre híbridos de maíz para Valles Altos. Ciclo P-V, 2020. (Continuación cuadro 7)

HÍBRIDO	PC (plantas)	AM (cm)	PSM (plantas)	CM (adim)	MB (mazorcas)	MM (mazorcas)
H-47	4.67 a	128.96 ad	1.0 a	8.11 a	15.11 ab	10.0 a
H-49	4.11 a	119.13 cd	0.89 a	8.0 a	14.44 ab	11.33 a
H-53	5.67 a	128.78 ad	1.0 a	8.0 a	13.0 ab	9.33 a
H-48	3.44 a	135.24 ab	1.0 a	8.22 a	13.44 ab	9.67 a
H-50	3.33 a	137.73 a	0.44 a	8.33 a	14.78 ab	9.11 a
TSIRI PUMA	4.67 a	130.24 abc	1.11 a	8.0 a	14.56 ab	11.89 a
TLAOLI PUMA	5.11 a	124.02 bcd	0.44 a	8.44 a	15.44 ab	10.0 a
ATZIRI PUMA	4.67 a	127.58 ad	0.44 a	8.11 a	13.11 ab	7.89 a
IXIM PUMA	4.56 a	120.6 cd	1.22 a	8.33 a	11.89 b	11.67 a
CUXI PUMA	6.67 a	118.20 d	1.0 a	8.22 a	17.44 a	10.11 a
MEDIA	3.42	126.64	0.50	8.15	13.87	10.00
DSH (0.05)	3.39	12.03	1.83	0.98	5.39	6.58

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (en sentido vertical). AM=Altura mazorca, PC=Plantas cuatas, PSM=Planta sin mazorca, CM=Calificación mazorca, MB=Mazorcas buenas, MM=Mazorcas malas.

Para las variables número de plantas cuatas, plantas sin mazorca, calificación de mazorcas y mazorcas malas (Cuadro 8) no se observaron diferencias estadísticas, esto pudo haber sido consecuencia de su estabilidad, debido a que tienen en común las mismas líneas progenitoras.

En el cuadro 9 se observa que la calificación de planta no muestra diferencia estadística y tiene media general de 9; el valor indica que las plantas mostraron sanidad, baja incidencia de plagas y buen porte que se relaciona con el riego, la nutrición mineral y las características edáficas. La longitud de mazorca varió de 13.5 (H-53) a 14.9 (TSIRI) cm y los híbridos PUMA tuvieron mayor longitud promedio (14.72 cm) con respecto a los de INIFAP (14.31 cm), es posible que este resultado se deba a la expresión de los genotipos. La media general del diámetro de olote resultó de 4.906 cm con el valor mínimo de 4.74 cm (H-47 y H-48) y el máximo de 5.13 cm (H-50); la media de los híbridos PUMA (4.97 cm) es superior a la de los híbridos INIFAP (4.85 cm). Los granos por hilera mostraron dos grupos de medias con valores entre 25.29 (H-48) y 28.78 (TSIRI); los híbridos de INIFAP tuvieron una media general de 26.83 y los PUMA de 27.98, este resultado posiblemente tiene relación directa con el rendimiento cuando la densidad del grano es constante entre híbridos. El diámetro de olote con valores entre 2.59 cm (H-49) y 2.85 cm (IXIM) resultó mayor para los híbridos PUMA (2.73 cm) que para los de INIFAP (2.642 cm).

Cuadro 9. Comparación de medias entre híbridos de maíz para Valles Altos. Ciclo P-V, 2020. (Continuación cuadro 7)

HÍBRIDO	CP (adim)	LM (cm)	DM (cm)	HM (hileras)	GH (Granos)	DO (cm)
H-47	8.89 a	14.73 a	4.74 b	16.16 a	27.82 ab	2.6 ab
H-49	9.22 a	14.61 a	4.76 b	15.64 a	26.91 ab	2.59 b
H-53	9.11 a	13.51 a	4.86 ab	16.42 a	25.67 ab	2.62 ab
H-48	9.11 a	14.02 a	4.74 b	16.31 a	25.29 b	2.68 ab
H-50	9.67 a	14.69 a	5.13 a	16.91 a	28.44 ab	2.72 ab
TSIRI PUMA	9.33 a	14.9 a	4.93 ab	16.53 a	28.78 a	2.76 ab
TLAOLI PUMA	9.11 a	14.7 a	5.04 a	15.98 a	28.2 ab	2.72 ab
ATZIRI PUMA	9.11 a	14.87 a	4.93 ab	16.16 a	28.47 ab	2.73 ab
IXIM PUMA	9.33 a	14.31 a	4.98 ab	16.27 a	26.22 ab	2.85 a
CUXI PUMA	9.0 a	14.83 a	4.95 ab	16.93 a	28.24 ab	2.59 b
MEDIA	9.17	14.47	4.90	16.28	27.29	2.68
DSH	0.96	1.76	0.28	2.04	3.36	5.99

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (en sentido vertical). CP=Calificación planta, LM=Longitud mazorca, DM=Diámetro mazorca, HM=Hileras por mazorca, GH=Granos por hilera, DO=Diámetro de olote.

En el caso de las variables: mazorcas buenas, longitud de mazorca, diámetro de mazorca, hileras por mazorca y granos por hilera, estas últimas dos que son utilizadas para determinar el rendimiento por medio de la ecuación 2 (Pág. 26), se tiene en orden descendente a CUXI, TLAOLI, TSIRI, ATZIRI y H-50 como los híbridos con mejores resultados, lo que coincide con estudios de Tadeo *et al.* (2010) y López-López *et al.* (2017).

En el Cuadro 10 se muestran el peso volumétrico, porcentaje de materia seca, porcentaje de grano y porcentaje de humedad, en estas variables no se encontró diferencia significativa entre sus medias.

En la variable rendimiento de grano se conformaron dos grupos de medias que varían entre 8.2 y 11.6 t ha⁻¹ con la media general de 9.2 t ha⁻¹; la media nacional en el año 2020 fue 8.73 t ha⁻¹ para condiciones de riego, 2.74 t ha⁻¹ para cultivo bajo temporal (SIAP, 2020), la media nacional (riego + temporal) 3.85 t ha⁻¹ y la media para Valles altos 3.2 t ha⁻¹, se nota que el aporte del requerimiento de riego en cantidad y oportunidad incrementa significativamente el rendimiento. Los híbridos de INIFAP tuvieron una media de 8.78 t ha⁻¹ y los PUMA 10.0 t ha⁻¹, estos últimos también han destacado en otros trabajos desarrollados por Alonso *et al.* (2020) donde destaca ATZIRI PUMA con un rendimiento de 9.98 t ha⁻¹.

Cuadro 10. Comparación de medias entre híbridos de maíz para Valles Altos. Ciclo P-V, 2020. (Continuación cuadro 7)

GENOTIPO	PV (kg hL⁻¹)	MS (%)	PG (%)	GM (granos)	PH (%)	REN (t ha⁻¹)
H-47	76.77 a	88.91 a	88.91 a	449.26 a	11.09 a	9.17 ab
H-49	75.46 a	89.13 a	89.13 a	422.99 a	10.93 a	8.37 b
H-53	73.26 a	88.96 a	88.96 a	420.56 a	11.04 a	8.53 b
H-48	72.83 a	89.17 a	89.17 a	412.1 a	10.84 a	8.15 b
H-50	74.31 a	88.8 a	88.8 a	480.91 a	11.28 a	9.63 ab
TSIRI PUMA	75.78 a	88.93 a	88.93 a	476.68 a	11.07 a	10.17 ab
TLAOLI PUMA	75.01 a	89.13 a	89.13 a	451.68 a	10.86 a	9.96 ab
ATZIRI PUMA	76.14 a	88.64 a	88.64 a	460.25 a	11.36 a	9.62 ab
IXIM PUMA	75.76 a	89.08 a	89.08 a	428.71 a	10.81 a	8.64 b
CUXI PUMA	76.93 a	89.47 a	89.47 a	477.59 a	10.53 a	11.63 a
MEDIA	75.12	89.02	86.06	444.25	10.96	9.2
DSH	5.99	1.14	1.14	82.52	1.13	2550.18

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (en sentido vertical). PV=Peso volumétrico, MS=Porcentaje de materia seca, PG=Porcentaje de grano, GM=Grano/mazorca, PH=Porcentaje de humedad, REN=Rendimiento.

En la comparación de medias entre las variedades utilizadas los rendimientos más elevados se observan en las variedades PUMA y, de acuerdo con los resultados de la comparación, el mejor híbrido es CUXI PUMA seguido de TSIRI PUMA y H-50, este último mostró los resultados más altos en distintas variables como el peso en campo, altura de planta y altura de mazorca.

Para la variable de rendimiento (Cuadro 10) se observa que el híbrido con mejores resultados es CUXI PUMA con una media general de 11.63 t ha^{-1} que difiere con los resultados obtenidos por Alonso *et al.* (2020) donde se probaron los mismos híbridos PUMA bajo humedad de temporal y riego y CUXI PUMA tuvo un rendimiento de 8.41 t ha^{-1} , en ese trabajo para el ambiente bajo riego, CUXI se ubicó como uno de los más bajos, solo por encima de IXIM PUMA, que para ambos casos se encuentra con el rendimiento más bajo. Es posible que bajo riego completo CUXI PUMA sea superior que los otros híbridos PUMA, para ello es conveniente conducir otros experimentos similares. En algunos trabajos de Zamudio-González *et al.* (2020) y López- López *et al.* (2017) el mejor híbrido resultó ATZIRI PUMA que en este trabajo ocupó el quinto lugar, esta diferencia se puede deber a la condición de disponibilidad de humedad y al manejo del riego como indica Alonso *et al.*, (2020), ya que en este trabajo se mantuvieron los riegos de auxilio durante todo el ciclo y en otros trabajos se trabajan bajo secano, punta de riego y medio riego (riego de siembra y dos riegos de auxilio). A partir de estos resultados los híbridos CUXI PUMA y TSIRI PUMA destacan como una alternativa para los productores de los Valles Altos donde se tiene acceso al riego.

4.2. Comparación de medias para el factor del nivel de estrés (B)

La importancia del estudio de los niveles de estrés tiene relevancia para temas referentes a la seguridad hídrica, los resultados que se muestran enseguida tienen aplicación en la toma de decisiones para el uso de los recursos hídricos, además, sirven de referencia para futuras investigaciones relacionadas al riego deficitario controlado.

En la comparación de medias de los niveles de estrés, no se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) en el peso completo ni en el peso de cinco mazorcas medido en campo, posiblemente el contenido de humedad cercano al 35% al momento de la cosecha incida sobre esta respuesta. No obstante, el peso de la muestra de cinco mazorcas con olote en laboratorio si mostró diferencia significativa y fue mayor en el tratamiento con 10% de estrés (Cuadro 11).

Cuadro 11. Comparación de medias entre niveles de estrés para las variables agronómicas de los híbridos de maíz.

Estrés (%)	PC (kg)	PEC (kg)	PCO (kg)	FM (días)	FF (días)	AP (cm)
20	3.84 a	1.3 a	0.82 b	85.13 a	88.33 a	235.47 b
10	3.89 a	1.32 a	0.91 a	83.03 b	86.6 b	242.61 ab
0	3.9 a	1.39 a	0.85 ab	84.03 ab	87.33 ab	247.79 a
MEDIA	3.80	1.33	0.85	84.01	87.40	241.40
DSH	0.41	0.99	0.068	1.38	1.27	9.2

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (en sentido vertical). PC=Peso completo en campo, PEC=Peso completo de 5 mazorcas en campo, PCO=Peso de mazorcas con olote, FM=Floración masculina, FF=Floración femenina, AP=Altura de planta.

La floración masculina varió de 83.03 dds (10%) a 85.15 dds (20%) y la floración femenina de 86.6 dds (10%) a 88.33 dds (20%) con promedio general de 84 y 87.4 dds respectivamente, lo cual indica que el proceso reproductivo se ve afectado ante el estrés hídrico, provocando un adelanto de la floración cuando el estrés al que se somete la planta es bajo, pero con 20% se provocó un retraso en las floraciones. Es posible que se ralentice la fenología con el estrés y se contraponga el concepto

de los grados calor utilizados en agroclimatología para predecir las etapas fenológicas incluso para programar los riegos como lo indican Ojeda *et al.* (2007).

También se encontró diferencia significativa para la altura de planta, que fue afectada por el nivel de estrés hídrico, en el 0% de estrés se tuvo la altura media de 247 cm mientras que al 20% la altura media fue 235 cm, estos resultados coinciden con los hallazgos de Cakir (2004) quien evaluó los efectos del estrés hídrico en diferentes etapas de desarrollo y encontró que la altura de planta se ve disminuida al generar un déficit de agua durante la etapa vegetativa.

Aunque no se encuentra diferencia significativa (Cuadro12), el maíz cultivado en condiciones de mayor déficit hídrico presenta un menor número de plantas cuatas y un mayor número de plantas sin mazorca, es posible que el número de mazorcas por planta se vea favorecido con buena disponibilidad de agua.

Cuadro 12. Comparación de medias entre niveles de estrés para las variables agronómicas de los híbridos de maíz. (Continuación cuadro 11)

Estrés (%)	PC (plantas)	AM (cm)	PSM (plantas)	CM (adim)	MB (mazorcas)	MM (mazorcas)
20	4.23 a	122.59 b	0.97 a	8.03 a	14.03 a	9.2 a
10	4.40 a	127.67 a	1.13 a	8.37 a	14.3 a	9.77 a
0	5.43 a	130.89 a	0.47 a	8.13 a	14.63 a	11.33 a
MEDIA	3.42	126.64	0.50	8.15	13.87	10.00
DSH	1.38	4.83	0.75	0.4	2.16	2.64

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (en sentido vertical). PC=Plantas cuatas, AM=Altura mazorca, PSM=Planta sin mazorca, CM=Calificación mazorca, MB=Mazorcas buenas y MM=Mazorcas malas.

La calificación de planta mostró un valor superior a 9 en todos los niveles de estrés, se debe a la sanidad, porte y baja incidencia de plagas, aunque al final del ciclo se presentó un problema de aves de rapiña. La longitud de mazorca y el número de hileras por mazorca no se vieron afectadas por el estrés, pero los granos por hilera, el diámetro de mazorca y olote si mostraron diferencia, el

nivel de estrés al 20% tuvo los valores inferiores; en estas últimas tres variables el 10% de estrés tuvo los valores más altos lo que, a reserva del rendimiento, puede indicar que no es necesario agregar el 100% del requerimiento de riego a este cultivo (Cuadro 13).

Cuadro 13. Comparación de medias entre niveles de estrés de las variables agronómicas del cultivo de maíz. (Continuación cuadro 11)

Estrés (%)	CP (adim)	LM (cm)	DM (cm)	HM (hileras)	GH (Granos)	DO (cm)
20	9.13 a	14.37 a	4.86 b	16.21 a	26.45 b	2.76 b
10	9.07 a	14.58 a	5.02 a	16.58 a	27.98 a	2.63 a
0	9.37 a	14.6 a	4.84 b	16.2 a	27.78 ab	2.67 ab
MEDIA	9.17	14.47	4.90	16.28	27.29	2.68
DSH	0.38	0.7	0.11	0.82	1.35	0.1

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (en sentido vertical). CP=Calificación planta, LM=Longitud mazorca, DM=Diámetro mazorca, HM=Hileras por mazorca, GH=Granos por hilera, DO=Diámetro de olote

El peso volumétrico no mostró diferencia significativa, lo cual indica que la densidad de grano se conservó aun con los niveles de estrés, en otros estudios como el de Alonso *et al.*, (2020) donde se ha comparado esta variable en riego y temporal (secano) se ha encontrado que a menor disponibilidad de humedad se presentan granos más densos. Es posible que el nivel de estrés en este trabajo no rebase el umbral y por lo tanto, es otro indicador de que no es necesario aportar en el riego el 100% del requerimiento.

El número de granos por mazorca difiere con el estrés hídrico, esto concuerda con el trabajo de Yazar *et al.* (1999), donde concluye que la disminución del número de granos por planta depende del estrés hídrico y es de los principales efectos al aplicar un déficit. Pero los valores más altos se obtuvieron cuando el nivel de estrés hídrico aplicado fue del 10%, valores menores se obtuvieron para los tratamientos que recibieron un riego óptimo al satisfacer el 100% los requerimientos, esto se puede deber a lo que menciona Yi *et al.* (2010) sobre una compensación de la planta después de

ser sometida a un periodo de estrés, lo cual provoca un estímulo en los procesos fisiológicos, también menciona que cuando el contenido de humedad en el suelo supera un determinado umbral puede reducir el rendimiento debido a que aumenta la evaporación superficial del suelo no fisiológicamente activa.

La comparación de las medias del rendimiento para los niveles de estrés muestra que no existe diferencia entre los tratamientos (Cuadro 14), lo mismo sucedió en el ensayo de Cakir (2004) quien demuestra la relativa tolerancia del maíz a la escasez de agua en las fases vegetativa y la etapa lechosa, y destaca la importancia de la aplicación del riego durante la etapa de floración por su alta sensibilidad. El argumento también se ve reforzado en este trabajo por el peso volumétrico, el porcentaje de materia seca y el porcentaje de grano que no mostraron diferencia significativa en esta investigación. Estos resultados dan oportunidad para probar con niveles más elevados de estrés utilizando los mismos híbridos bajo las mismas condiciones edáficas y climáticas para posteriormente extrapolarlo a otros ambientes.

Cuadro 14. Comparación de medias entre niveles de estrés para las variables agronómicas del cultivo de maíz. (Continuación cuadro 11)

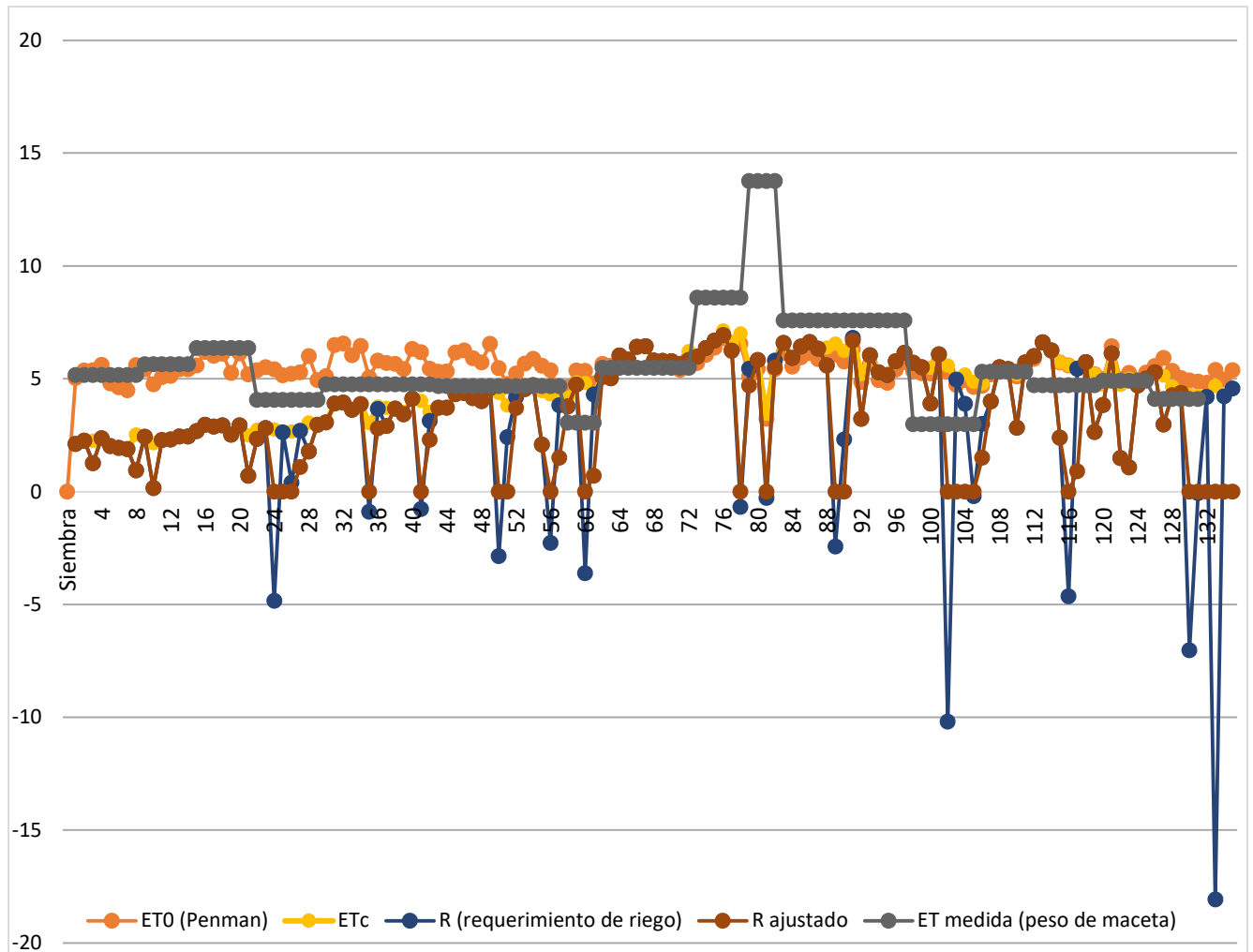
ESTRÉS	PV	MS	PG	GM	PH	REN
%	(kg hL⁻¹)	(%)	(%)	(granos)	(%)	(t ha⁻¹)
20	73.81 a	89.22 a	89.22 a	429.54 b	10.79 a	9.15a
10	76.01 a	88.8 a	88.8 a	464.45 a	11.20 a	9.61 a
0	75.85 a	89.05 a	89.05 a	450.23 ab	10.95 a	9.39 a
MEDIA	75.12	89.02	86.06	444.25	10.96	9.202
DSH	2.4	0.46	0.46	33.16	0.46	1.012

Medias con letras iguales son estadísticamente iguales (en sentido vertical). PV=Peso volumétrico, MS=Porcentaje de materia seca, PG=Porcentaje de grano, GM=Grano/mazorca, PH=Porcentaje de humedad, REN=Rendimiento.

4.3. Variables hidroclimáticas

Se muestran enseguida algunos datos hidrométricos cuantificados a partir de las variables del clima y los requerimientos del riego medidos y calculados.

Durante los 135 días que duró el ciclo (11 de marzo al 24 de julio), que se contaron hasta la presencia de la capa negra, la evapotranspiración de referencia (ET_0) determinada con el método de Penman Monteith acumuló 745.64 mm. La evapotranspiración del cultivo (ET_c) acumuló 616.30 mm, que se calculó mediante el enfoque del coeficiente del cultivo; se tomaron los valores de k_c para el cultivo de maíz del Manual de conservación del suelo y agua del Colegio de Postgraduados (1991). La precipitación observada (P_{obs}) se concentró en los meses de junio y julio con el valor acumulado de 186 mm. La precipitación efectiva (P_e), para $P_{obs} < 250$ mm según el método de Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos (USSCS, por sus siglas en el idioma inglés) resultó de 177.16 mm. El requerimiento de riego restando la precipitación efectiva a la evapotranspiración del cultivo resultó de 497.97 mm, sin embargo, los excesos de lluvia que finalmente quedan disponibles para el cultivo y que resultan como valores negativos en el cálculo del requerimiento se consideraron para el requerimiento ajustado que resultó de 451.4 mm. En la gráfica (1) se muestra la oscilación de las variables ET_0 , ET_c , RR y $RR_{ajustado}$; se observan algunos valores negativos de requerimiento y corresponden a los periodos donde la P_e supera la ET_c , sin embargo, el RR ajustado consiste en comprender que, en las condiciones de este experimento, el exceso de lluvia se almacena en el perfil del suelo y estuvo disponible para el cultivo posterior a su ocurrencia.



Gráfica 1. Variación de la evapotranspiración y de los requerimientos de riego durante el ciclo del cultivo primavera-verano 2020.

Los resultados anteriores provienen de un método indirecto para identificar el requerimiento a partir de variables del clima, del suelo y del cultivo. En el trabajo también se midió la evapotranspiración del cultivo (ETc medida) simulando el lisímetro de pesada y resultó de 724.61 mm. Este valor involucra la mayor cantidad de factores que intervienen en el fenómeno, también es una cifra más representativa de las condiciones reales del cultivo que correspondió a la lámina bruta aplicada; la eficiencia de aplicación del riego fue muy cercana al 100% debido al tamaño de la UE. El tratamiento con 10% de estrés se le aplicó una lámina de 663.53 mm en tanto que al

tratamiento con 20% de estrés se le aplicó 602.46 mm; con la igualdad estadística de los rendimientos lo anterior implica un ahorro de 724.61 m³ ha⁻¹ y 1449.22 m³ ha⁻¹ respectivamente.

La igualdad estadística del efecto de los tratamientos de estrés en el rendimiento, plantas cuatas, calificación de mazorca, mazorcas buenas, mazorcas malas, calificación de planta, longitud de mazorca, hileras por mazorca, peso volumétrico, porcentaje de materia seca, porcentaje de grano y porcentaje de humedad del grano, dan evidencia del importante ahorro de agua al aportar menor cantidad de ésta. Los resultados coinciden con lo que reportan Mendoza *et al.* (2016) relativo al rendimiento y a partir de ello surge la pregunta relativa al nivel máximo de estrés en el que no se produce reducción significativa del rendimiento, esta interrogante debe abordarse en otra investigación.

Para las condiciones de la FESC la ETc medida es muy cercana a la ET₀, pero es superior a la ETc calculada mediante el coeficiente del cultivo, esto indica que el enfoque de la FAO debe ajustarse según las condiciones edáficas y climáticas que prevalecen en cada localidad. Lo anterior representa una oportunidad para estudiar el ajuste de los coeficientes del cultivo en la FESC.

V. CONCLUSIONES

Se rechazó la hipótesis porque ningún híbrido redujo el rendimiento de manera significativa cuando se sometieron a los niveles de riego deficitario controlado.

Se encontraron diferencias significativas en la comparación de las medias de los híbridos que correspondieron a las variables; peso completo en campo, floración masculina, altura de mazorca, diámetro de mazorca, granos por hilera, diámetro de olote, porcentaje de grano y rendimiento. Destacaron los híbridos CUXI PUMA Y TSIRI PUMA y, a reserva de otras investigaciones, se posicionan como alternativa para los Valles Altos de México donde se disponga del riego completo.

Bajo las condiciones edáficas y climáticas de la FESC no se encontró diferencia significativa en la respuesta a los niveles de estrés a los que se sometieron los diez híbridos de maíz en este trabajo, posiblemente se puede incrementar el nivel de estrés sin pérdida significativa de rendimiento, este aspecto se debe investigar en otros experimentos. Además, se deben involucrar otras variables relacionadas al contenido nutrimental a medida que se incrementa el estrés.

La variable rendimiento obtuvo mejores resultados cuando se aplicó un déficit hídrico del 10%, esto ofrece oportunidades para que los agricultores mejoren su huella hídrica, sin tener el riesgo de disminuir los beneficios de la producción. De igual manera se da pauta a seguir realizando ensayos para constatar dicha afirmación expuesta en éste y diversos ensayos realizados anteriormente por otros autores. Sin embargo, también se debe tener en cuenta que el déficit hídrico no fue aplicado durante la etapa de floración, lo que constituye una nueva línea de investigación para los híbridos estudiados, donde se pueda someter al cultivo a niveles de estrés más severos durante la etapa vegetativa y satisfacer la demanda total durante la floración, con la finalidad de encontrar más alternativas para un uso más eficiente del agua sin tener que afectar el rendimiento.

Para la FESC se puede considerar un déficit del 10% durante etapas vegetativas para obtener mejores rendimientos y tratando de satisfacer la demanda total de agua durante las etapas reproductivas.

Las medias de los híbridos PUMA resultaron con valores superiores en las variables observadas con respecto a las medias de los híbridos INIFAP. Se recomienda realizar una comparación en un experimento exclusivo de los dos grupos de híbridos.

Se puede inferir que las condiciones ambientales en las que se ha llevado a cabo el ensayo son propicias para aplicar el riego deficitario controlado (RDC), pese a esto, los resultados de este trabajo de ninguna manera se deben tomar como una prescripción, menos extrapolarlos a lugares con condiciones edáficas y climáticas apenas diferentes a las de la FESC que cambian la respuesta de los híbridos. El trabajo constituye una referencia y debe validarse espacial y temporalmente.

VI. LITERATURA CITADA

- Abendroth, L., Elmore, R., Hartzler, R., & McGrath, C. (2009). *Corn Field Guide*. Iowa: Iowa State University.
- Aguilar, M., Borjas, F., & Espinosa, M. (2007). Agronomic response of maize to limited levels of water under furrow irrigation in southern Spain. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 587-592.
- Alonso Sánchez, H., Tadeo Robledo, M., Espinosa Calderón, A., Zaragoza, J., & López López, C. (2020). Productividad del agua y rendimiento de maíz bajo diferente disponibilidad de humedad. *Rev. Méx. De Cienc. Agric.*, 11(5), 1005-1016.
- Anaya-Garduño, M. G. (1991 3a ed). *Manual de conservación del suelo y agua*. Chapingo, México : Colegio de Postgraduados Chapingo .
- Avendaño, C., Molina, J., López, C., & Cadena, G. (2008). Respuesta a altos niveles de estrés hídrico en maíz. *Agronomía mesoamericana*, 19(1), 27-37.
- Betancourt Aguilar, C. R. (2017). El manejo integrado del agua en la agricultura: necesidad de implementación y aspectos vinculados. *Revista científica Agroecosistemas*, 5(2), 40-54. Retrieved from <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>
- Bray, E. (1997). Plant responses to water deficit. *Elsevier Science*, 2(2), 48-54.
- Bray, E. A. (2002). Abscisic acid regulation of gene expression during water-deficit stress in the era of the Arabidopsis genome. *Plant, Cell & Environment*, 25, 153-161.
- Cakir, R. (2004). Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*(89), 1-16. doi:10.1016/j.fcr.2004.01.00
- CIMMYT. (1995). *Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT*. México D.F.
- Di Rienzo J.A., C. F. (n.d.). InfoStat, versión 2008. Argentina.
- Espinosa Caderón, A., Tadeo Robledo, M., Zamudio González, B., Virgen Vargas, J., Turrent Fernández, A., Rojas Martínez, E., & Gómez Montiel, N. (2018). H-47, híbrido de maíz para Valles Altos de México. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 87-89.
- Espinosa Calderón, A., Tadeo, M., Turrent, A., Sierra, M., Gómez, N., & Zamudio. (2013). Rendimiento de variedades precoces de maíz grano amarillo para valles altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, 93-99. Retrieved from *Agronomía Mesoamericana*: <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v24n1/a09v24n1.pdf>
- Espinosa Calderón, A., Tadeo Robledo, M., Martínez Mendoza, R., Lothrop, J., & Azpiroz Rivero, S. (2004). *H-50 Nuevo híbrido de maíz para los Valles Altos de México*. Edo. de México : SAGARPA .
- FAO. (2006). *Boletín 56: Estudio FAO Riego y drenaje. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Rome: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN .

- Fereres, E., & Auxiliadora Soriano, M. (2007). Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58(2), 147-159. doi:10.1093/jxb/erl165
- García T., I. F., Muriel F., J. L., Durán Z., V. H., & Arriaga S., J. (2013). *Uso eficiente del agua en la agricultura*. Sevilla, España : Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera.
- García, A. R. (2001). *niciación a la fisiología de las plantas*. España : Universidad Politécnica de Valencia .
- García, E. (2004). *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*. México : Instituto Nacional de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México .
- Gilbert, N. (2010, October 4). *How to avert a global water crisis?* doi:10.1038/news.2010.490
- Giménez, L. (2012). Producción de maíz con estrés hídrico provocado en diferentes etapas dedesarrollo. *Agrociencia Uruguay*, 16(2), 92-102.
- Granados, R. (2013, mayo 01). Cambio climático y efectos en la fenología del maíz en el DDR-Toluca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(3), p. 435-446.
- Helbilng, T. (2008). Auge de los productos básicos: viento a favor. *Finanzas y desarrollo*, 45.
- Hsiao, T. (1973). Plant Responses to water stress. *Ann Rev. Plant Physiol.*, 519-570 .
- J., M. H. (2003). Respuesta de las plantas al estrés hídrico. In P. N. Reigosa M.J., *La ecofisiología vegetal. Una ciencia de síntesis* (pp. 253-285). España : Thompson Editores.
- Javier, M. (2014). *Introducción al riego*. Valencia, España : Universidad Politécnica de Valencia.
- Jeglay, Y. &. (2006). *Relación suelo, planta y hombre en el cultivo de maíz /Zea mays L.*. Maracay: Universidad cental de Venezuela.
- Larcher, W. (1995). *Physiological Plant Ecology: Ecophysiology and Stress Physiology of Functional Groups*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag.
- Lizárraga, E. (2010). Determinación del efecto elicitor del quitosán en plántulas de maíz contra estrés de tipo biótico y abiótico. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- López López , C., Tadeo Robledo , M., Espinosa Calderón , A., García Zavala , J., Benitez Riquelme , I., Vázquez Carrillo, M., & Carrillo Salazar , J. (2017). Productividad de cruas simples de maíz con calidad de proteína en Valles Altos de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(3), 559-570.
- Martínez, C. (2014). *Introducción al riego* . España : Editorial Universitat Politècnica de València.
- Mendonza, P. S. (2016). *Respuesta hídrica mediante riego deficitario controlado*. México : II CONGRESO NACIONAL DE RIEGO Y DRENAJE COMEII 2016 .
- Meraz, S. (2004). *Un estudio biofísico del consumo de agua en vegetales* . México : Universidad Nacional Autónoma de México .
- Moreno , L. (2009). Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. *Agronomía colombiana*, 27(2), 179-191.

- Ojeda Bustamente , W., Sifuentes Ibarra , E., González Camacho, E., Rendón Pimentel , & Isidro , E. (2007). Using spatial information systems to improve water management in Mexico. *Agricultural water management* , 81-88.
- Ramírez Acuña, O. (2020). Madurez fisiológica de los híbridos de maíz Tsíri Puma, Atziri Puma y Tlaoli Puma de la UNAM. (*Trabajo de tesis de licenciatura*). México : Universidad Nacional Autónoma de México.
- Reyes Méndez , C. A., Cantú Almaguer , M. Á., & Vázquez Carrillo , G. (2007). H-440, nuevo híbrido de maíz tolerante a sequía para el noreste de México. *Agricultura técnica en México*, 33(2), 201-204.
- Risco, A. (2012). *Riego deficitario controlado y deshojado temprano en la vid (Vitis vinifera L.) var. Tempranillo en Utiel-Requena. Efectos sobre la respuesta agronómica y la calidad de la uva*. Valencia : Universidad Politécnica de Valencia .
- Rivetti, A. (2006). Producción de maíz bajo diferentes regímenes de riego complementario en Río Cuarto, Córdoba, Argentina. I. Rendimiento en grano de maíz y sus componentes. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias UNCu*, 25-36.
- Sánchez-Díaz, M. (2000). El agua en la planta. In J. Azcón-Bieto, *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (pp. 17-30). Interamericana de España, S.A.U. Edición Universidad de Barcelona.
- Severiano, J. (2019). *El riego deficitario controlado en pimiento morrón (Capsicum annum L. var. annum)*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- SIAP. (2020). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Retrieved Marzo 2021, from <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Sifuentes, I. (2018, Abril 12). *PANORAMA agro.com*. Retrieved Marzo 2021, from <https://panorama-agro.com/?p=2990>
- Tadeo Robledo , M., Espinosa Calderón , A., García Zavala , J., Lobato Ortiz , R., Gómez Montiel , N., & Sierra Macías , M. (2016). Tsiri Puma, híbrido para valles altos con esquema de androesterilidad para producción de semillas . *Revista Fitotecnia Mexicana* , 331-333.
- Tadeo, R. (2020). Productividad del agua y rendimiento de maíz bajo diferente disponibilidad de humedad. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(5). doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2118>.
- Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderon, A., Canales-Islas, E., Arteaga-Escamilla, I., Trejo-Pastor, V., Sierra-Macías, M., . . . Gómez-Montiel, N. y.-G. (2010). Productividad de híbridos trilineales de maíz de Valles Altos en versión androestéril y fértil. *U Tecnociencia*, 4(2), 19-31.
- UNESCO. (2009). *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP)*. Retrieved from Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura : <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact1-demographics-consumption/#topPage>
- Vélez , J., Álvarez , J., & Alvarado , O. (2012). El Estrés Hídrico en Cítricos (Citrus spp.). *ORINOQUIA*, 16(2), 32-39.

- Vélez, J., Álvarez Herrera, J., & Alvarado Sanabria, O. (2012). El Estrés Hídrico en Cítricos (Citrus spp.): Una revisión. *ORINOQUIA*, 16(2), 32-39.
- Westgate, M., & Schussler, J. (1995). Assimilate Flux Determines Kernel Set at Low Water Potential in Maize. *Crop Science*, 1074-1080. doi: 10.2135/cropsci1995.0011183X003500040026x
- Westgate, M. & (1994). Increasing Assimilate Reserves Does Not Prevent Kernel Abortion at Low Water Potential in Maize. *Crop Science*, 1569-1576.
- Yazar, A., Howell, T., Dusek, D., & Copeland, K. (1999). Evaluation of crop water stress index for LEPA irrigated corn. *Irrigation Science*, 171-180. doi:https://doi.org/10.1007/s002710050059
- Yi, L., Shenjiao, Y., Shiqing, L., Xinping, C., & Fang, C. (2010). Growth and development of maize (*Zea mays*L.) in response to different field water management practices: Resource capture and use efficiency. *Agricultural and Forest Meteorology*, 606-613. doi:10.1016/j.agrformet.2010.02.003
- Zamora, A. (2014). *Caracterización de una proteína LEA 4 de maíz en respuesta a estrés hídrico*. México : Universidad Nacional Autónoma de México .
- Zamudio-González, B. M.-G.-R.-C.-C.-F. (2020). Rendimiento de híbridos de maíz grano blanco en cinco localidades de Valles Altos de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(7).