

UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

**DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO HIDRÍCO DEL
CULTIVO DE JOJOBA (*Simmondsia chinensis* [Link] C.K.
SCHNEIDER) MEDIANTE EL MONITOREO DE LA HUMEDAD EN
LA ZONA RADICULAR**

TESIS

ROSARIO ISABEL ESTRADA ZÁRATE

MAYO2015

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

UNIVERSIDAD DE SONORA

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

**DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO HIDRÍCO DEL
CULTIVO DE JOJOBA (*Simmondsia chinensis* [Link] C. K.
SCHNEIDER) MEDIANTE EL MONITOREO DE LA HUMEDAD
EN LA ZONA RADICULAR**

TESIS

ROSARIO ISABEL ESTRADA ZÁRATE

MAYO2015

DETERMINACIÓN DEL REQUERIMIENTO HIDRÍCO DEL CULTIVO DE
JOJOBA (*Simmondsia chinensis* [Link] Schneider) MEDIANTE EL MONITOREO DE
LA HUMEDAD EN LA ZONA RADICULAR

TESIS

Sometida a la consideración del

Departamento de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

Por

ROSARIO ISABEL ESTRADA ZARATE

Como requisito parcial para obtener

El título de Ingeniero Agrónomo

MAYO2015

Esta tesis fue realizada bajo la Dirección del Consejo Particular aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

INGENIERO AGRÓNOMO

CONSEJO PARTICULAR:

DIRECTOR:



DR. FIDENCIO CRUZ BAUTISTA

ASESOR:



DRA. ANA LAURA BAUTISTA OLIVAS

ASESOR:



M.C. RAMÓN DOLORES VALDEZ

ASESOR:



DR. DIEGO VALDEZ ZAMUDIO

AGRADECIMIENTOS

Le agradezco primeramente a Dios por haberme permitido concluir mi carrera de Ingeniero Agrónomo.

Al Departamento de Agricultura y Ganadería, de la Universidad de Sonora por permitirme realizar mis estudios.

Al **Dr. Fidencio Cruz Bautista** por aceptar dirigir mi trabajo de tesis y por toda la ayuda y apoyo que me ofreció muchas gracias.

Al **Dr. Diego Valdez Zamudio** por aceptar ser mi asesor de tesis, por apoyarme en todo momento, por sus conocimientos y por su amistad desinteresada que siempre me ofreció muchas gracias profesor por estar siempre conmigo.

A la **Dra. Ana Laura Bautista Olivas** por aceptar ser asesor del presente trabajo y por toda ayuda que me dio muchas gracias.

Al **MC. Ramón Dolores Valdez** por aceptar ser asesor del presente trabajo y la ayuda ofrecida.

A mis Amig@s **Renee Ramírez, Jessica Acosta, Ivonne Ramírez, Lilian Loya, Gilberto Ruiz, Gabriel Núñez y Norberto Valenzuela** que desde el inicio de mi carrera estuvieron conmigo gracias por su ayuda y gran amistad, y a cada uno de los que fueron ofreciéndome su amistad muchas gracias.

A cada una de las personas que forman parte del Departamento muchas gracias.

DEDICATORIA

A mis padres **Gladys Zarate Ochoa** y **Jesús Estrada Bernal** por haberme dado la vida. En especial a mis abuelos **Fernando Zarate Matuz** y **Lucrecia Ochoa Apodaca** que desde pequeña me dieron educación, motivo por lo que viviré eternamente agradecida ya que por ellos pude llegar hasta donde estoy, que mi Dios me los cuide y preste por muchos años más.

A mi tía **María de los Ángeles Zarate** por toda la ayuda y apoyo que me ha brindado hasta el día de hoy y por quererme como una hija gracias tía.

A mi Esposo **Jesús Romo Lozano** por su amor incondicional y por seguirme apoyando en el resto de mi carrera muchas gracias amor.

A mis Hijos **José Abraham e Isabella** que son mi principal motivación para salir adelante.

A mi Hermano **Miguel Eduardo Zarate** por apoyarme y estar conmigo cuando más lo he necesitado.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	<i>vii</i>
INTRODUCCION.	1
OBJETIVOS	2
LITERATURA REVISADA	3
La Jojoba como especie con potencial agroindustrial	3
Descripción biológica de la planta de jojoba	3
Taxonomía	4
Anatomía	5
Características agronómicas del cultivo de jojoba	7
Fecha de siembra	7
Etapas de crecimiento	7
Requerimiento hídrico del cultivo de jojoba.	8
Programación del riego.	9
Evapotranspiración del cultivo (ETc)	9
Monitoreo hídrico en el suelo	10
Métodos y equipos para determinar el contenido de agua del suelo	11
MATERIALES Y MÉTODOS	14
Instalación y calibración de sensores de Matriz Granular (SMG).	14
Determinación de las constantes de humedad del suelo.	14
Calibración de sensores de Matriz Granular.	15
Software CROPWAT 8.0	15
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
Instalación de los sensores de Matriz Granular.	17
Constantes de humedad del suelo.	17
Calibración.	18
Programación del riego en el cultivo de jojoba en base a tensiones de humedad en el suelo.	19
Cuantificación de la lámina de riego aplicada durante un ciclo.	20
Simulación con programa computacional CROPWAT 8.0.	22
Comparación y evaluación de las metodologías	24
CONCLUSIONES	26
RECOMENDACIONES	27
LITERATURA CITADA	28
APENDICE	30

CUADROS Y FIGURAS

		Pág.
Cuadro 1.	Clasificación textural y constantes de humedad del suelo de la parcela experimental de jojoba.	17
Cuadro 2.	Lecturas registradas con el sensor de Matriz Granular Watermark 200, cuando se alcanzan las constantes de humedad del suelo de la parcela experimental de jojoba.	18
Cuadro 3.	Lecturas registradas con el sensor de matriz granular Watermark 200 a 25 cm de profundidad de la zona radicular, horas de riego y lámina de agua aplicada en la jojoba.	21
Cuadro 4.	Simulación del requerimiento de agua para el cultivo de jojoba realizado con el CROPWAT 8.0.	23
Cuadro 5.	Programación del riego con el CROPWAT 8.0 para la jojoba.	24
Figura 1.	Fotografías de jojoba (<i>Simmondsia chinensis</i>).	4
Figura 2.	Flores masculinas (izquierda) y flores femeninas con fruto en desarrollo	6
Figura 3.	Semillas de jojoba en el fruto (izquierda) y libre de las cápsulas	7
Figura 4.	Diagrama con curvas características del contenido de humedad para suelos arenosos, arcillosos y francos. Tomada del manual de Ingeniería Nacional(EU)-21 0VI	11
Figura 5.	Sensor Matriz Granular Watermark 200.	12
Figura 6.	Instalación de sensores de Matriz Granular Watermark 200 en la zona radicular de una planta de jojoba.	17
Figura 7.	Contenido de humedad y potencial matricial del suelo en la zona radicular de una planta de jojoba.	18
Figura 8.	Contenido de humedad y potencial matricial del suelo en la zona radicular de una planta de jojoba.	20

RESUMEN

Este documento resume las directrices para la determinación del requerimiento hídrico y la programación óptima del riego para la Jojoba (*Simmondsia chinensis*) en suelos franco arenosos utilizando sensores de medición de la humedad del suelo. Si bien ya existen antecedentes de trabajos realizados para cultivar la especie, aún se tienen deficiencias en el conocimiento de los requerimientos de agua durante su desarrollo fenológico y productivo. En este contexto los sensores de humedad del suelo han demostrado potencial para el monitoreo de la humedad del suelo, y para el respaldo de una estrategia para el manejo del riego: “¿Cuándo regar?” y “¿Cuánta agua aplicar?”.

Por otro lado el cambio climático es un hecho científicamente comprobado. La necesidad de reemplazar los cultivos tradicionales por especies que sean capaces de producir, y a la vez, asegurar rentabilidad bajo condiciones de desertificación, es imperante. Las zonas áridas y semiáridas se caracterizan por presentar un alto contenido de sales en el suelo y agua de riego. La jojoba requiere menos agua para producir comercialmente que otros cultivos tradicionales de estas zonas.

Dada la alta tolerancia a déficit hídrico que presenta la jojoba, pudiendo soportar varios años sin ser regada y volviendo a brotar si le es restablecido el riego, es una especie que se adapta muy bien a zonas afectas a sequías. La jojoba se caracteriza por producir una semilla con alto contenido de una cera líquida muy demandada por la industria cosmética, y con posibilidades de utilizarse en la industria de lubricantes.

Los resultados obtenidos en este documento muestran que la jojoba requiere anualmente cerca de 900 milímetros de agua para crecer de manera óptima. Considerando que la finalidad en este caso es cultivar la especie, por lo cual es necesario brindarle las condiciones para lograr su máxima productividad.

INTRODUCCION

Entre los ecosistemas de Sonora se encuentran las especies vegetales que además de producir alimentos y derivados medicinales para los habitantes humanos, son fuentes de forraje para especies animales domesticadas y de vida silvestre. También son fuente de productos y subproductos agrícolas.

En la actualidad, la búsqueda de especies vegetales con potenciales para otorgar algún tipo de servicio o materia prima de interés para la humanidad continua vigente. Entre las especies de la flora sonorense con potencial económico, destaca la jojoba (*Simmondsia chinensis*), especie que ha sido utilizada desde tiempos ancestrales con fines medicinales, mientras que el aceite se utilizaba para condimentar las comidas y como tónico para el cabello. Algunos autores reportan que la semilla de jojoba contiene una cera líquida que promete ser una opción para cubrir las demandas de la industria de los cosméticos. El producto de esta especie vegetal ha sido ya probado y ha demostrado ser una planta con alto potencial agronómico ya que, además de ser una fuente adecuada de materias primas para la industria, también puede proveer forraje tanto para animales domesticados como silvestres.

De acuerdo a lo anterior, es evidente que la jojoba puede convertirse en una nueva opción para los agricultores de la región dado que, al ser una especie nativa del desierto Sonorense, no necesita adaptarse a las condiciones ambientales existentes y solo bastaría con acondicionarla a su manejo agronómico.

Si bien ya existen antecedentes de trabajos realizados para cultivar la especie, aún se tienen deficiencias en el conocimiento de los requerimientos de agua durante su desarrollo fenológico y productivo. Por lo que el propósito de este trabajo es determinar el requerimiento hídrico del cultivo de jojoba mediante el monitoreo de la dinámica de la humedad en la zona radicular de las plantas.

OBJETIVOS

Objetivo General

Determinar el requerimiento hídrico en una plantación de Jojoba (*Simmondsia chinensis*) mediante el monitoreo del contenido humedad del suelo.

Objetivos Específicos

- a) Instalar y calibrar un set de sensores de Matriz Granular para monitorear el contenido de humedad del suelo en el área en estudio.
- b) Determinar los umbrales del contenido de humedad del suelo en tres estratos en la zona radicular de la Jojoba con los sensores de Matriz Granular.
- c) Programar el riego en el cultivo de jojoba en base a tensiones de humedad en el suelo.
- d) Cuantificar la lámina de riego aplicada durante el ciclo 2013.

LITERATURA REVISADA

La Jojoba como especie con potencial agroindustrial

Los autores Green *et al.*, (1936), Mirov (1950 y 1952) y Daugherty *et al.*, (1953) Citado por Alcaraz *et al.*, (2011) describen a la planta de jojoba como fuente potencial de una industria de cera líquida, reportando sus características, medioambientales y condiciones para su domesticación. A la vez que plantean algunos problemas como la selección genética y los posibles problemas agrícolas.

Green y Foster (1933) en Alcaraz *et al.*, (2011) mencionan que reportan que la semilla de jojoba contiene una cera líquida cuyas propiedades son similares a las del aceite del esperma de la ballena. A partir de este descubrimiento se empezaron a patentar métodos para su utilización en productos como aceites lubricantes sulfurados (Flaxman, 1940), productos de penicilina (Hinds, 1949), procesos de refinación, hidrogenación y purificación de grasas, ácidos grasos y cera (Tausky, 1946).

Alcaraz *et al.*, (2011) señala que Thomson (1978) describe que la estructura química del aceite de la jojoba revela que no es una grasa sino una cera líquida. Las grasas de semillas de otras plantas son triglicéridos, es decir una molécula de glicerol esterificado con tres moléculas de ácidos grasos. En cambio las ceras como la de la jojoba y el aceite de esperma de la ballena, son ceras esterificadas formadas por una molécula de una cadena larga de alcohol esterificado con una molécula de una cadena larga de ácidos grasos. Por esta característica la cera de jojoba es única entre los vegetales.

Descripción biológica de la planta de Jojoba

La Jojoba es una especie vegetal originaria del desierto de Sonora en México., que ha sido introducida en los cinco continentes. Se desarrolla en climas desérticos caracterizados por una gran amplitud térmica. Reconocida por su uso medicinal e

industrial, también es utilizada como alimento humano y como forraje.

La jojoba crece preferentemente en condiciones áridas, con veranos secos y calurosos e inviernos con moderadas heladas. Puede encontrarse desde el nivel del mar hasta los 1.450 m de altitud, donde la temperatura oscile de 10 a 35 °C y la precipitación entre 150 y 550 mm, considerándose óptimo entre 300 y 450 mm, siendo una especie que no tolera altas precipitaciones. Prefiere los suelos de textura arenosa y franca arenosa, pero soporta bien los francos, siempre que sean profundos y bien drenados. Su óptimo crecimiento es en suelos neutros, (pH 6 a 7) pero puede vivir sin problemas en pH entre 5 y 8, con hasta 25% de pendiente y ligeramente pedregosos, tolerando altos niveles de salinidad.

El fruto corresponde a una cápsula dehiscente de características muy variables al igual que sus semillas, las cuales son de color café oscuro. El contenido de aceite de sus semillas corresponde a la fuente de su potencial energético, el cual varía entre 43.8 y 60% y está compuesto por diversos ácidos grasos (Palmítico, esteárico, oleico, gadoleico, erúcico y tetracosenoico).



Figura 1. Fotografías de jojoba (*Simmondsia chinensis*).

Taxonomía

En Alcaraz *et al.*, (2011) se reporta que Van Thieghem (1897) propuso la creación de una familia de plantas denominada Simmondsiaceae cuyo único género era *Simmondsia*, en donde se categorizó a la Jojoba. Posteriormente fue asignada dentro de la familia de las Buxaceae (Thomson, 1978). En la década de los años ochenta se realizaron estudios serotaxonomícos comparando a la jojoba con sueros de plantas de las familias Celastraceae, Chenopodiaceae, Garryaceae, Euphorbiaceae, Hamamelidaceae, Buxaceae

y Simaroubaceae, con lo que concluyó que la Jojoba debería estar en una familia independiente de todas las comparadas, manteniendo la idea propuesta por Van Tieghem. La familia Simmondsiaceae no está reconocida por todos los taxónomos tradicionales, pues algunos la consideran todavía dentro de la familia de las Buxaceae. Aunque en el año 2003 fue aceptada por el sistema de clasificación APG (Angiosperm Phylogeny Group).

Anatomía

Thompson (1978) en Alcaraz *et al.*, (2011) menciona que describe a la jojoba como un arbusto con una altura de 1 a 3.5m, rígido, frondoso, con ramas verdes amarillentas, pubescentes y ramificadas de dos en dos. El arbusto presenta diferentes alturas y formas; pueden ser bajos y postrados, altos y densos, en forma semicircular o en forma de árbol alto, ramas cerca del suelo, ya sea con varios tallos u ocasionalmente un tronco único. Son plantas longevas y por esta razón algunas veces las han clasificado como árboles. Su madera es dura y de color que va de amarillo pálido a amarillo limón, pesada, de textura fina, de grano cerrado, sin sabor ni olor y cuando está en contacto con el suelo no resiste a la pudrición.

Las hojas son de ovaladas a oblongo elípticas con una anchura de 1 a 2 cm y de longitud de 2 a 5 cm., de ápice agudo a obtuso, de color verde opaco, coriáceas y pubescentes. Las hojas perduran a lo largo de dos o tres estaciones dependiendo de la humedad y las condiciones de siembra. Las hojas viejas son notoriamente más grandes que las nuevas, indicando que hay crecimiento continuo durante la segunda estación. El color verde suave o el gris del primer año se torna a verde - amarillento en el segundo año. Con la edad, las hojas frecuentemente se tiñen de color café rojizo alrededor de los márgenes, las hojas viejas, pierden la mayoría de su pubescencia y se revisten con una protección cerosa. Las hojas varían en cada planta en tamaño, forma, color, grosor y densidad pubescente. La epidermis de las hojas está cubierta por vellosidades con numerosos estomas en ambos lados, el mesófilo está cubierto completamente con células en empalizada, con abundantes cristales de oxalato de calcio en la periferia de la hoja.

En algunas localidades se han observado raíces de 2.5 a 10 m de largo. También presentan pequeñas raíces laterales con vellosidades, comúnmente las plantas adultas no presentan rizomas superficiales o sub-superficiales. Es importante puntualizar que la primera respuesta a la germinación de la semilla es la penetración profunda al inicio del desarrollo del tallo a unos 40 a 50 cm, dependiendo de las condiciones del suelo y las reservas de la semilla.

Las flores de la jojoba nacen en las axilas de las hojas o en las bifurcaciones de las ramas; normalmente de las yemas opuestas, florece solo una en cada época de floración y la otra entra en dormancia (Gentry, 1958) citado por Alcaraz *et al.*, (2011).

La jojoba es una planta dióica, las flores masculinas y femeninas se encuentran en plantas diferentes. En ocasiones puede presentar flores hermafroditas pero su ovario no llega a desarrollarse, y en casos muy especiales pueden encontrar plantas monóicas. Las flores masculinas son sésiles o con pedúnculo muy corto, mayores de 4mm de largo, generalmente con 5 sépalos y de 8 a 16 estambres. Cada estambre está formado por un pequeño filamento una antera larga y erecta; en la antesis los filamentos se alargan hasta 2mm sacando las anteras arriba de los filamentos y las brácteas, pudiendo realizarse la polinización por viento. Las flores femeninas son pequeñas e inconspicuas, de color pálido, sin pétalos e inodoras, con 4 a 6 sépalos coalescentes en la base, formando un receptáculo de 1.5 a 3mm de profundidad, lanceoladas; los sépalos miden de 8 a 10 mm de longitud en la antesis y hasta 15 mm en la fructificación (Figura 2) (Gail, 1964) citado por Alcaraz *et al.*, (2011).



Figura2. Flores masculinas (izquierda) y flores femeninas con fruto en desarrollo

Las semillas salen de cápsulas por dehiscencia loculicida, es decir, desaparecen los lóculos o cavidades de la cápsula de la dehiscencia; la capsula mide de 15 a 20 mm de largo. Las semillas miden entre 13 y 17 mm de largo y tiene una testa o envoltura coriácea de color café oscuro, endospermo muy pequeño o ausente y cotiledones densos y carnosos como lo muestra la figura 3 (Schmid, 1978) citado por Alcaraz *et al.*, (2011).

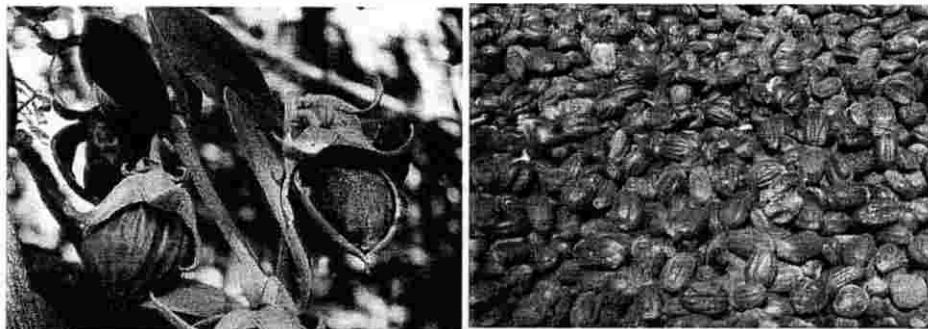


Figura3. Semillas de jojoba en el fruto (izquierda) y libres de las cápsulas.

Características agronómicas del cultivo de jojoba

Fecha de siembra. La época de siembra cobra gran importancia., esto se debe principalmente a la poca tolerancia de las plántulas a las temperaturas extremas. En el hemisferio Norte se recomienda realizar la siembra de marzo a mayo. En siembras más tempranas, las plántulas pueden verse afectadas por las heladas y aumentan los riesgos de pudrición de semillas y secado de plántulas. Por otro lado las siembras tardías pueden propiciar que las plantas se vean afectadas por las heladas del invierno siguiente.

Etapas de crecimiento. La plántula de jojoba en condiciones óptimas de campo, emerge a los 30 días pero puede demorar hasta 60 días o más. Durante este lapso de tiempo la raíz puede alcanzar hasta 40 cm de profundidad, dependiendo de la temperatura, humedad y textura del suelo. En los primeros cuatro meses de crecimiento las plantas presentan únicamente el tallo principal. A los siete meses muestran ramificaciones y es en esta edad cuando en algunas plantas se puede determinar el sexo, en especial las masculinas (Ortubia, 1977 y SARH, 1981) citado por Ayerza (1984).

El crecimiento de las plantas se efectúa durante todo el año, con una máxima actividad en enero y en febrero y una mínima durante noviembre y diciembre. Las ramas crecen en promedio de 30 cm al año. El crecimiento de los brotes laterales y terminales va acompañada con la formación de botones florales, estos últimos aparentemente durante todo el año permanecen en latencia, antes de abrir.

La sequía parece ser uno de los principales obstáculos para el desarrollo de los brotes y semillas. En sequías muy severas la planta puede desprender sus hojas para desecharlas y las flores son susceptibles de quemarse en tales condiciones (Clavijero, 1789).

Las flores femeninas carecen de nectarios y no tiene glándulas odoríferas y no ha llegado a observar que sean visitadas por insectos, (Gail, 1964), por lo que la polinización casi siempre ocurre por el viento.

Requerimiento hídrico del cultivo de jojoba. El requerimiento hídrico de los cultivos se define como el inverso a la evapotranspiración de cultivo. Es decir la cantidad de agua que debe suministrarse a la planta para compensar las pérdidas provocadas por la evapotranspiración, con el fin de lograr un adecuado crecimiento y desarrollo (Allen et al., 1998). Dicho de otra manera, es el agua requerida para compensar la cantidad de la misma que se pierde por evapotranspiración. En términos numéricos es equivalente a la evapotranspiración del cultivo (ETc).

La cantidad optima de agua requerida por el cultivo de jojoba, para obtener una buena producción, así como la secuencia de riego, sé está investigando, puesto que se desconocen las cantidades optimas de agua aplicables (Ortiz y Muñoz 1979).

Algunos autores señalan que de acuerdo a las condiciones climáticas donde se desarrolla la jojoba, se estiman requerimiento de agua entre 45 a 60 cm. Ortiz y Muñoz (1979) reportan que en estudios pre-eliminarios sobre jojoba cultivada bajo riego se observó que en suelos de textura migajón-arenoso hay mayor desarrollo de las plantas con una lámina aplicada de 25 cm, en el primer riego y 10 cm, para cada uno de los 3 riegos restantes.

Canales (1981) también señalan que en un cultivo de jojoba bajo riego, en Sonora, se llevó a cabo un trazo de riegos estimándose que cada aplicación de riego es de 10 a 15 cm de lámina. Con un intervalo de riego de 2 meses cada uno, resultando un tirante anual de 60 a 90 cm. Palz y Kaell (1974) y Parra (1980) indican que los sistemas de irrigación que se pueden utilizar dentro de los establecimientos de las plantaciones de jojoba, son básicamente tres, el riego por gravedad, riego por goteo y riego por aspersión, donde, cada uno tiene sus ventajas y sus desventajas.

Programación del riego

La programación del riego es simplemente la aplicación de agua a los cultivos en el momento “adecuado” y en la cantidad “adecuada”. Con el fin de establecer una buena programación del riego, varios factores se deben tomar en cuenta, tales como la capacidad de evapotranspiración de la planta, las características del suelo y la distribución de las raíces.

En la programación del riego se puede utilizar diversos métodos como la determinación de la humedad del suelo, mediciones del estado energético del agua en el suelo, estimaciones de la demanda atmosférica y determinaciones del potencial hídrico de las plantas o temperatura del dosel por medio de termometría infrarroja (Buchner *et al.*, 1994 y Giuliani *et al.*, 2001).

Entre los métodos más usados para la programación de riego (por goteo o por aspersión) están (1) las necesidades hídricas del cultivo teniendo en cuenta la etapa de crecimiento de la planta y (2) la medición del contenido de agua del suelo.

Evapotranspiración del Cultivo (ETc). Para determinar los requerimientos hídricos de los cultivos se puede utilizar el programa CROPWAT de la FAO. Este programa estima los requerimientos hídricos de los cultivo vía evapotranspiración potencial, en conjunto con ciertas características del cultivo y del suelo (FAO, 2010a).

La FAO define la evapotranspiración potencial o de referencia (ET_o) como la suma de las pérdidas de agua por transpiración de la planta con aquellas producidas por la evaporación del suelo de una superficie cultivada.

Para la simulación del requerimiento hídrico de los cultivos con el programa CROPWAT, es necesario conocer datos de la ubicación geográfica y la altura del lugar donde se establecen los cultivos. Con estos datos el programa ayuda a ajustar parámetros referentes al valor medio local de la presión atmosférica local y a la radiación extraterrestre (Allen *et al.*, 1998).

También requiere los valores de temperatura máxima y mínima promedio mensual en grados centígrados (°C); humedad relativa promedio mensual expresada como porcentaje(%); velocidad promedio mensual del viento ($m s^{-1}$) y radiación solar

Monitoreo hídrico en el suelo. Otro método que se usa comúnmente para determinar “cuándo” regar es el monitoreo de la disminución de agua en el suelo. Cuando una planta crece, utiliza el agua del suelo alrededor de su zona de raíces. A medida que las plantas utilizan el agua, la humedad en el suelo baja hasta un nivel en el cual se requiere aplicar un riego o el cultivo comienza a estresarse por falta de agua.

Cuando el perfil del suelo está lleno de agua, alcanza lo que se llama capacidad de campo (CC). Entonces se dice que el perfil está al 100% de su contenido de humedad disponible o a aproximadamente 0.1 bar de tensión. La tensión es una medida que determina la fuerza con la que las partículas del suelo retienen a las moléculas de agua: a mayor retención de humedad, más alta es la tensión. En el punto de capacidad de campo, cuando existe una tensión de solo 0.1 bar, el agua no está retenida fuertemente por las partículas del suelo y es fácil para las plantas extraer el agua. A medida que las plantas agotan el agua, la tensión en el suelo aumenta.

Las plantas utilizan el agua del suelo hasta que el nivel de humedad alcanza el punto de marchitamiento permanente (PMP). Una vez que el suelo se seca hasta llegar al PMP,

las plantas ya no pueden seguir extrayendo agua del suelo y mueren de sed. Pues el agua está retenida tan fuertemente por las partículas del suelo que las raíces de la planta no pueden extraerla.

Dependiendo del tipo de planta y del tipo de suelo, el PMP ocurre a diferentes niveles de humedad. En la mayoría de los cultivos agronómicos, el PMP se presenta cuando la tensión en el suelo es de 15 bares. Esto significa que el suelo está reteniendo el agua en sus poros y que las plantas deben crear una fuerza de succión mayor a 15 bares de tensión. Por lo tanto el agua disponible para la planta (ADP) es la diferencia en contenido de humedad entre la capacidad de campo y el punto de marchitamiento permanente. La figura 4 muestra tres curvas típicas del contenido de humedad para suelos arenosos, arcillosos y francos.

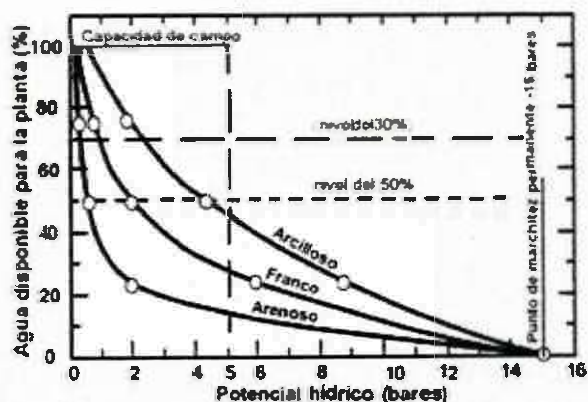


Figura 4. Diagrama con curvas características del contenido de humedad para suelos arenosos, arcillosos y francos. Tomada del manual de Ingeniería Nacional (EU)-210VI.

Métodos y equipos para determinar el contenido de agua del suelo. Como se señaló en los párrafos anteriores, a medida que el suelo se seca las partículas del suelo retienen el agua con mayor fuerza. Uno de los métodos que ha sido utilizado por muchos años para determinar el contenido de humedad en el suelo es la medición de la resistencia eléctrica.

Algunos dispositivos como los bloques de yeso y los sensores Watermark® utilizan la resistencia eléctrica para medir la humedad del suelo. El principio físico de estos dispositivos es que el contenido de humedad se puede determinar por la resistencia al

paso de corriente eléctrica entre dos electrodos en contacto con el suelo. Entre más agua tenga el suelo, más baja es la resistencia.

Los tensiómetros miden la intensidad de la fuerza con la que el suelo retiene el agua. La mayoría de los tensiómetros tienen una punta de cerámica o porosa conectada a una columna de agua. Los tensiómetros se instalan a la profundidad deseada y a medida que el suelo se seca, comienza a jalar agua de la columna de agua a través del bulbo de cerámica, provocando succión en la columna de agua. Esta fuerza se mide entonces con un indicador de succión.

Algunos modelos más nuevos han reemplazado el indicador de succión con un sensor electrónico como los sensores Watermark®, conocidos como Sensor de Matriz Granular (SMG). Este sensor consiste de un par de electrodos de alta resistencia a la corrosión que se encajan dentro de una matriz granular. Una corriente se aplica al sensor Watermark para obtener un valor de la resistencia. El medidor digital Watermark o Monitor correlaciona la resistencia a centibares (Cb) o kilopascales (kPa) de tensión de agua del suelo. El sensor Watermark está diseñado para quedar instalado de manera permanente, colocado en el suelo para "leer" tantas veces como sea necesario con el medidor digital Watermark.

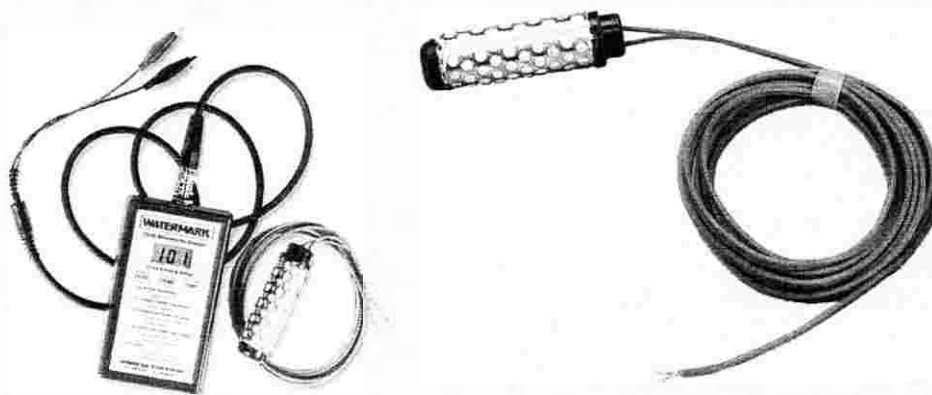


Figura 5. Sensor matriz granular Watermark 200.

Características del Sensor matriz granular Watermark®

- 0-200 Rango de Centibares
- Caja de acero inoxidable
- Estado completamente sólido
- No se disuelven en el suelo
- No es afectado por temperaturas bajo cero
- Compensación interna para niveles de salinidad que se encuentran comúnmente
- Barato
- Fácil de usar
- Sin mantenimiento

Estos SMG han sido exitosamente utilizados para controlar el contenido volumétrico de agua y orientar la programación del riego. Sin embargo se requiere una correcta interpretación de las lecturas de humedad del suelo para garantizar el manejo adecuado del riego y evitar riegos excesivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el año 2013 en la parcela experimental de jojoba establecida en el área de experimentación agrícola del Departamento de Agricultura y Ganadería de la Universidad de Sonora, en Hermosillo Sonora. Esta área se caracteriza por presentar un relieve plano con pendientes que varían de 0.3 a 1%. Constituida por material de aluvión donde el suelo presenta un espesor medio y drenaje superficial moderado (Gámez, 1979). La parcela cuenta con sistema de riego por goteo, sin embargo al desconocer el uso consuntivo o demanda hídrica del cultivo, se decidió instalar Sensores de Matriz Granular Watermark 200 (Irrrometer Company, Riverside, CA) para medir la humedad del suelo, en la zona radicular de las plantas.

Instalación y calibración de sensores de Matriz Granular

Se instalaron tres sensores Watermark 200 en el sistema radicular de plantas seleccionadas para medir la humedad del suelo. El primer Watermark se instaló a 35 cm de profundidad, el segundo a 25 cm y el tercero a 15 cm. El primer Watermark se ubicó a 10 cm de separación del tallo de la planta y a 10 cm de separación del gotero. El segundo y tercer sensor se colocaron a 5 y 10 cm de separación con respecto al primero. Esto con la finalidad de obtener mediciones representativas del contenido de humedad del suelo en la zona radicular de la planta de jojoba.

Determinación de las constantes de humedad del suelo.

Se determinaron las constantes de humedad del suelo, capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) con el método de la Olla y Membrana de presión (Método estándar). Para lo cual se obtuvieron muestras de suelo del sitio de monitoreo a las profundidades de 15, 25 y de 35cm. A esas mismas profundidades se determinó la densidad aparente del suelo mediante el método del cilindro, usando cilindros de

aluminio de 5 cm de diámetro por 5 cm altura.

Calibración de sensores de Matriz Granular (SMG)

Para el esquema de calibración del Sensor de Matriz Granular (SMG) Watermark 200, se aplicó un riego de 12 horas, con dos goteros de 4 litros por hora (LPH) con lo cual se alcanzó a humedecer el suelo hasta llevarlo a capacidad de campo, en un perfil de 0 a 40 cm. Después de este riego se inició el registro de lectura de los SMG Watermark 200 con el lector portátil Watermark Soil Moisture Meter (modelo 30 KTCD-NL) a intervalos de 24 horas. De manera paralela se obtuvieron muestras de suelo, de dos sitios de monitoreo, a las profundidades de 0-15, 15-25 y de 25- 35 cm. A cada una de estas muestras se les determinó el contenido de humedad por gravimetría, mediante el secado de las muestras en horno de convección a 105 °C por 24 hr (método estándar).

Se realizó una comparación cuantitativa por correlación entre las lecturas (Centibares) obtenidas con el Watermark 200 y los valores de contenido de humedad por gravimetría (θ_{vol}), para evaluar el desempeño del SMG Watermark 200 y generar su ecuación de predicción.

Software CROPWAT 8.0

El programa computacional CROPWAT 8.0 se utilizó como otra opción para simular el requerimiento hídrico de la joba. Se introdujo información en las plantillas del software en sus apartados de Clima, Precipitación, Cultivo y Suelo.

Los datos de entrada para el apartado Clima fueron nombre de la estación, ubicación geográfica y la altura del lugar; datos promedio mensuales de temperatura máxima y mínima, humedad relativa, velocidad viento e insolación. Para el caso del apartado Precipitación se alimentó con datos promedios mensuales de la precipitación registrada. La información climática y de precipitación se tomó del sitio web: www.agroson.org.mx. (*Estación Hermosillo, año 2013*).

También se introdujeron en el apartado Cultivo fueron la fecha de siembra, la duración de las etapas de crecimiento, el coeficiente de cultivo (K_c), el factor de respuesta de la productividad, la profundidad radicular, la altura máxima del cultivo y la fracción de agotamiento hídrico. Esta información se obtuvo de bibliografía consultada.

Respecto a las características del suelo como textura, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, tasa de infiltración y profundidad radicular, esta se alimentaron en el apartado Suelo, con los valores determinados en campo y en los laboratorios de suelos y de riego del Departamento de Agricultura y Ganadería.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Instalación de los sensores de Matriz Granular

La instalación de los tres sensores SMG Watermark 200 en el sistema radicular de plantas para medir la humedad del suelo quedó como se muestra en la figura 6. La lectura del contenido de humedad del suelo se obtuvo con el lector portátil Watermark Soil Moisture Meter.

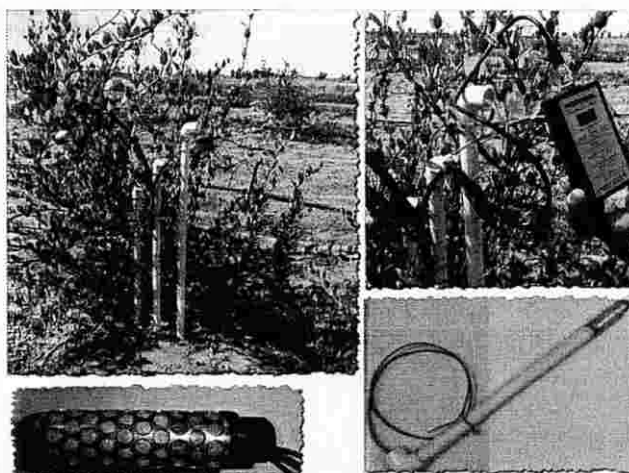


Figura 6. Instalación de sensores de matriz granular Watermark 200 en la zona radicular de una planta de jojoba.

Constantes de humedad del suelo

La clasificación textural, densidad aparente y valores de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP) de las muestras de suelos del área de estudio se muestran en Cuadro 1.

Cuadro 1. Clasificación textural y constantes de humedad del suelo de la parcela experimental de Jojoba.

Prof (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Densidad Aparente (gr / cm ³)	Capacidad de Campo (θ vol%)	Punto de Marchitez Permanente (θ vol%)
30	52.62	36	11.38	Franco-Arenoso	1.37	25.12	11.49

Calibración

En la figura 11 se presentan los valores de contenido de humedad del suelo, en términos volumétricos y Potencial Matricial del Suelo que registraron los SMG Watermark 200. La relación entre estas dos variables es de tipo exponencial con un coeficiente de determinación r^2 de 0.9466. Esta alta Correlación entre el contenido de humedad (θ vol) y el Potencial Matricial del Suelo (Ψ_m), permitió verificar la fiabilidad del SMG Watermark 200 para su uso en el monitoreo de la variación del contenido de agua en el suelo.

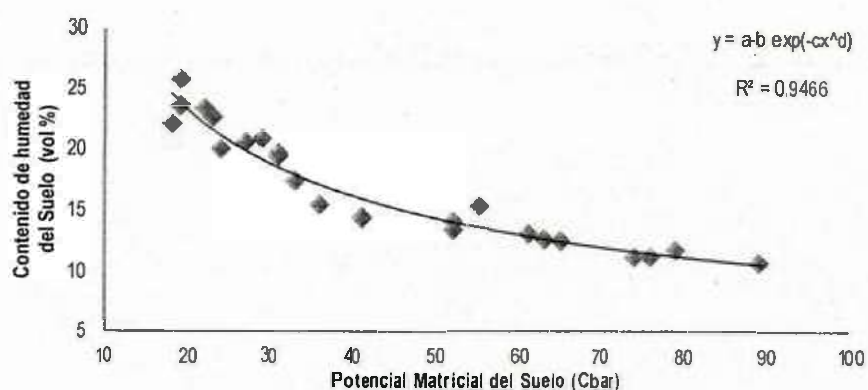


Figura 7. Contenido de humedad y potencial matricial del suelo en la zona radicular de una planta de jojoba.

La información anterior permitió determinar con exactitud los valores que deben registrar los SMG Watermark 200, en Centibares (Cb), para cuando se alcanzan las constantes de humedad del suelo de la parcela experimental de jojoba. Es decir, cuando el suelo está a capacidad de campo (CC) y al punto de marchitez permanente (PMP), como se observa en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Lecturas registradas con el sensor de matriz granular Watermark 200, cuando se alcanzan las constantes de humedad del suelo de la parcela experimental de jojoba.

Lecturas (Cb)	Contenido de humedad del Suelo (θ vol%)	Constantes de Humedad
10	25.12	CC
60	12.82	Abat. Humed. Permisible (75%)
80	11.49	PMP

Los valores encontrados de Ψ_m en Cb, para las constantes de humedad de este suelo, están acordes con los valores que recomiendan autores como Shock *et al.*, (2005) para el status hídrico de los suelos de textura media.

Es decir, cuando un SMG instalado en un suelo indica una lectura > 80 Cb, el suelo seco; de 20–60 Cb, es la tensión matricial del suelo (TMS) típica antes de regar; de 10–20 Cb, indica que el suelo está cerca de su capacidad máxima de retención de humedad y una lectura de 0–10 Cb indica que el suelo está saturado.

Programación del riego en el cultivo de jojoba en base a tensiones de humedad en el suelo

La programación del riego consistió en iniciar el riego cuando el SMG instalado en un suelo a 25 cm de profundidad indicaba una lectura ≈ 60 Cb. El riego se suspendía hasta que se alcanzaba la Capacidad de campo (CC), es decir cuando el SGM indicaba una lectura de ≈ 10 Cb., lo que indicaba que el suelo alcanzaba su capacidad máxima de retención de humedad.

Con la información registrada se generó un gráfico de seguimiento de la humedad del suelo, como se aprecia en la figura 8. Donde se observa claramente el límite superior de almacenamiento de agua en el suelo (CC), el inferior donde no se debe llegar (PMP) y el valor límite inferior de humedad o umbral de riego (AP).

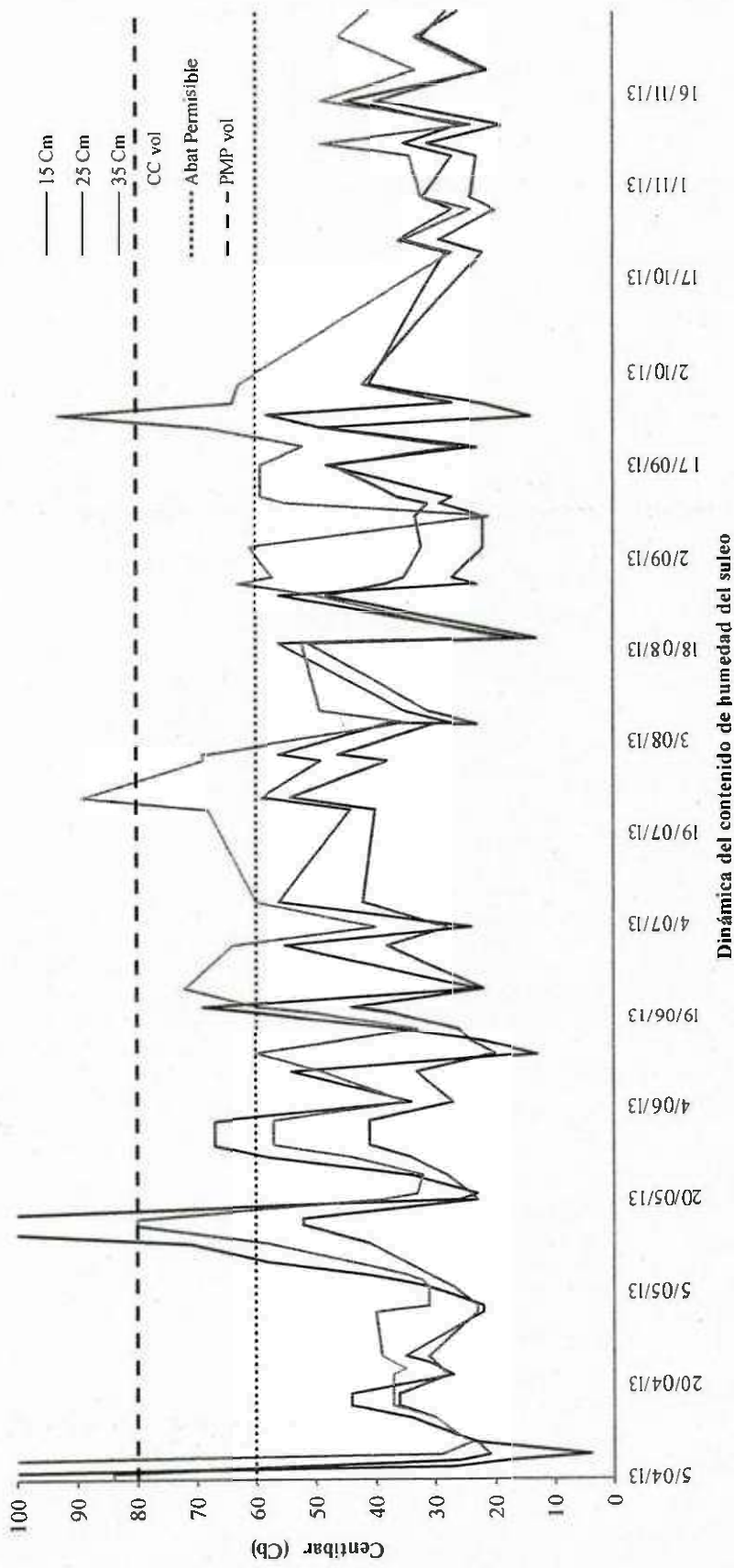


Figura 8. Contenido de humedad y potencial matricial del suelo en la zona radicular de una planta de jojoba.

Cuantificación de la lámina de riego aplicada durante un ciclo

El periodo de seguimiento de los riegos se inició el 6 de abril y finalizó el 29 de noviembre de 2013. El sistema de riego por goteo se constituyó con dos goteros de 4 litros por hora (LPH) por planta. Con el gasto aplicado por los goteros durante un riego de 6 horas se alcanzaba a humedecer el suelo hasta llevarlo a capacidad de campo, en un perfil de 0 a 40 cm.

En el cuadro 3 se presentan las lecturas del contenido de humedad de suelo durante el periodo de seguimiento con el sensor SMG instalado en la zona radicular de la Jojoba. También se muestran las láminas de agua aplicada mediante riego y el aporte por los eventos de lluvia.

Cuadro 3. Lecturas registradas con el sensor de matriz granular Watermark 200 a 25 cm de profundidad de la zona radicular, horas de riego y lámina de agua aplicada en la jojoba.

Fecha	Tensión (Cb)	Horas de Riego (h)	Lamina de riego(mm)
05/04/2013	84		0.0
06/04/2013	84	6	36.2
07/04/2013	54	6	36.2
08/04/2013	26		0.0
09/04/2013	21	5	15.1
11/04/2013	23		0.0
12/04/2013	26		0.0
15/04/2013	30		0.0
17/04/2013	36		0.0
19/04/2013	36	6	36.2
22/04/2013	28		0.0
23/04/2013	29		0.0
24/04/2013	30		0.0
25/04/2013	31		0.0
02/05/2013	23		0.0
03/05/2013	23		0.0
06/05/2013	27		0.0
07/05/2013	29		0.0
08/05/2013	31		0.0
10/05/2013	35		0.0
13/05/2013	41		0.0
16/05/2013	52		0.0
17/05/2013	52	7	42.2
20/05/2013	23		0.0
21/05/2013	24		0.0
24/05/2013	28		0.0
27/05/2013	34		0.0
29/05/2013	41		0.0
01/06/2013	41	3	18.1

02/06/2013	41	3	18.1
05/06/2013	27		0.0
10/06/2013	33	6	36.2
13/06/2013	20	5	30.1
15/06/2013	24		0.0
17/06/2013	26		0.0
20/06/2013	37		0.0
21/06/2013	44	6	36.2
24/06/2013	22		0.0
01/07/2013	38	6	36.2
04/07/2013	28		0.0
08/07/2013	42	6	36.2
23/07/2013	40		0.0
25/07/2013	54	6	36.2
31/07/2013	38		0.0
01/08/2013	46	6	36.2
06/08/2013	30		42.2
19/08/2013	51	6	36.2
20/08/2013	13		0.0
27/08/2013	48	6	36.2
29/08/2013	38		0.0
30/08/2013	35	6	36.2
04/09/2013	32		0.0
09/09/2013	33		0.0
11/09/2013	31		0.0
12/09/2013	36	6	42.2
17/09/2013	47	6	42.2
20/09/2013	26		0.0
23/09/2013	49	6	42.2
25/09/2013	58		0.0
27/09/2013	27		0.0
30/09/2013	42		0.0
06/08/2013	23		0.0
08/08/2013	31	6	42.2
21/10/2013	22		0.0
23/10/2013	29	6	42.2
28/10/2013	20		0.0
30/10/2013	24	6	42.2
06/11/2013	23		0.0
08/11/2013	31		0.0
11/11/2013	19		0.0
15/11/2013	40	6	42.2
20/11/2013	22		0.0
25/11/2013	33	6	42.2
29/11/2013	26		0.0

Lamina total aplicada	937.2
Lluvia	221.4
Lámina total recibida	1158.6

Simulación con programa computacional CROPWAT 8.0

La estimación del requerimiento hídrico de la jojoba realizado con el CROPWAT 8.0 para las condiciones climáticas del área en donde se estableció la parcela experimental, durante el periodo de seguimiento se muestran en los cuadros 4 y 5.

Cuadro 4. Simulación del requerimiento de agua para el cultivo de jojoba realizado con el CROPWAT 8.0.

Mes	ETc (mm/día)	ETe (mm/dec)	Prec. efec (mm/dec)	Req.Riego (mm/dec)
Abr	3.06	30.6	0	30.6
Abr	3.23	32.3	0	32.3
Abr	3.35	33.5	0	33.5
May	3.47	34.7	0	34.7
May	3.59	35.9	0	35.9
May	3.73	41	0	41
Jun	3.87	38.7	0	38.7
Jun	4.02	40.2	0	40.2
Jun	4.14	41.4	0	41.4
Jul	4.38	43.8	0.1	43.7
Jul	4.57	45.7	0.1	45.5
Jul	4.14	45.5	0.2	45.3
Ago	3.61	36.1	0.3	35.8
Ago	3.22	32.2	0.4	31.8
Ago	3.15	34.6	0.4	34.2
Sep	3.09	30.9	0.5	30.4
Sep	3	30	0.5	29.5
Sep	2.78	27.8	0.3	27.5
Oct	2.57	25.7	0.1	25.6
Oct	2.36	23.6	0	23.6
Oct	2.16	23.8	0	23.7
Nov	1.97	19.7	0.1	19.6
Nov	1.77	17.7	0.1	17.6
Nov	1.74	17.4	0.1	17.4
Total		782.8	3.2	779.5

Cuadro 5. Programación del riego para la jojoba con el CROPWAT 8.0.

Fecha	Precipit. (mm)	Agotamiento. (%)	Lám. Neta (mm)	Lam. Bruta. (mm)
04-mar	0	57	38.6	40.6
21-mar	0	57	39.3	41.4
04-abr	0	57	40.2	42.4
17-abr	0	59	41	43.2
29-abr	0	57	39.9	42
11-may	0	59	41.6	43.8
22-may	0	57	39.7	41.8
02-jun	0	59	41.3	43.5
13-jun	0	61	43	45.3
23-jun	0	58	40.5	42.7
03-jul	0	60	42.1	44.3
12-jul	0	57	39.8	41.9
21-jul	0	58	40.6	42.7
31-jul	0	59	41.1	43.3
12-ago	0	60	42.2	44.5
25-ago	0	59	41.1	43.2
07-sep	0.2	57	39.8	41.9
21-sep	0	59	41.5	43.7
06-oct	0	57	40.1	42.2
23-oct	0	58	40.3	42.4
12-nov	0	58	40.4	42.5
Total	0.2	1223	854.1	899.3

Comparación y evaluación de las metodologías

Los resultados obtenidos de requerimientos hídricos para la jojoba, ver Cuadros 3,4 y5, señalan que se requieren anualmente cerca de 900 milímetros de agua para crecer de manera óptima. En contraste a lo que menciona la literatura, donde se menciona que se desarrolla entre los 150 y 550 mm (Román *et al.*, 2009). Esto puede deberse a que a pesar de su gran tolerancia a la sequía para su óptimo desarrollo requiere mayores niveles de agua. Considerando que la finalidad en este caso es cultivar la especie es necesario brindarle las condiciones para lograr su máxima productividad.

También es importante señalar que los valores de la lámina de riego aplicada de **937 mm** mediante el control de la tensión del suelo con los sensores de humedad SMG

Watermark es similar con la lámina neta de **854 mm** estimada con el programa computacional CROPWAT 8.0

En cuanto a los Watermark, el uso habitual en campo puede ser viable si establecen un número apropiado de sensores. Así pueden tomar lecturas en los momentos importantes del cultivo. Con este tipo de datos y la información obtenida de experiencias previas puede ayudarles a decidir cuándo y cuánto regar.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos señalan que el requerimiento hídrico de la jojoba oscila alrededor de los 900 milímetros de agua anualmente para crecer de manera óptima.

Pese a su gran tolerancia a la sequía, la jojoba requiere mayores niveles de agua para su óptimo desarrollo.

La programación del riego con sensores de humedad de suelo, particularmente los de matriz granular como el Watermark, permiten obtener una buena eficiencia en el uso y aplicación del agua.

El sensor de matriz granular Watermark 200 da buenas aproximaciones de la tensión matricial en muchos tipos de suelos, principalmente los de textura media. Sin embargo, es conveniente realizar una evaluación de los valores que registran, para un suelo y cultivo en particular, pues su capacidad de respuesta a periodos de humedecimiento y secado depende principalmente de la correcta instalación y la textura del suelo.

Por otro lado, la programación del riego basada en el programa computacional CROPWAT 8.0 presenta la ventaja de no precisar de instalaciones sofisticadas siempre que se disponga de la información necesaria.

El modelo de programación de riego basado en el CROPWAT 8.0 puede mejorar su eficacia mediante la combinación con el uso de sensores de humedad del suelo. Por ello es necesario continuar con más investigaciones para acoplar la información que proporcionan cada uno de estos métodos para generar modelos de programación del riego de uso general.

RECOMENDACIONES

Es conveniente realizar evaluaciones futuras de la tensión matricial con el sensor de matriz granular Watermark 200 en plantaciones de jojoba establecidas en varios tipos de suelos para tener una estandarización de los requerimientos hídricos de la especie a nivel regional.

Es necesario continuar con más investigaciones para acoplar la información que proporcionan cada uno de estos métodos para generar modelos de programación del riego de uso general

También se sugiere emplear otros métodos como el índice de estrés hídrico o el potencial hídrico para determinar el requerimiento de agua para la jojoba, dada su gran tolerancia a la sequía.

LITERATURA CITADA

- Alcaraz ,L, *et al.* 2011. Diagnóstico de la jojoba (*Simmondsia chinensis*) (Link)C.K. Schneider, en Mexico. 100p.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 298p.
- Ayerza, R. 1984. La Jojoba. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 221 p.
- Canales, L.B. 1981. El cultivo de la Jojoba una alternativa viable, México, DF. , Primera Reunión Nacional sobre Ecología, Manejo y Domesticación de las Plantas del Desierto, Memorias, publicación especial # 31, SARH, INEF – SFF. pp. 80 – 106.
- Flaxman, M.T. 1940. Sulphurized lubricating oils. United States Patent 2,212,899, Agosto 27, Union oil company of California.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2010a. [en línea] Natural Resources and Environmental Department. CROPWAT model. Disponible en http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html Citado: 12 de Agosto de 2010.
- Gamez.F.J.1979. Estudio Agrologico semi-detallado del campo experimental de la escuela de Agricultura y Ganadería de la universidad de sonora. Hermosillo, Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora. Tesis de Licenciatura 63p.
- Gentry, H.S. 1958. "The natural history of jojoba (*Simmondsia chinensis*) and its cultural aspects". Econ. Bot., 12: 261-295.
- Green, T.G., T.P Hilditch y W.J. Stainsby. 1936. "The seed wax of *simmondsia californica*." J. Chem. Soc. 2: 1750-1755.
- Hinds, W.E. 1949. Penicillin Product. Unite States patent 2,487,336. November 8.

- Irrrometer. 2005. Watermark Soil Moisture Measurement: Installation and Operation Manual. Riverside, CA
- Mirov, N.T. 1952. "Simmondsia or jojoba. A problem in economic botany". *Econ. Botany* 6: 41-47.
- Ortiz, Muñoz J. 1979. Requerimiento anual de Agua, Jojoba en Sonora, Circular CIANO #108, INIA – SARH. Hermosillo, Sonora. pp. 11
- Parra, H.H. 1980. Importancia del Manejo, Organización y Control de los Aprovechamientos de Jojoba, en el noroeste de México. México, D.F. Una Contribución al Conocimiento de la Jojoba. Publicación Especial #20. SARH INIF SFF. pp. 238-241
- Shock, C.C., J.M. Barnun and M. Seddigh. 1998a. Calibration of watermark soil moisture sensors for irrigation management, pag. 139-146, Proceedings of the International Irrigation Show, San Diego, CA. Irrigation Association.
- Shock, C.C., R.J. Flock, E.B.G. Feibert, C.A. Shock, A.B. Pereira, and L.B. Jensen. 2005. Irrigation monitoring using soil water tension. Oregon State University Extension Service. EM 8900 6p.
- Taussky, I. 1946. "Processes of refining, purifying and hydrogenating fats, fatty acids and waxes." United States Patent 2,413,009.
- Thompson, P.H. 1978. "Jojoba Horticulture". En: Jojoba handbook. Bonsall publications, Bonsall Calif. Pp. 57-156.
- Thomson, S.J., & Armstrong, C.F. 1987. Calibration of the Watermark model 200 soil moisture sensor. *Appl. Eng. Agric.* 3:186-189.

APENDICE

ETO PENMAN-MONTEITH MENSUAL DATOS

(Archivo: C:\Users\Fidencio\Desktop\THESIS\TESIS_ISABEL\Envio_avances_de_la_jojoba\clima_jojo.PEM)

País: Mexico
 Altitud: 153 m.

Estación: Hermosillo
 Latitud: 29.01 °N Longitud: 111.10 °W

Mes	Temp Min °O	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m²/día	ETo mm/día
Enero	4.8	21.9	53	126	9.2	15.2	2.52
Febrero	4.9	22.7	51	137	10.0	18.5	3.11
Marzo	9.6	29.1	45	156	11.4	23.4	4.81
Abril	10.6	29.4	47	181	12.0	26.7	5.72
Mayo	15.4	32.2	50	189	11.7	27.4	6.34
Junio	20.8	35.9	56	228	11.3	27.0	7.11
Julio	25.8	36.2	59	420	8.2	22.2	7.78
Agosto	25.3	36.6	64	154	8.6	22.0	5.80
Septiembre	22.9	36.1	63	127	9.2	21.0	5.30
Octubre	14.2	31.7	57	105	10.8	20.3	4.17
Noviembre	11.7	28.1	60	123	9.5	16.0	3.13
Diciembre	6.6	23.4	59	150	9.2	14.4	2.63
Promedio	14.4	30.3	55	175	10.1	21.2	4.87

PREOIPITACION MENSUAL DATOS

(Archivo: C:\Users\Fidencio\Desktop\THESIS\TESIS_ISABEL\Envio_avances_de_la_jojoba\PREC_JOJOBA.CRM)

Estación: HERMOSILLO_JOJOBA

Método Prec. Ef: USDA Servicio de conservación de Suelo:

Pef = Pmes * (125 - 0.2 * Pmes) / 125 para Pmes <= 250 mm
 Pef = 125 + 0.1 * Pmes para Pmes > 250 mm

	Precipit. mm	Prec. efec mm
Enero	0.6	0.6
Febrero	0.0	0.0
Marzo	0.0	0.0
Abril	0.0	0.0
Mayo	0.0	0.0
Junio	0.0	0.0
Julio	0.4	0.4
Agosto	1.3	1.3
Septiembre	1.4	1.4
Octubre	0.0	0.0
Noviembre	0.3	0.3
Diciembre	0.2	0.2
Total	4.2	4.2

CULTIVO DATOS

(Archivo: C:\Users\Fidencio\Desktop\THESIS\TESIS_ISABEL\Envio_avances_de_la_jojoba\CROP_JOJOBA.CRO)

Nombre del Cult.: JOJOBA		Siembra: 01/01		Cosecha: 26/12	
Etapa	inicial	desarro	med	fin	total
Longitud (días)	45	45	240	30	360
Kc valores	0.40	-->	0.55	0.60	
Prof. radicular (m)	0.45	-->	0.50	0.50	
Agotam.critico	0.75	-->	0.75	0.75	
F. respuesta rend.	0.50	0.70	0.70	0.50	1.00
Alturade cult. (m)			1.00		

SUELO DATOS

(Archivo: C:\Users\Fidencio\Desktop\THESIS\TESIS_ISABEL\Envio_avances_de_la_jojoba\SUELO_JOJOBA.SOI)

Nombre del suelo: FRANCO ARENOSO

Datos generales de suelo:

Humedad de suelo disponible total (CC-PM)	140.0	mm/metro
Tasa maxima de infiltración de la precip	43	mm/día
Profundidad radicular máxima	50	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (co	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	140.0	mm/metro

REQUERIM. DE AGUA DEL CULTIVO

Estación ETO: Hermosillo
Est. de lluvia: HERMOSILLO_JOJOBA

Cultivo: JOJOBA
Fecha de siembra: 01/01

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req.Riego mm/dec
Ene	1	Inic	0.40	1.02	10.2	0.2	10.1
Ene	2	Inic	0.40	1.01	10.1	0.2	9.9
Ene	3	Inic	0.40	1.09	11.9	0.1	11.8
Feb	1	Inic	0.40	1.14	11.4	0.1	11.3
Feb	2	Des	0.41	1.23	12.3	0.0	12.3
Feb	3	Des	0.44	1.58	12.7	0.0	12.7
Mar	1	Des	0.47	2.00	20.0	0.0	20.0
Mar	2	Des	0.51	2.45	24.5	0.0	24.5
Mar	3	Des	0.55	2.80	30.8	0.0	30.8
Abr	1	Med	0.57	3.06	30.6	0.0	30.6
Abr	2	Med	0.57	3.23	32.3	0.0	32.3
Abr	3	Med	0.57	3.35	33.5	0.0	33.5
May	1	Med	0.57	3.47	34.7	0.0	34.7
May	2	Med	0.57	3.59	35.9	0.0	35.9
May	3	Med	0.57	3.73	41.0	0.0	41.0
Jun	1	Med	0.57	3.87	38.7	0.0	38.7
Jun	2	Med	0.57	4.02	40.2	0.0	40.2
Jun	3	Med	0.57	4.14	41.4	0.0	41.4
Jul	1	Med	0.57	4.38	43.8	0.1	43.7
Jul	2	Med	0.57	4.57	45.7	0.1	45.5
Jul	3	Med	0.57	4.14	45.5	0.2	45.3
Ago	1	Med	0.57	3.61	36.1	0.3	35.8
Ago	2	Med	0.57	3.22	32.2	0.4	31.8
Ago	3	Med	0.57	3.15	34.6	0.4	34.2
Sep	1	Med	0.57	3.09	30.9	0.5	30.4
Sep	2	Med	0.57	3.00	30.0	0.5	29.5
Sep	3	Med	0.57	2.78	27.8	0.3	27.5
Oct	1	Med	0.57	2.57	25.7	0.1	25.6
Oct	2	Med	0.57	2.36	23.6	0.0	23.6
Oct	3	Med	0.57	2.16	23.8	0.0	23.7
Nov	1	Med	0.57	1.97	19.7	0.1	19.6
Nov	2	Med	0.57	1.77	17.7	0.1	17.6
Nov	3	Fin	0.59	1.74	17.4	0.1	17.4
Dic	1	Fin	0.62	1.74	17.4	0.1	17.3
Dic	2	Fin	0.62	1.64	16.4	0.1	16.3
Dic	3	Fin	0.62	1.61	9.7	0.1	9.6
					970.3	4.2	966.1

PROGRAM. DE RIEGO DEL CULT.

ETo estación: Hermosillo Cultivo: JOJOBA Siembra: 01/01
Est. de lluvia: HERMOSILLO_JO Suelo: FRANCO ARENOSO Cosecha: 26/12

Red. Rend.: 0.0 %

Crop scheduling options

Momento: Regar a % de agotamiento
Aplicación: Reponer a 100 % de capacidad de campo
Ef. campo 95 %

Formato de Tabla: Program. de riego

Fecha	Día	Etapa	Precipi mm	Ks fracc.	ETA %	Agot. %	Lám.Net mm	Déficit mm	Pérdida mm	Lam.Br. mm	Caudal l/s/ha
5 Feb	36	Ini	0.0	1.00	100	57	37.4	0.0	0.0	39.4	0.13
4 Mar	63	Des	0.0	1.00	100	57	38.6	0.0	0.0	40.6	0.17
21 Mar	80	Des	0.0	1.00	100	57	39.3	0.0	0.0	41.4	0.28
4 Abr	94	Med	0.0	1.00	100	57	40.2	0.0	0.0	42.4	0.35
17 Abr	107	Med	0.0	1.00	100	59	41.0	0.0	0.0	43.2	0.38
29 Abr	119	Med	0.0	1.00	100	57	39.9	0.0	0.0	42.0	0.40
11 May	131	Med	0.0	1.00	100	59	41.6	0.0	0.0	43.8	0.42
22 May	142	Med	0.0	1.00	100	57	39.7	0.0	0.0	41.8	0.44
2 Jun	153	Med	0.0	1.00	100	59	41.3	0.0	0.0	43.5	0.46
13 Jun	164	Med	0.0	1.00	100	61	43.0	0.0	0.0	45.3	0.48
23 Jun	174	Med	0.0	1.00	100	58	40.5	0.0	0.0	42.7	0.49
3 Jul	184	Med	0.0	1.00	100	60	42.1	0.0	0.0	44.3	0.51
12 Jul	193	Med	0.0	1.00	100	57	39.8	0.0	0.0	41.9	0.54
21 Jul	202	Med	0.0	1.00	100	58	40.6	0.0	0.0	42.7	0.55
31 Jul	212	Med	0.0	1.00	100	59	41.1	0.0	0.0	43.3	0.50
12 Ago	224	Med	0.0	1.00	100	60	42.2	0.0	0.0	44.5	0.43
25 Ago	237	Med	0.0	1.00	100	59	41.1	0.0	0.0	43.2	0.38
7 Sep	250	Med	0.2	1.00	100	57	39.8	0.0	0.0	41.9	0.37
21 Sep	264	Med	0.0	1.00	100	59	41.5	0.0	0.0	43.7	0.36
6 Oct	279	Med	0.0	1.00	100	57	40.1	0.0	0.0	42.2	0.33
23 Oct	296	Med	0.0	1.00	100	58	40.3	0.0	0.0	42.4	0.29
12 Nov	316	Med	0.0	1.00	100	58	40.4	0.0	0.0	42.5	0.25
5 Dic	339	Fin	0.0	1.00	100	57	40.2	0.0	0.0	42.3	0.21
26 Dic	Fin	Fin	0.0	1.00	0	47					

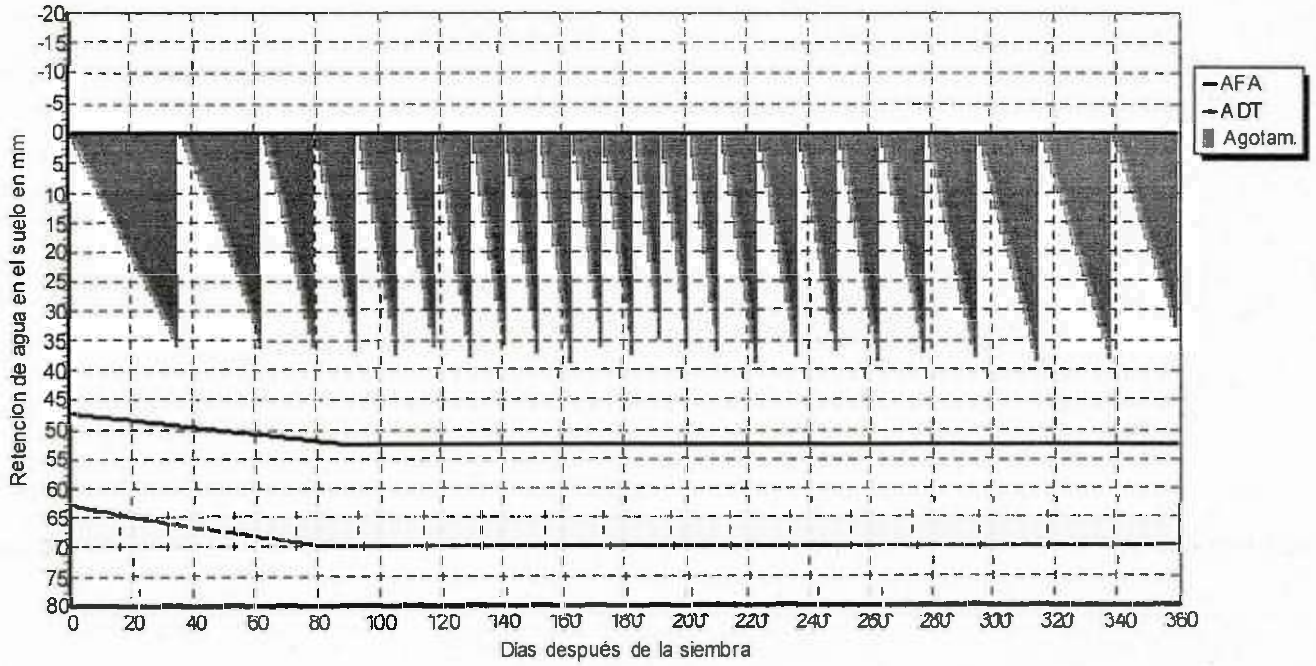
Totales:

Lámina bruta total	980.9 mm	Precipitación total	4.2 mm
Lámina neta total	931.9 mm	Precipitación Efectiva	3.8 mm
Pérdida total de riego	0.0 mm	Pérdida tot.prec.	0.4 mm
Uso real de agua del cultivo	968.7 mm	Def. de hum. en cosecha	33.0 mm
Uso pot. de agua del cultivo	968.7 mm	Requer. reales de riego	964.9 mm
Efic. de programación de riego	100.0 %	Efic. de precipitación	90.7 %
Deficiencia de programación de	0.0 %		

Reducción de rendimiento:

Stagelabel	A	B	C	D	Estación
Reducciones en ETC	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Factor de respuesta del rend.	0.50	0.70	0.70	0.50	1.00
Red. del rend.	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0 %
Reducc. acum. del rendimiento	0.0	0.0	0.0	0.0	%

GRÁFICO DE PROGRAMACIÓN DE RIEGO



T-160 034