



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Torreón

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TORREÓN

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

DINÁMICA DE CRECIMIENTO DE SORGO FORRAJERO

(*Sorghum vulgare*) BAJO DEFICIT HÍDRICO

Tesis que presenta:

JOSUÉ NAVA SALAZAR

Como requisito para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN IRRIGACIÓN

Director de tesis:

Ph. D. JOSÉ ERNESTO FRÍAS RAMÍREZ



Torreón, Coahuila, México

Febrero 2020

Tesis elaborada bajo la dirección del comité particular la cual ha sido aprobada y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN IRRIGACIÓN

COMITÉ PARTICULAR

DIRECTOR DE TESIS: _____

Ph. D. JOSÉ ERNESTO FRÍAS RAMÍREZ

CODIRECTOR: _____

Ph.D. MARCO ANTONIO INZUNZA IBARRA

ASESOR: _____

DR. PABLO YESCAS CORONADO

ASESOR: _____

M.C. ANTONIO GERARDO YESCAS CORONADO

Torreón, Coahuila, México

Febrero 2020

AGRADECIMIENTOS

Con afecto y cariño a las personas más importantes en mi vida: mis padres, hermanos y sobrinos. Gracias por su apoyo, amor y comprensión.

A mi Instituto Tecnológico de Torreón por abrirme las puertas para superarme en conocimientos y darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo brindado para la realización de mis estudios de posgrado.

A mis asesores, por su tiempo y paciencia. Por su apoyo porque en todo momento que los necesite siempre estuvieron presentes.

Especialmente al Ph.D. José Ernesto Frías Ramírez, por darme la oportunidad de realizar este proyecto y proporcionarme las herramientas necesarias. Mi gratitud y cariño por su presencia, paciencia y profesionalismo.

A mis profesores, que durante la carrera me proporcionaron los conocimientos necesarios para lograr mi formación profesional.

DEDICATORIAS

A mis padres: Simón Nava Valenzuela y Anselma Salazar Espericueta por todo el cariño y apoyo incondicional que me han dado para lograr cumplir todas las metas que me he propuesto.

A mis hermanos: Claudia, Cesar, Simón, Ismael, Lucero, Jorge, Ana María y Vianey del Rosario Nava Salazar que siempre confiaron en mí, por su comprensión y apoyo.

A mis maestros: a todos los que han participado con entusiasmo, paciencia, tolerancia, creatividad, motivación y profesionalismo durante las diferentes etapas de mi vida académica que por ahora culmina en la maestría en ciencias en irrigación del Instituto Tecnológico de Torreón.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	<i>Página</i>
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIAS.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
RESUMEN.....	viii
SUMMARY.....	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1 Objetivo General	3
1.1.2 Objetivos Específicos	3
1.2. Hipótesis	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Disponibilidad del agua	4
2.2. Uso de agua por el cultivo	6
2.3. Clasificación de suelos	7
2.4. Evapotranspiración	8
2.5. Antecedentes del sorgo forrajero	9
2.6. Características generales del cultivo.....	10
2.7 Etapas de crecimiento del sorgo forrajero	12
2.8 Taxonomía del sorgo forrajero	15
2.9 Requerimiento climático del cultivo	16
2.10 Función de crecimiento del sorgo forrajero.....	18
2.11 TDR -TRIME-IPH.....	18
2.12 Déficit hídrico.....	21
2.13 Unidades calor.....	21
3. MATERIALES Y METODOS.....	24
3.1. Establecimiento del experimento.....	24

3.1.1. Localización del sitio experimental	24
3.1.2. Siembra	24
3.1.3. Propiedades del suelo del sitio experimental	25
3.1.4. Diseño experimental.....	26
3.2. Variables evaluadas	28
3.2.1. Humedad.....	28
3.2.2. Unidades calor	30
3.2.3. Altura	31
3.2.4. Dinámica de crecimiento	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
4.1. Humedad	33
4.2. Unidades calor	37
4.3. Altura	38
4.4. Dinámica de crecimiento	40
5. CONCLUSIONES	45
6. LITERATURA CITADA	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Triangulo de clasificación de suelos por textura	8
Figura 2.2. TDR Trime-iph	19
Figura 3.1. Distribución de los tratamientos en el campo	32
Figura 3.2. Medición de altura de las plantas de los diferentes tratamientos.....	32
Figura 4.1. Función de crecimiento del tratamiento 2 (80-40).....	41
Figura 4.2. Función de crecimiento del tratamiento 3 (60-60).....	41
Figura 4.3. Función de crecimiento del tratamiento 4 (40-40).....	42
Figura 4.4. Función de crecimiento del tratamiento 7 (100-60).....	42
Figura 4.5. Función de crecimiento del tratamiento 1 (40-80).....	43
Figura 4.6. Función de crecimiento del tratamiento 5 (80-80).....	43
Figura 4.7. Función de crecimiento del tratamiento 6 (60-100).....	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Taxonomía del sorgo forrajero	15
Cuadro 3.1. Propiedades del suelo del campo de investigación del CENID- RASPA.....	25
Cuadro 4.1. Riegos realizados durante la primera etapa del experimento.....	34
Cuadro 4.2. Riegos realizados durante la segunda etapa del experimento.....	35
Cuadro 4.3. Riegos totales por cada tratamiento.....	36
Cuadro 4.4. Unidades calor acumuladas por el sorgo forrajero.....	37
Cuadro 4.5. Altura de planta de los diferentes tratamientos en cm.....	38
Cuadro 4.6. Análisis de varianza de los tratamientos	39
Cuadro 4.7. Comparación de medias, prueba Tukey.....	39

RESUMEN

En la Comarca Lagunera el sorgo forrajero es uno de los principales cultivos, ya que se utiliza casi toda la planta como alimento en la ganadería; por tanto, es importante encontrar una relación entre la humedad del suelo y el crecimiento de la planta. Por lo que se realizó una investigación en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera-INIFAP de Gómez Palacio, Durango, México, durante el ciclo primavera-verano de 2016 con el propósito de evaluar el desarrollo del sorgo forrajero bajo un déficit hídrico, usando la variedad del sorgo forrajero Silo Miel. Los tratamientos de déficit de la humedad aprovechable fueron 40, 60, 80 y 100% durante dos etapas de crecimiento: de emergencia a inicio de floración y de inicio de floración a grano en estado lechoso-masoso.

El diseño experimental utilizado fue bloques al azar con cuatro repeticiones distribuyendo siete tratamientos mediante un arreglo San Cristobal, en unidades experimentales de 20 m². Las variables evaluadas fueron altura de planta, unidades calor acumuladas y humedad del suelo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observó que la mayor altura se logró con los tratamientos 80-40 y 40-40, alcanzando un valor máximo de 320 centímetros al acumular 1305 unidades calor. La dinámica de crecimiento del cultivo en relación a las unidades calor acumuladas, fue mejor expresada por una función polinómica con un coeficiente de determinación de (R^2) de 0.99.

Palabras Clave: Déficit hídrico, Unidad Calor, Función y Etapas de Crecimiento

SUMMARY

Forage sorghum is one of the main crops in the Laguna region, since the whole plant is used to feed cattle; so it is required to find a relationship between soil moisture and plant growth. A research work was performed at the Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera-INIFAP in Gómez Palacio, Durango, México, during the crop cycle spring summer 2016, with the purpose to evaluate the development of forage sorghum under a hydric deficit, using the Silo miel cultivar. The irrigation treatments were four percentages of available soil water depletion (40, 60, 80 and 100) during two crop stages: from emergency to flowering and from flowering to soft dough grain stage. The experimental design used was a randomized block design with four replications, with a San Cristobal distribution of seven treatments in 20 square meter experimental unit. The evaluated variables were plant height, cumulative heat units and soil moisture.

According to the obtained results it was observed that the greater plant height was achieved with the irrigation treatments 80-40 and 40-40, with a maximum value of 320 centimeters when the crop had been cumulated 1305 heat units.

The growth dynamic of the crop in relation to the cumulative heat units, was best fitted for a polynomial function with a determination coefficient (R^2) of 0.99.

Key words: soil water deficit, heat units, growth function, growing stages

1. INTRODUCCIÓN

Debido al cambio climático y los procesos de desertización que ocurren en todo el mundo, en un futuro probablemente la única manera de cultivar plantas sea en condiciones de déficit hídrico permanente, desde esta perspectiva es necesario tener cultivos con mayor resistencia o tolerancia al déficit hídrico. Aunque la mayoría de las plantas que presentan ventaja frente al estrés hídrico no son de interés económico, es posible obtener plantas cultivables tolerantes, por transferencia genética. Muchos de los genes que se inducen por estrés caracterizados en los diferentes estudios, son candidatos potenciales para la producción de plantas cultivables tolerantes o resistentes al déficit hídrico (Moreno, 2009).

Siendo el agua uno de los factores más importantes para el desarrollo de las plantas, su carencia constituye una de las principales fuentes de estrés. Muchas plantas han desarrollado respuestas que les permiten tolerar diferentes niveles de déficit de agua, que van desde un estrés hídrico leve, causado por la disminución del potencial hídrico al mediodía, hasta aquellas que les permiten sobrevivir en hábitat desérticos (Moreno, 2009).

Entre los principales cultivos forrajeros se encuentra el sorgo forrajero uno de las fuentes de granos en nuestro país, del cual se utiliza casi la totalidad para nutrir de materia prima a la industria ganadera de alimentos balanceados para animales. Este representa el 50% de la composición total del alimento para ganado, por lo que la producción pecuaria intensiva se encuentra altamente correlacionada con la producción de sorgo forrajero (Espinoza et al., 2007).

Conocer el requerimiento del agua en el cultivo es indispensable para realizar una planificación correcta del riego y mejorar la eficiencia de los sistemas de riego, proveer al cultivo de la cantidad de agua suficiente para satisfacer plenamente sus necesidades (González y Hernández, 2000). El objetivo de esta investigación, fue generar información sobre el crecimiento del Sorgo Forrajero bajo déficit hídrico.

1.1. Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Determinar una función que describa la dinámica de crecimiento de sorgo forrajero bajo déficit hídrico.

1.1.2 Objetivos Específicos

- 1) Estimar las unidades calor para el ciclo de cultivo del sorgo forrajero
- 2) Obtener una función de regresión que describa el crecimiento del sorgo forrajero (altura planta vs unidades calor)

1.2. Hipótesis

El crecimiento del sorgo forrajero tiene un comportamiento inverso al déficit de humedad en el suelo y proporcional a la cantidad de unidades calor.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Disponibilidad del agua

En el siglo XX, mientras la población mundial se triplico, las extracciones de agua se sextuplicaron. Esta situación incrementa el grado de presión sobre los recursos hídricos a nivel mundial. De acuerdo con la FAO (2006), se cataloga a la agricultura como una actividad económica que demanda la mayor cantidad de agua para riego con un 72% de la extracción total.

Anualmente México recibe del orden de 1489 miles de millones de m³ de agua en forma de precipitación. Se estima que el 73.1% se evapotranspira y regresa a la atmosfera, el 22.1% escurre por los ríos y arroyos, y el 4.8% restante se infiltra al subsuelo de forma natural y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, así como la recarga incidental, el país cuenta con 462 mil millones de m³ de agua dulce renovable, por año, a lo que se denomina disponibilidad natural media. La disponibilidad media per cápita de agua a nivel nacional disminuye con el aumento de la población, ya que la disponibilidad natural media total se divide entre un mayor número de habitantes (INEGI, 2013).

En México, en algunas de sus principales cuencas hidrológicas, se registra ya una condición de escasez conforme a estándares internacionales. En efecto, una amplia región del centro y norte de México presentaba ya en 2005 condiciones de disponibilidad muy baja, y en la cuenca del valle de México, extremadamente baja. Por efecto del crecimiento poblacional, el desarrollo económico regional y la concentración en algunas zonas urbanas, se espera que para el año 2030 varias regiones hidrológicas de importancia y gran extensión se encuentren en condiciones de disponibilidad extremadamente baja, entre ellas la cuenca binacional del río Bravo. Este escenario, sin embargo, aún no incorpora los efectos del cambio climático (Martínez y Patiño, 2010).

Recientemente se ha incrementado el número de estudios relativos al efecto del cambio climático en los recursos hídricos de México. Tras varios años de investigación en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, se publicó el “Atlas de vulnerabilidad hídrica de México ante el cambio climático” (Martínez y Patiño, 2010), en el que se presentan los resultados más recientes en torno a esta problemática.

2.2. Uso de agua por el cultivo

El riego de los cultivos agrícolas es una práctica de manejo necesaria en los ambientes áridos del Norte de México que cumple varios objetivos a la vez, dada la reducida y errática precipitación pluvial durante el ciclo del cultivo, se hace necesario aplicar riegos cuya lamina y frecuencia dependen de factores ambientales y de manejo. Los factores ambientales incluyen parámetros climáticos como radiación solar, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento que determinan la intensidad del proceso evaporativo desde la superficie vegetal (Martínez y Aguilar, 2008). Por lo tanto, es necesario implementar nuevas tecnologías para el monitoreo de la aplicación de los riegos a escala parcelaria y regional.

Esta situación hace que el gasto de agua en la agricultura, que supone entre el 50 y el 80% del agua disponible, se mide como un exceso desde ciertos ámbitos, ignorando que ese consumo se dedica a producir los alimentos que la sociedad urbana necesita consumir y que, por tanto, acaba siendo también una necesidad de la población en general (World resources institute,1994)

2.3. Clasificación de suelos

Fracción arcilla, en esta fracción se encuentran minerales secundarios, los cuales se clasifican en silicatos y no silicatos. Los primeros incluyen caolinita, montmorillonita, illita, vermiculita y alofán, entre otros, existiendo gran variación en la plasticidad, cohesión, adhesión, capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades; debido a ello es la importancia de conocer el tipo de arcilla que predomina en un suelo. Los no filosilicatos incluyen: cuarzo y otras formas de sílice (SiO_2); óxidos e hidróxidos de hierro, tales como hematita o goethita; óxidos e hidróxidos de aluminio tales como gibbsita; y carbonato de calcio. Parte del material mineral de la arcilla de los suelos es cristalino y parte amorfo.

Fracciones arena y limo, las partículas de arena son casi siempre fragmentos de roca, sobre todo de cuarzo, existiendo además cantidades variables de otros minerales primarios. La composición mineralógica de estas fracciones varía para los distintos suelos según la roca madre y el grado de meteorización. El limo está constituido por materiales heredados o transformados, pero no tienen carácter coloidal. Es una fracción donde las transformaciones son mayores y su composición mineralógica se parece a la de las arcillas. Son partículas mono minerales en las que hay un alto contenido en filosilicatos de transformación o neoformación (Brady N.C. & Weil R, 1996).

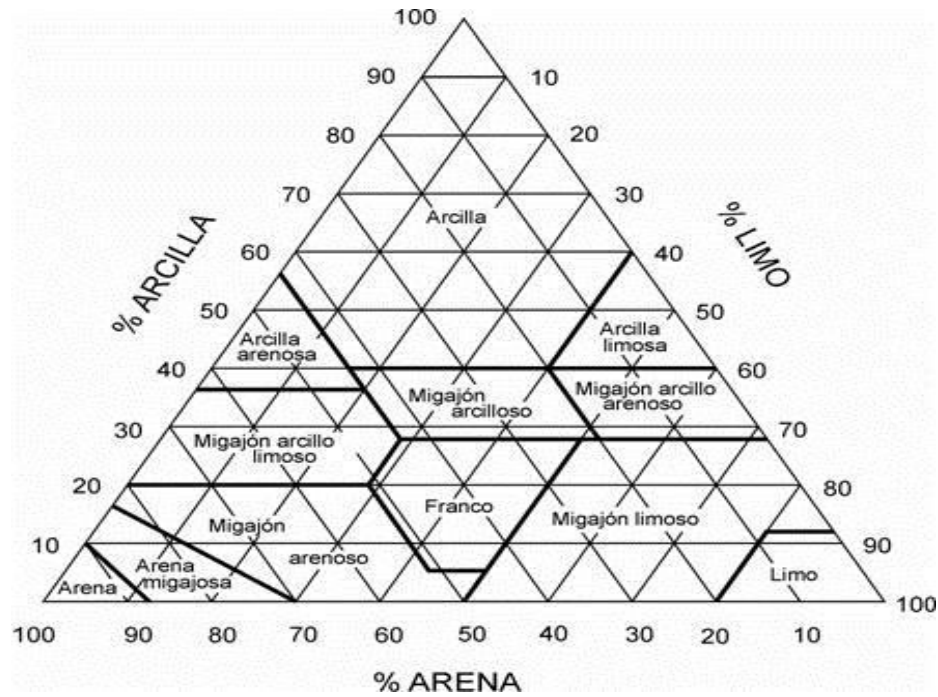


Figura 2.1. Triangulo de clasificación de suelos por textura

2.4. Evapotranspiración

La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. Aparte de la disponibilidad de agua en los horizontes superficiales, la evaporación de un suelo cultivado es determinada principalmente por la fracción de radiación solar que llega a la superficie del suelo. Esta fracción disminuye a lo largo del ciclo del cultivo a medida que el dosel del cultivo proyecta más y más sombra sobre el suelo.

En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente

cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. Se presenta la evapotranspiración dividida en sus dos componentes (evaporación y transpiración) en relación con el área foliar por unidad de superficie de suelo debajo de él. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cobertura vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración.

Se conoce como evapotranspiración (ET) a la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación directa y otra parte mediante transpiración del cultivo. La evaporación es el proceso por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie.

Por otra parte, la transpiración consiste en el intercambio hídrico debido a la interacción planta-atmósfera, donde los cultivos pierden agua principalmente por los estomas. Estas pequeñas aberturas en la hoja de la planta a través de las cuales se lleva el incremento de gases y el vapor de agua. Casi toda el agua absorbida del suelo se pierde por transpiración y solamente una pequeña fracción se convierte en parte de los tejidos vegetales (FAO, 2006).

2.5. Antecedentes del sorgo forrajero

Es probable que el sorgo sea originario de África Oriental (entre el lago Chad y el este de Sudan) en tiempos prehistóricos, entre los años 5,000 y 7,000 a.c. el testimonio más antiguo se encuentra en una escultura del palacio del rey Senerequerib, en Ninive, Asiria (actualmente Mosul, Iraq) posiblemente en el año 700 a.c. al inicio de la era cristiana se le conoció en la India y Europa (Martin, 1975).

Los primeros sorgos dejaban mucho que desear como cultivo granifero. Eran muy altos y, por lo tanto, susceptibles al vuelco y difíciles de cosechar. Además, maduraban muy tardíamente. Los tipos Kafir y Milo fueron seleccionados como productores de granos por los primeros colonos en las grandes planicies debido a que su tolerancia a la sequía es mayor que la del maíz (Martin, 1975).

La producción se utiliza prácticamente en su totalidad para el consumo animal. Las denominaciones “sorgo forrajero” y “sorgo grano” provocan algunas confusiones, debido a que se trata de la misma planta y el sorgo grano está también considerado como un producto forrajero. La diferencia es que cuando se habla de sorgo forrajero, se refiere a la utilización de toda la planta, ya sea verde o seca, y no sólo del grano. El sorgo forrajero puede achicalarse, ensilarse o henificarse; siempre para consumo animal (Martin, 1975).

2.6. Características generales del cultivo

El tallo también llamado caña, es compacto, a veces esponjoso, con nudos engrosados. Puede originar macollos (unidad estructural de la mayoría de las especies de gramíneas. Se forman a partir de las yemas axilares o secundarias del meristemo basal del eje principal), de maduración más tardía que el tallo principal. La presencia de macollos es varietal y está influenciada por la fertilización, las condiciones hídricas y la densidad.

Las hojas se desarrollan entre 7 y 24 hojas dependiendo de la variedad, alternas, opuestas, de forma linear lanceolada, la nervadura media es blanquecina o amarilla en los sorgos de médula seca y verde en los de médula jugosa. Tiene lígula en la mayoría de los casos. El borde de las hojas presenta dientes curvos, filosos y numerosas células motoras ubicadas cerca de la nervadura central del haz facilitando el enrollamiento de la lámina durante periodos de sequía (Arias y López, 1979).

La inflorescencia se presenta en panojas compactas, semicompactas o semilaxas, con espiguillas que nacen a pares, una fértil y la otra estéril. Por su lado las semillas son esféricas y oblongas de 3 mm, color negro, rojizo y amarillento.

Las características deseables en la planta de sorgo son las siguientes (Arias y López, 1979):

- Buena producción de grano
- Tallo fuerte
- Uniformidad de altura
- No presencia de macollos secundarios
- Granos grandes y pesados, fáciles de trillar y de buena calidad alimenticia, ya sea para la alimentación humana o del ganado.
- Panoja erecta con pedúnculo fuerte y largo de aproximadamente 18-20 cm sobre la última hoja, que sea densa y abierta, en la maduración.

Además de todas las características anteriores, en el sorgo es muy interesante su resistencia a los pájaros, ya que provocan muchos daños, no sólo por lo que comen, sino por lo que desgranar (Arias y López, 1979).

2.7 Etapas de crecimiento del sorgo forrajero

Carrasco et al. (2011) en su manual de sorgo, menciona que este cultivo presenta diferentes etapas en su crecimiento, como se menciona a continuación:

Etapas 0 – Emergencia: (3-10 días post siembra) Ocurre cuando el coleóptilo es visible en la superficie del suelo. Para lograr una buena emergencia es necesario que se den varios factores, como son, la temperatura, que debe estar por encima

de los 15 grados centígrados, si es superior a los 18 grados mejorará notablemente la germinación y emergencia, también debe tener buena humedad, profundidad de siembra y semilla con buen vigor híbrido, ya que la semilla es pequeña y tiene pocas reservas.

Etapa 1 – Estado de tres hojas: (10 días después de emergencia aproximadamente) Se produce cuando se pueden observar las lígulas de tres hojas sin tener que romper la planta. En esta etapa, la parte aérea puede ser eliminada y la planta se recuperará.

Etapa 2 – Etapa de las 5 hojas: (alrededor de los 21 días después de emergencia) Se produce cuando las lígulas de 5 hojas se pueden ver sin necesidad de romper la planta. El sistema radical se desarrolla rápidamente en esta etapa. La MS se acumula a una velocidad constante con condiciones de crecimiento satisfactorias. Durante esta etapa se determina el desarrollo potencial de la planta, ya que se establece el número total de hojas que tendrá. Los rendimientos pueden disminuir drásticamente si no se toman medidas para evitar la competencia de las malezas, la carencia de nutrientes, de agua o el ataque de plagas.

Etapa 3 – Diferenciación del punto de crecimiento: (aproximadamente 30 días después de la emergencia) En esta etapa cambia el punto de crecimiento de vegetativo a reproductivo. La absorción de nutrientes es rápida y la planta compete muy bien con las malezas, ayudando a tenerlas controladas.

Etapa 4 – Última hoja visible: Aquí se encuentran casi todas las hojas expandidas, menos las últimas 3 o 4. Se determina el 80% del área foliar y se empiezan a perder algunas hojas inferiores.

Etapa 5 – Panoja embuchada: Se encuentran todas las hojas expandidas, máxima cobertura foliar. La panoja se encuentra embuchada en la vaina de la hoja bandera. En esta etapa comienza el período crítico de definición del rendimiento. Una carencia nutricional o de agua en este momento se traduce directamente en menor rendimiento.

Etapa 6 – 50% de floración: Se encuentran la mitad de las plantas en floración, la que comienza en la parte superior de las panojas, y baja en 4 a 9 días. A partir de este momento, la producción de foto asimilados se destina por completo al llenado de granos.

Etapa 7 – Grano pastoso: El grano tiene una consistencia pastosa y el llenado se produce rápidamente. Las hojas inferiores siguen envejeciendo.

Etapa 8 – Grano duro: En esta etapa se alcanzan las tres cuartas partes del peso seco del grano, la absorción de nutrientes es casi nula. Un estrés hídrico severo o una helada se traducirá en un grano chuzo.

Etapa 9 – Madurez fisiológica: Se alcanza el máximo peso seco de la planta, con valores que oscilan entre el 25-35% de humedad en el grano. Esta madurez fisiológica no es la madurez de cosecha, depende el uso que se le quiera dar, se cosechará o no en este momento.

2.8 Taxonomía del sorgo forrajero

Cuadro 2.1. Taxonomía del sorgo forrajero

Taxonomía del sorgo forrajero	
Reino	Vegetal
División	Trachaeophyta
Subdivisión	Pteropsidae
Clase	Angiospermae
Subclase	Monocotiledpneae
Grupo	Glumiflora
Orden	Gaminales
Familia	Graminae
Subfamilia	Panicoideas
Tribu	Andropogoneas
Género	Sorghum
Especie	Vulgare

La taxonomía proporciona al hombre un marco organizativo que permite reconocer e interpretar la diversidad de los seres vivos (Bisby et al., 1995)

La actividad taxonómica también proporciona información relevante para cuantificar y evaluar la componente genética de la biodiversidad o la diversidad dentro de un determinado taxón. Así permite conocer el rango de variación

morfológica dentro de un taxón, la frecuencia relativa del mismo en determinados tipos de hábitat y la distribución geográfica. Esta información resulta a si mismo valiosa para el diseño de estrategias de recolección de germoplasma y la determinación del grado de amenaza de taxones en peligro de extinción (Soberon et al.,1996)

2.9 Requerimiento climático del cultivo

Sus verdaderos requerimientos climatológicos son temperaturas medias y uniformes, altas durante la estación de crecimiento y nunca inferiores a 26 °C., zonas de lluvia estivales aun cuando sean de baja cuantía total, muy espaciada ocasionales o inseguras. En las regiones de clima cálido y semicálido, se pueden levantar hasta 3 cortes de sorgo forrajero, como sucede en el estado de Tamaulipas, pero en regiones que sufren heladas se da solo un corte a fines de verano o principios de otoño, su período vegetativo dura de 3 a 6 meses lo que depende de la variedad, clima y suelo (Muñoz, 1960).

Por otra parte (Hughes et al., 1966) se considera una temperatura media óptima para su desarrollo de 16 a 26.7 °C, aunque 16 °C como temperatura media ya no es conveniente, pues bajan los rendimientos y el ciclo se alarga, sin embargo, existen variedades que se han desarrollado con temperaturas medias de 15 °C.

La temperatura media máxima en que se puede desarrollar el sorgo es de 37.5 °C.

El sorgo es muy resistente a las sequías, esto hace que pertenezca a un grupo valioso en zonas marginadas, más, sin embargo, se cultiva más ampliamente en zonas tropicales y templadas (Hughes et al., 1966).

Su sistema radicular es muy extenso, por lo cual es muy resistente a la deshidratación, tiene un ritmo de transpiración eficaz y características foliares de las xerófilas que retardan la pérdida de agua de la planta, aunque presenta un crecimiento mayor en condiciones favorables de temperatura húmeda. Produce más en zonas subhúmedas y en semiáridas (Villarreal, 1970).

Las hojas del sorgo que son más angostas y pequeñas que las del maíz, se enrollan hacia su nervadura central cuando se presenta una sequía disminuyendo la superficie de transpiración, por lo que se tiene una buena producción de grano y forraje con condiciones adversas de humedad y precipitación. La producción de sorgo en las zonas de baja precipitación, se ha hecho posible debido a que granos precoces escapan con frecuencia al daño de la sequía mientras que las variedades tardías bajo las mismas condiciones consumen toda la humedad disponible antes de madurar (Martín, 1975).

La temperatura y la humedad del suelo determinan el momento de siembra del sorgo, se ha demostrado que estos dos criterios son mejores indicios que una fecha especificada en una zona dada. Sin embargo (Robles, 1974) cita que en algunos campos experimentales de (INIA CAEANA) se han determinado las fechas óptimas para esta gramínea. Por ejemplo, en Tamaulipas se recomienda la siembra de primavera del 15 de febrero al 15 de marzo, la siembra de verano no es aconsejable por presentarse muchos problemas de plagas.

2.10 Función de crecimiento del sorgo forrajero

Estos modelos son usados dependiendo del material y condiciones del proceso, resulta destacable el hecho de que casi la totalidad de los modelos requieren desarrollos experimentales paralelos para las soluciones. La variabilidad en el grado de dificultad se presenta principalmente por el tipo y numero de variables usadas en el desarrollo de dichos modelos. Es por eso que los modelos empíricos, semiempíricos y experimentales buscan soluciones a partir de un número reducido de variables. (Villalba et al., 2015).

2.11 TDR -TRIME-IPH

El sensor inteligente y compacto TRIME-PICO IPH es un dispositivo de medición para dispositivos portátiles y no destructivos, determina la humedad volumétrica

del suelo en un perfil. Este sistema está diseñado para uso en campo y con una variedad de opciones de instalación (los tubos están disponibles en 1m, 2m y 3m) ofreciendo una amplia gama de aplicaciones.

TRIME-PICO IPH se puede utilizar en diferentes configuraciones del sistema con cualquiera de sus unidades de pantalla TRIMEHD, para mostrar el valor de humedad del suelo en el campo.

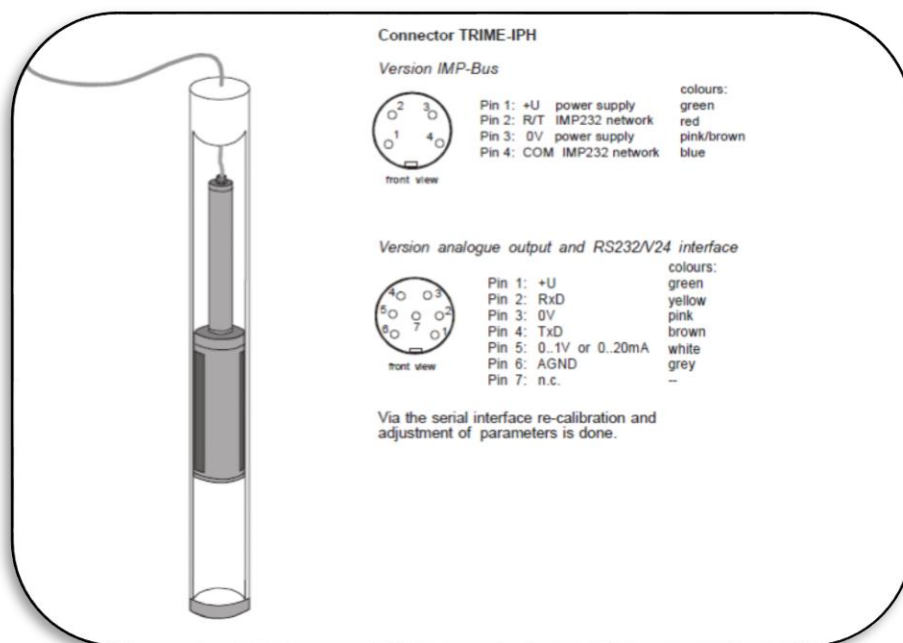


Figura 2.2. TDR Trime-iph

Entre los métodos no destructivos que suelen emplearse para determinar la humedad del suelo (sonda de neutrones, resistividad eléctrica, bloques de yeso, etc.), la reflectometría en el dominio temporal (TDR) está siendo considerada actualmente como la más adecuada. El método, aunque desarrollado inicialmente

para localizar roturas en cables conductores, permite calcular de forma sencilla la permitividad dieléctrica (Tapias et al., 2001).

La permitividad dieléctrica relativa de un suelo compuesto por tres componentes (aire, agua y partículas minerales) es igual a: $k = k_w \alpha \theta + k_m \alpha (1-n) + k_a \alpha (n-\theta)$ donde:

k_w es la permitividad dieléctrica relativa del agua

k_a es la permitividad dieléctrica del aire

k_m es la permitividad dieléctrica de las partículas minerales

n es la porosidad del suelo

θ es el contenido volumétrico en agua del suelo

α es un factor estructural, cuyo valor para suelos isótropos es 0,5

La permitividad dieléctrica relativa del agua es aproximadamente igual a 80, la de las partículas minerales constituyentes de suelo oscila entre 3 y 5, y la del aire es igual a 1. Por tanto, dado el elevado contraste entre k_w y los demás componentes del suelo, el contenido en agua es el factor dominante del valor de esta propiedad en los suelos (Tapias et al., 2001).

El TDR mide el tiempo de ida y vuelta de un impulso electromagnético de alta frecuencia. La velocidad de propagación del impulso es función de la permitividad dieléctrica del medio, que a su vez está muy condicionada por el contenido de

agua. De ahí que el método pueda aplicarse para la medida indirecta del contenido de humedad del suelo (Tapias et al., 2001).

2.12 Déficit hídrico

Este cultivo se destaca por su capacidad de crecer con alta productividad tanto en zonas tropicales como templadas, por su alta eficiencia fotosintética, sus altos niveles de acumulación de materia seca, su posibilidad de crecer en sitios con altas temperaturas y elevados déficit hídricos, suelos salinos e inundables, su capacidad de rebrote y por su variabilidad genética permite la producción de distintos tipos de sorgo (graníferos, forrajeros, azucarados, de bajo contenido de lignina y de alta energía) constituyendo un seguro en el sistema productivo, si se le da el manejo adecuado según su utilización (Giorda y Cordes, 2009).

Una vía estratégica importante para lograr el incremento de la productividad del agua es el estudio de las funciones agua rendimiento y su uso dentro de la planificación y distribución del agua disponible entre un grupo de cultivos en condiciones de déficit hídrico (Molden *et al.*, 2003).

2.13 Unidades calor

Ya desde el siglo XVIII se puso de relieve la importancia de la temperatura sobre el desarrollo de las plantas, relacionándose la duración del ciclo vegetativo de las plantas con la marcha de las temperaturas. Es fácil observar cómo se acorta la duración del ciclo vital de la planta cuando las temperaturas son más altas.

La suma de las temperaturas medias diarias menos el valor umbral durante la estación de crecimiento es constante para una determinada fase de desarrollo. El cálculo de las unidades de calor (integral térmica) se debe hacer utilizando las curvas de los termógrafos; la superficie comprendida entre la curva de temperatura y la horizontal marcada con el cero de vegetación (umbral para el desarrollo vegetativo) nos da en grados-horas el valor de integral térmica.

El valor se debe calcular para un determinado año agrícola durante el período vegetativo, para así saber cuándo se producirá el final del período vegetativo, no olvidemos que el valor de la integral térmica se considera constante para una determinada variedad. Como menciona Arciniega (2010) existe otra forma de analizar el efecto de la temperatura sobre el desarrollo de los cultivos, a través de las unidades calor. Estas unidades se han relacionado con las etapas fenológicas con muy buenos resultados. Por lo tanto, a través de las unidades calor es posible calendarizar las diferentes etapas de las plantas.

Una aplicación agronómica del efecto de la temperatura sobre plantas e insectos es el concepto de unidades calor, que se basa en el requerimiento de temperatura

de estos organismos para su crecimiento, desarrollo y madurez y supone que la tasa o velocidad de desarrollo es exactamente proporcional a la temperatura; es decir, que existe una relación lineal entre ambos.

método residual.

Cálculo de las unidades calor

$$UC = \frac{temp.maxima + temp.minima}{2} - 15$$

Punto crítico = 15

Dos reglas

Si la temperatura máxima del día es mayor que 30 °C, se usa 30 para calcular el promedio.

Si la temperatura mínima del día es menor de 10 °C se usa 10 °C para calcular el promedio.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Establecimiento del experimento

3.1.1. Localización del sitio experimental

El experimento se realizó durante el ciclo primavera-verano de 2016, en el Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en la Relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (CENID-RASPA-INIFAP), ubicado en Gómez Palacio, Durango, México. El sitio se localiza a 25° 35' N, 103° 27' O y altitud de 1135 m. El clima de la región se clasifica como BW(h')hw que corresponde a muy árido, con precipitación anual de 250 mm promedio, evaporación media anual de 2000 mm y temperatura media anual de 22 °C. Las lluvias ocurren principalmente en verano, con lluvias invernales de apenas 5 a 10% (García, 1970).

3.1.2. Siembra

Se utilizó la variedad del sorgo forrajero Silo Miel recomendado para la Comarca Lagunera (Anaya et al., 2015), se realizó la siembra el 20 de abril del 2016 en suelo húmedo con una densidad aproximada de 312 mil plantas por hectárea.

Se consideraron dos etapas de crecimiento del cultivo sorgo forrajero para estudiar la variación del contenido de humedad en el suelo, la primera etapa fue de emergencia a inicio de floración y la segunda de inicio de floración a grano en estado lechoso-masoso.

3.1.3. Propiedades del suelo del sitio experimental

Primeramente, se realizó un análisis de suelo del sitio de estudio para determinar el promedio de sus propiedades físicas como densidad aparente y su contenido de partículas de arena, limo y arcilla y finalmente obtener su textura con el triángulo de texturas para cada profundidad según la norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

Cuadro 2.1. Propiedades del suelo del campo de investigación del CENID-RASPA

Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura	Da (g cm ⁻³)	CC	PMP
0 – 30	38	38	24	Franco arcillosa	1.27	27.9	15.9
30 – 60	38	38	24	Franco arcillosa	1.29	27.7	15.5
60 – 90	41.4	35.4	23.2	Franco	1.3	27.9	15.2

3.1.4. Diseño experimental

Como menciona Briones y Martínez (2002), la elección de un diseño experimental en la metodología para superficies de respuesta depende básicamente de minimizar los costos experimentales, la reducción del tiempo de experimentación, y de maximizar la eficiencia de estimación de la respuesta. Para estimar una superficie de respuesta, los modelos lineales de orden menor o igual a tres han sido empleados frecuentemente por su sencillez y fácil interpretación. Sin embargo, los polinomios de grado fraccionario (modelos pseudocuadráticos) con frecuencia logran una mejor aproximación.

Para este trabajo se utilizó el diseño de tratamientos san Cristóbal para los dos factores de humedad y etapas de crecimiento, en el cual se eligen solo siete tratamientos en forma estratégica de un total de 16 combinaciones del original 4x4, la distribución de los tratamientos fue de manera aleatoria en el sitio de estudio, con base al diseño experimental de bloques al azar con cuatro repeticiones, en donde a cada unidad experimental se le asignó una superficie de 4 m de ancho por 5 de largo (20 m²).

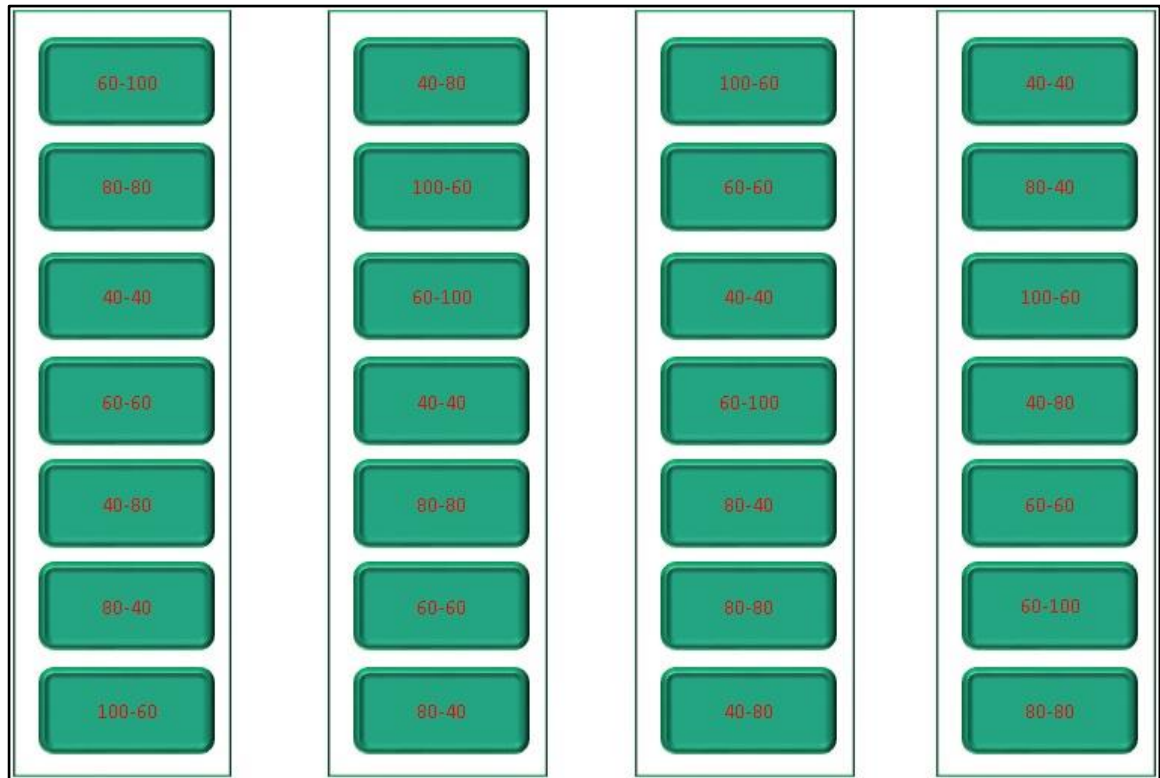


Figura 3.1. Distribución de los tratamientos en el campo

De acuerdo a este diseño de tratamiento las combinaciones resultantes ensayadas en el campo fueron siete diferentes niveles de abatimiento de la humedad aprovechable en el suelo en los primeros 90 cm de profundidad radicular del cultivo.

3.2. Variables evaluadas

3.2.1. Humedad

Los niveles de estudio para la primera etapa (de emergencia a inicio de floración) fueron: 40, 60, 80 y 100% de la humedad aprovechable consumida del suelo por el cultivo. Similarmente para la segunda etapa (inicio de floración a estado lechoso-masoso del grano) se utilizaron los mismos niveles de estudio.

Para determinar el contenido de agua del suelo y su variación a través el ciclo del cultivo en cada tratamiento, se utilizó un sensor de humedad TRIME-IPH Micromodultechnik Gmbh, basado en el método de reflectometría en el dominio temporal (TDR); el cual fue previamente calibrado con el método gravimétrico estándar, mediante la toma de muestras del suelo con barrenas tipo veihmeyer.

El resultado de la calibración del TDR fue una ecuación que nos calcula el contenido de humedad volumétrica actual a partir de la lectura del sensor, la cual quedo de la siguiente manera:

$$\theta_v = -10.23827 + 0.075437 * (Lectura\ Sensor)$$

Donde: θ_v = Contenido de humedad volumétrica

Para saber los riegos que necesita el cultivo se usa el resultado de la ecuación anterior, es decir el contenido de humedad volumétrica la cual se utiliza para calcular la lámina de riego con la siguiente formula:

$$Lr_{\theta_{actual}} = ((CC * Da) - \theta_v) * Prof$$

Donde: CC = Capacidad de Campo

$Lr_{\theta_{actual}}$ =Lamina de riego en cm, para llegar desde θ_v actual hasta CC

Da = Densidad Aparente en gr/cm^3 $Prof$ = Profundidad en cm

La lamina de riego calculada con la formula anterior se le aplica al cultivo solo en caso de que se halla consumido el porcentaje de la humedad aprovechable que corresponda a cada tratamiento, las operaciones para verificar esto se realizan de la siguiente forma:

$$Lr_{(100\%HA)} = (CC - PMP) * Da * Prof$$

Donde: PMP = Punto de Marchitamiento Permanente

$Lr_{(100\%HA)}$ = Lamina de riego en cm, para llegar desde PMP hasta CC

$$HA(\%) = \frac{Lr_{\theta_{actual}}}{Lr_{(100\%HA)}} * 100$$

Donde: $HA(\%)$ = Porcentaje de humedad aprovechable consumida

De lo anterior se decide cuando regar en cada tratamiento dependiendo de la humedad aprovechable consumida, siendo los niveles de estudio de 40, 60, 80 y 100% de la humedad aprovechable consumida del suelo por el cultivo.

3.2.2. Unidades calor

Las Unidades Calor (UC) son la forma como se mide la acumulación del calor a través del tiempo. Son un indicador del tiempo que un cultivo ha estado expuesto a temperaturas adecuadas para su desarrollo. Las Unidades Calor pueden emplearse para evaluar la viabilidad de un cultivo en alguna región determinada; estimar las etapas de desarrollo del cultivo; predecir su fecha de madurez y definir los mejores tiempos para aplicar fertilizaciones o controles de plagas (Lee, 2011).

Por lo tanto, las unidades calor son de suma importancia conocerlas y para realizar su cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$UC = \left(\frac{T_{m\acute{a}x} + T_{m\acute{i}n}}{2} \right) - T_{base}$$

Donde:

$T_{m\acute{a}x}$ = Es la temperatura máxima registrada en un día determinado.

$T_{m\acute{i}n}$ = Es la temperatura mínima registrada en un día determinado.

T_{base} = Es la temperatura base, específica de cada especie.

La mayoría de los métodos lineales empleados para calcular unidades calor utilizan la temperatura umbral inferior de desarrollo o temperatura base, la cual generalmente se determina bajo condiciones de laboratorio.

Por lo anterior, el organismo de interés se somete a diferentes temperaturas constantes y se registra el tiempo en que se desarrolló bajo cada una de ellas;

posteriormente, mediante la ecuación de regresión lineal simple $y = a + bx$, donde y = tasa de desarrollo ($1/\text{número de días}$) y x = temperatura, se estima la temperatura umbral ($T_u = -a/b$), que es el punto en que la recta cruza el eje de las abscisas; es decir, se considera como tal a la temperatura en que el desarrollo es cero.

3.2.3. Altura

Se realizaron mediciones de la altura de la planta desde el 10 de mayo de 2016 a los 20 días después de la siembra, utilizando una cinta métrica, se registró la altura en cm y se tomaron datos cada 10 días, este procedimiento se midió desde la parte basal del primer nudo formado hasta la espiga.

La medición de altura de la planta se realizó en los 4 bloques a tres plantas de cada uno de los tratamientos, para lo cual se calculó el promedio de los 12 datos obtenidos, resultando así una altura promedio para cada fecha.



Figura 3.2. Medición de altura de las plantas de los diferentes tratamientos

3.2.4. Dinámica de crecimiento

Para conocer el crecimiento de las plantas de Sorgo Forrajero de la variedad Silo Miel se utilizaron los datos de altura y los de unidades calor para las mismas fechas en que se midió la altura, esto con la finalidad de ver el desarrollo de la planta con respecto a las unidades calor. A partir de los mismos se determinó la ecuación que mejor refleja la dinámica de crecimiento de las plantas mediante un análisis de regresión por cada tratamiento empleado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Humedad

$$\theta_v = -10.23827 + 0.075437 * (Lectura\ Sensor)$$

$$\theta_v = -10.23827 + 0.075437 * (Lectura\ Sensor)$$

$$\theta_g = \frac{\theta_v}{Da}$$

$$Lr_{\theta_{actual}} = (CC - \theta_g) * Da * Prof$$

$$HA(\%) = \frac{Lr_{\theta_{actual}}}{Lr_{(100\%HA)}}$$

En el cuadro 4.1 se puede observar los riegos que se realizaron durante la primera etapa del experimento que abarca de la emergencia del cultivo hasta el inicio de la floración, donde se distingue que los tratamientos 40-40 y 40-80 se riegan más frecuente por el hecho que solo se deja abatir el 40% de la humedad aprovechable, mientras que en el cuadro 4.2 tenemos los riegos durante segunda etapa donde se observan mayores láminas de riego y mayor separación entre ellos, aunque en esta etapa el cultivo demanda más agua lo que rige el riego es el porcentaje de abatimiento de la humedad del suelo..

Cuadro 4.1. Riegos realizados durante la primera etapa del experimento

4. Resultados y Discusión

Fecha	Tratamiento	Intervalo de riego (días)	Lamina de riego (cm)
12-may-16	todos los tratamientos	22	10
19-may-16	40-80	7	9.11
	80-40	7	9.3
	60-60	7	10.61
	40-40	7	9.11
	80-80	7	9.3
	60-100	7	10.61
23-may-16	40-80	11	8.02
	40-40	11	10.24
27-may-16	60-60	15	5.79
30-may-16	40-80	7	5.11
	40-40	18	4.22
	60-100	18	6.02
03-jun-16	40-80	15	3.65
	40-40	22	4.21
06-jun-16	60-60	25	6.24
	80-80	25	7.46
	60-100	25	6.35
07-jun-16	40-80	19	4.37
	40-40	26	3.97
10-jun-16	40-80	22	6.36
	40-40	29	6.08
13-jun-16	60-60	32	8.79
	60-100	32	9.6
14-jun-16	40-80	26	6.52
	40-40	33	6.13
17-jun-16	40-80	29	6.43
	40-40	36	5.16

4. Resultados y Discusión

Cuadro 4.2. Riegos realizados durante la segunda etapa del experimento

Fecha	Tratamiento	Intervalo de Riego (días)	Lamina de Riego (cm)
21-jun-16	80-40	40	12.23
	60-60	40	8.62
	40-40	40	5.57
	100-60	40	13.48
24-jun-16	80-40	43	7.62
	60-60	43	8.84
	80-80	43	11.58
	100-60	43	9.76
27-jun-16	80-40	46	7.15
	40-40	46	7.69
01-jul-16	80-40	50	6.27
	40-40	56	4.41
04-jul-16	60-60	53	9.19
	100-60	53	9.70
06-jul-16	80-40	56	6.11
	60-60	56	9.19
	40-40	63	6.32
	80-80	56	11.35
11-jul-16	100-60	56	9.70
	80-40	62	5.52
	40-40	56	7.16
14-jul-16	80-40	66	5.90
	60-60	65	8.99
	40-40	87	6.01
	60-100	63	14.14
17-jul-16	100-60	65	9.16
	40-80	60	11.40
	80-40	70	6.23
	40-40	91	6.98
22-jul-16	80-80	68	11.68
	80-40	76	6.76
	60-60	74	8.95
	40-40	95	8.31
26-jul-16	100-60	74	6.99
	80-40	81	7.52
27-jul-16	40-40	100	8.97
	60-60	80	8.52
	80-80	79	12.00
	100-60	80	9.70
04-ago-16	40-80	79	10.01
09-feb-00	80-40	91	6.73
	60-60	89	7.35
	40-40	110	6.45
	80-80	88	9.04
	60-100	84	12.73
	100-60	94	7.63

En el cuadro 4.3 se muestra la cantidad de agua total aplicada por tratamiento de riego, la cual se determinó sumando las láminas de riego en todo el ciclo; comparando estos resultados con las alturas totales del cuadro 4.5 se puede observar que los tratamientos 80-40 y 40-40 son los que resultaron con mayores alturas mientras que el tratamiento 40-40 siempre tuvo más del 60% de agua aprovechable, el tratamiento 80-40 se trabajó en la primera etapa de emergencia a inicio de floración con tan solo el 20% de agua aprovechable con lo cual se ve reflejado en la lámina total, de esta forma se ahorró agua sin descuidar la etapa más crítica del cultivo que es de inicio de floración a grano en estado lechoso-masoso, como menciona Carrasco et al. (2011) en esta etapa un estrés hídrico severo o una helada se traducirá en un grano chuzo.

Cuadro 4.3. Riegos totales por cada tratamiento

Tratamiento	No. De Riegos	Lamina total
		(cm)
40-80	10	70.97
80-40	12	87.34
60-60	14	101.08
40-40	17	110.91
80-80	7	72.41
60-100	6	59.45
100-60	8	76.12

4.2. Unidades calor

La contabilización de las unidades calor acumuladas por el cultivo de sorgo forrajero se realizaron a partir de una temperatura base de 15 °C, el cual tuvo una duración total de 107 días desde la siembra (20/abril) hasta la cosecha (5/agosto) obteniendo 1305 unidades calor; a diferencia de Agüero *et al.* (2010) donde utiliza una temperatura base de 5 °C para calcular las unidades calor de los cultivos de avena, trigo y cebada, recordando que cada cultivo tiene diferente temperatura base donde se considera el límite para el desarrollo vegetativo de la planta, donde se obtuvo 1730 unidades calor.

En el cuadro 4.4. se muestra que en todo el ciclo el sorgo forrajero obtiene 1305 unidades calor aproximadamente, lo que es similar al trabajo de Ruiz y Carrillo (2005) que con tan solo 70 días al primer corte se tienen 850 y al segundo corte 1542 unidades calor a los 127 días, lo que refleja esta diferencia es que en el presente trabajo se realizó un único corte hasta los 107 días.

Cuadro 4.4. Unidades calor acumuladas por el sorgo forrajero

Fecha	Tmax	Tmin	UC	UC acum
10-may-16	34.3	18.2	11.25	205.95
18-may-16	33.6	20.1	11.85	295.55
29-may-16	35.3	23.2	14.25	435.5
10-jun-16	35	20.4	12.7	561
20-jun-16	33.3	21.9	12.6	702.55
01-jul-16	34.4	22.9	13.65	845
10-jul-16	31.3	19.3	10.3	965.1
20-jul-16	33.6	23.2	13.4	1100.7
05-ago-16	34.7	22.6	13.65	1304.95

4.3. Altura

En el cuadro 4.5 se observa que las plantas de los tratamientos 80-40 y 40-40 son las que resultaron con mayor altura con 320 cm siendo superior a la altura reportada por Pérez *et al.* (2018) para la misma variedad de sorgo forrajero “Silo Miel” de 142 cm a los 115 días después de la siembra para la zona de Texcoco, Estado de México donde el clima templado con temperaturas mínimas de 5 °C a 14 °C desfavorecieron el desarrollo de la planta, resultando esta gran diferencia de alturas demostrando que las unidades calor tienen una participación importante en el desarrollo vegetativo del sorgo forrajero

Cuadro 4.3. Altura de planta de los diferentes tratamientos en cm

Fecha	40-80	80-40	60-60	40-40	80-80	60-100	100-60
10-may-16	11.7	9.5	12.8	9.8	11.5	11.13	9.3
18-may-16	26.7	24.5	27.8	24.8	26.4	26.3	24.3
29-may-16	63	64.5	55	69.5	74.5	60.7	63
10-jun-16	130	110	110	120	110	100	100
20-jun-16	220	150	180	160	140	140	120
01-jul-16	240	190	230	230	180	180	140
10-jul-16	240	230	240	260	210	200	200
20-jul-16	250	270	250	280	220	200	240
05-ago-16	250	320	280	320	260	210	280

En el cuadro 4.6 se muestran los resultados del análisis de varianza (ANVA) de la variable altura de la planta del sorgo forrajero (*Sorghum vulgare*) entre los 7 tratamientos del experimento, en los que se uso la semilla de la variedad “Silo miel”, se observo que existen diferencias significativas ($P < 0.01$) entre los tratamientos, hasta los 107 días después de la siembra donde se realizó el único corte.

Cuadro 4.4. Análisis de varianza de los tratamientos

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Tratamientos	6	2.207	0.368	9.115	0.000
Bloques	3	0.125	0.042	1.030	0.403
Error	18	0.726	0.040		
Total	27	3.058			

En el cuadro 4.7 se muestran los resultados de la comparación de medias por medio de la prueba de tukey (0.05), en la cual se observa que el tratamiento 4 (40-40) es el que dio mejores resultados, seguido del tratamiento 2 (80-40).

Cuadro 4.5. Comparación de medias, prueba Tukey

Tratamiento	Media	0.05
4	3.273	A
2	3.113	Ab
3	2.893	Abc
7	2.728	Bcd
1	2.715	Bcd
5	2.558	Cd
6	2.410	D
Tukey=	0.469	

4.4. Dinámica de crecimiento

En las figuras 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4 podemos observar que en los casos de los tratamientos 2 (80-40), 3 (60-60), 4 (40-40) y 7 (100-60) se obtuvo una mayor altura de la planta de sorgo forrajero "*Sorghum vulgare*", teniendo en común una mayor disponibilidad de agua en el periodo mas critico del desarrollo de la planta que es de inicio de floración a estado lechoso-masoso del grano, además que la función polinómica es la que mejor se ajustó a los datos de altura y unidades calor de los diferentes tratamientos

Por su parte en las figuras 4.5, 4.6 y 4.7 podemos observar que los tratamientos 1 (40-80), 5 (80-80), y 6 (60-100) se obtuvo una menor altura de la planta de sorgo forrajero "*Sorghum vulgare*", teniendo en común que la disponibilidad de agua era escasa en la etapa más critica que es de inicio de floración a estado lechoso-masoso del grano, además que la función polinómica es la que mejor se ajustó a los datos de altura y unidades calor de los diferentes tratamientos

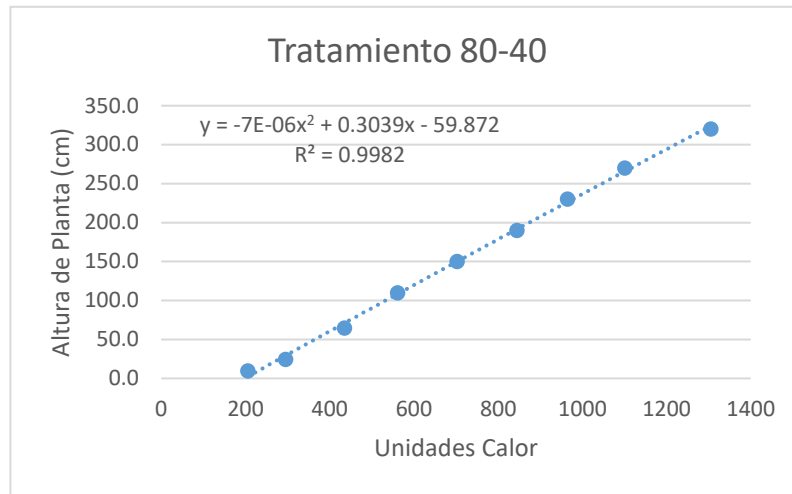


Figura 4.1. Función de crecimiento del tratamiento 2 (80-40)

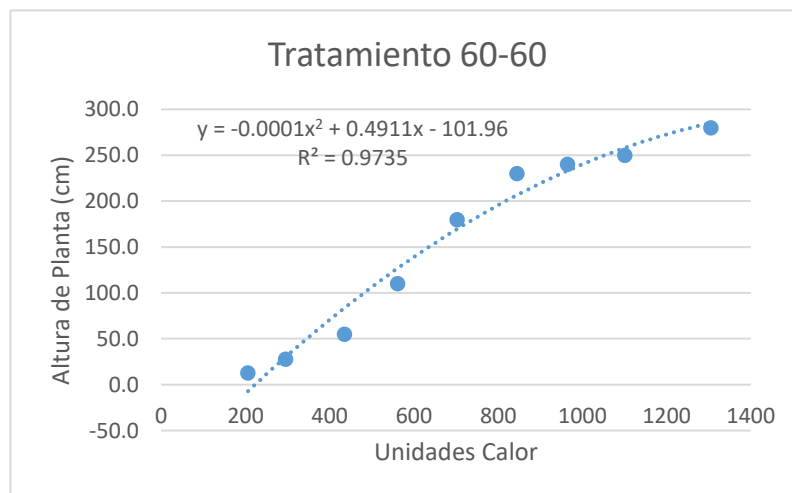


Figura 5. Función de crecimiento del tratamiento 3 (60-60)

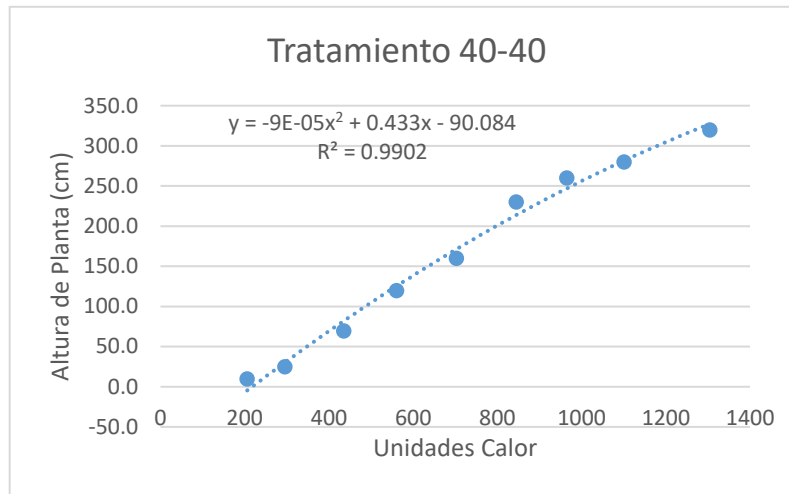


Figura 7. Función de crecimiento del tratamiento 4 (40-40)

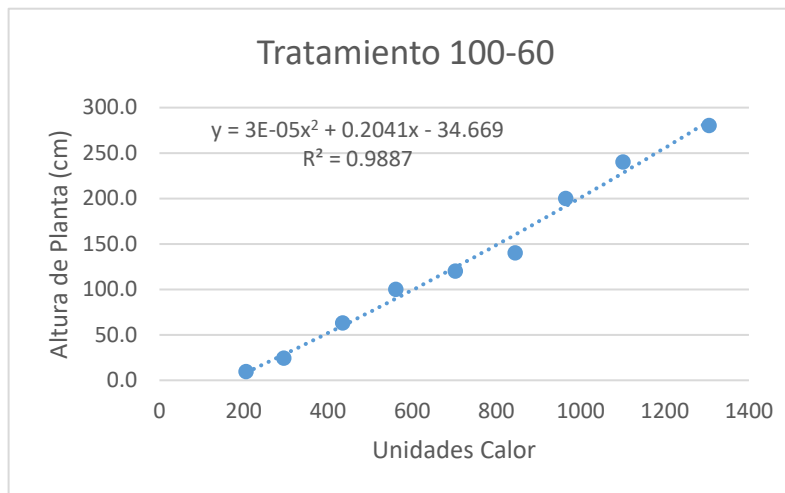


Figura 6. Función de crecimiento del tratamiento 7 (100-60)

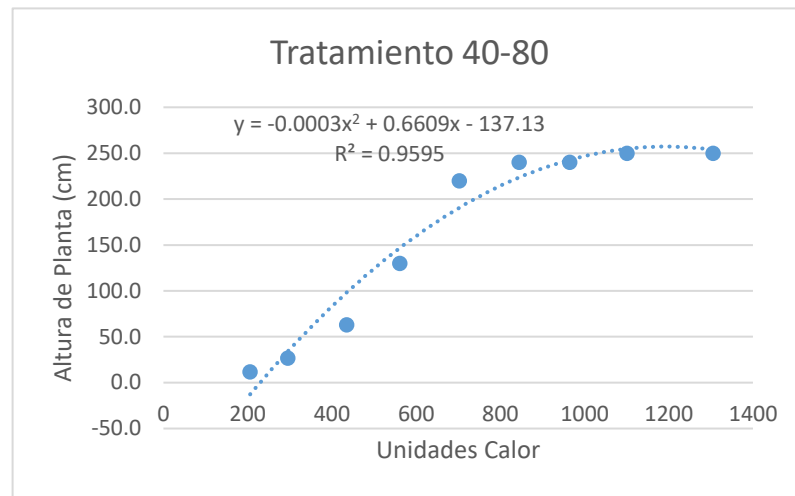


Figura 4.8. Función de crecimiento del tratamiento 1 (40-80)

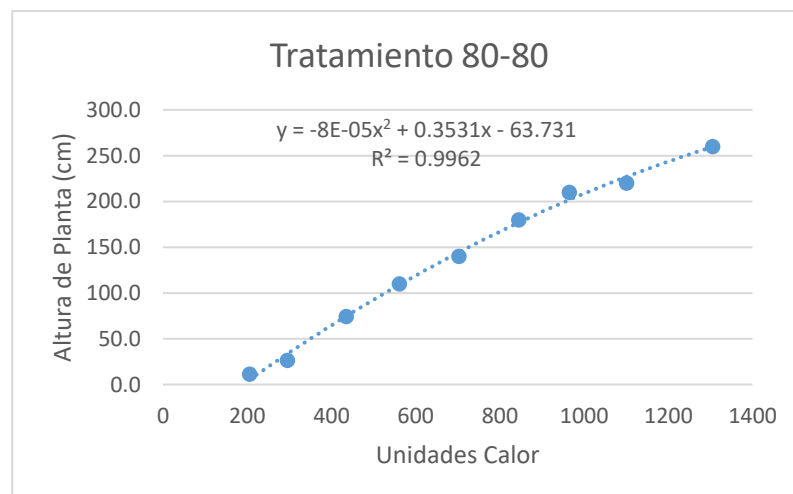


Figura 4.9. Función de crecimiento del tratamiento 5 (80-80)

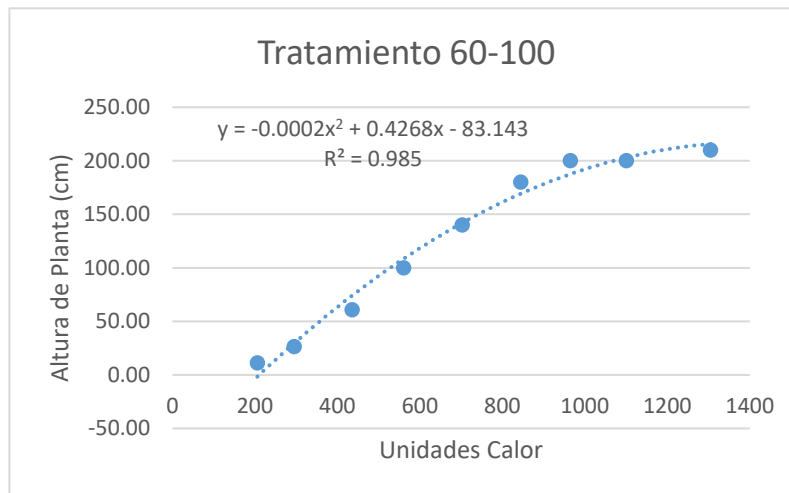


Figura 4.10. Función de crecimiento del tratamiento 6 (60-100)

5. CONCLUSIONES

El crecimiento del sorgo forrajero tiene un comportamiento inverso al déficit de humedad en el suelo y directamente proporcional a la cantidad de unidades calor, por lo que el cultivo responde a la humedad, principalmente durante la segunda etapa por lo que se sugiere el tratamiento 80-40 es una buena estrategia para regar alcanzando una buena altura y utilizando menor cantidad de agua.

Los cuatro tratamientos que se le aplicó una mayor lámina total durante todo el ciclo vegetativo obtuvieron mayores alturas de planta, aunque entre ellos existen algunas diferencias por el momento de riego, por lo que se recomienda ser más eficientes en la aplicación de dicha lámina dando más importancia a la etapa de inicio de floración a estado lechoso-masoso del grano.

6. LITERATURA CITADA

Anaya S. J., G. Núñez H., R. Faz C., H. Medina, M. Ríos V. y J. Granados Niño. 2015. Respuesta en rendimientos y eficiencia del uso del agua en dos variedades de sorgo forrajero de verano. Memoria de la XXVII semana internacional de Agronomía FAZ-UJED pp. 335-341.

Agüero, S.N.; E. Ojeda F.; A. Giraldez; N. Galleguillo; G. Barbieri; E. Zeman; G. Tolosa; J.A. Villegas; M.C. Costa y G.O. Martín. 2010. Acumulación de grados-día entre siembra y cosecha y rendimiento granifero obtenido, en cereales invernales. Faz-Unt.

Arciniega V., Eliud. 2010. Unidades calor en el sistema agrícola en la comarca lagunera. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Coahuila.

Arias I. y G. López. 1979. Caracterización de los sistemas de producción de la zona de colinas de la región oriental de Guárico. Valle de la Pascua, Guárico. 56 pp.

Bisby, F.A., Coddington, J., Thorpe, J.P., Smartt, J., Hengeveld, R., Edwards, P.J. y Duffield, S.J. 1995. Characterization of Biodiversity. Ed.V.H. Heywood. Global Biodiversity Assessment. UNEP, Cambridge University Press, Cambridge.

Brady N.C. & Weil R. 1996. The nature and properties of soils.

Briones E., F. y A. Martínez G. 2002. Eficiencia de algunos diseños experimentales en la estimación de una superficie de respuesta. Agrociencia 36: 201-210.

Carrasco, N.; Zamora, M. y A. Melin. 2011. Manual de Sorgo. Ediciones INTA. ISBN 978-987-679-071-0.

Conagua. 2011. Estadísticas del agua en México. Edición 2011. Comisión Nacional del Agua. Semarnat, México, D.F.

Espinoza Arellano J. J., Salinas González H., Palomo Rodríguez M., Nuñez Hernández G., Figueroa Viramontes U., Cano Ríos P, Orona Castillo I. 2007. Situación y tendencias del mercado de algunos productos Agropecuarios y la investigación del INFAP en la comarca lagunera. Secretaria de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. Instituto forestal agrícola y pecuario. Centro de investigación regional norte centro, campo experimental de la laguna.

Fao. 2006. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.

García, E. 1970. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía de la UNAM. México, D. F.

Giorda L. M. y G. Cordes. 2009. Nutrición de bovinos.

González M., A. y B. A. Hernández L. 2000. Estimación de las necesidades hídricas del tomate. Terra 18: 45-50.

Hughes, H.D; M.E. Heath; D.S. Metcalfe. 1966. Forrajes. 8° Edición. CECSA, México. 758p

Inegi. 2013. Informe 2013 Actividades y Resultados. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México, D.F.

Lee C. 2011. Corn growth stages and growing degree days: a quick reference guide. University of Kentucky College of Agriculture.

Martín, J.H. 1975. Climate and Sorghum Year Book Climate and Man. Washington U.S.A.

Martínez Austria, P.F. y A. Aguilar Chávez. 2008. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México. Instituto mexicano de tecnología del agua. Jiutepec, México. 118 pp.

Martínez Austria, P.F. y C. Patiño Gómez. 2010. Atlas de vulnerabilidad hídrica en México ante el cambio climático. Instituto mexicano de tecnología del agua. Jiutepec, México. 161 pp.

Molden, D.; H. Murray Rust; R. Sakthivadivel and I. Makin. 2003. A water-productivity framework for understanding and action, Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement. Wallingford/Colombo, USA.

Moreno F., L. P. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Agronomía Colombiana 27(2): 179-191

Muñoz, J. M. 1960. Época Óptima de Corte de los Sorgos Forrajeros para Ensilaje. Agricultura Técnica en México S.A.G.

Pérez H. A.; A. R. Quero C.; J. A. S. Escalante E.; M. T. Rodríguez G.; S. Garduño Velázquez y L. Miranda J. 2018. Fenología, Biomasa y análisis de crecimiento de cultivares de sorgo forrajero en valles altos. *Agronomía costarricense*. 42(2): 107-117. ISSN: 0377-9424

Robles, S. R. 1974. Producción de Granos y Forrajes. Departamento de Agronomía del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey. Editorial Limusa. México. 203 pp.

Ruiz Vega, J. y J. C. Carrillo Rodríguez. 2005. Selección de cultivares forrajeros de sorgo (*Sorghum bicolor*) y mijo (*Pennisetum americanum*) por índices de eficiencia de producción y calidad. *Agronomía Mesoamericana* 16(2): 153-160.

Soberon, J., Llorente, J. y Benítez, H. 1996. An international view of national biological surveys. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 83:562-573.

Tapias Pantebre, J.C.; M. Salgot de Marcay y A. Casas Ponsati. 2001. Utilidad de la técnica TDR para la medida de la variación espacial y temporal de la humedad del suelo en campos de golf. *Edafología*, Vol. 8 (3). Barcelona.

Villalba V j. A, N. Arsola de la P. 2015. Modelos matemáticos y experimentales sobre el secado de biomasa ingeniería y Desarrollo. 33 (2). 301-330.

Villarreal, C.E. 1970. Observación de 22 sorgos forrajeros para ensilaje en la región norte de tamaulipas. *Agricultura técnica de México*. S.A.G. III. México.

World Resources Institute. 1994. A guide to the global environment. Oxford University Press, UK.