

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERIA

**“DESARROLLO Y EFICIENCIA EN EL USO DE AGUA Y
NITROGENO EN *Agave angustifolia* HAW., BAJO CONDICIONES
DE FERTI-IRRIGACION”**

T E S I S

JESUS LOPEZ CORONADO

DICIEMBRE DEL 2012

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

**Desarrollo y eficiencia en el uso de agua y nitrógeno en *Agave angustifolia* Haw.,
bajo condiciones de ferti-irrigación**

TESIS

Sometida a la consideración del
Departamento de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

Por

Jesús López Coronado

Como requisito parcial para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo

Diciembre de 2012

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

INGENIERO AGRONOMO

CONSEJO PARTICULAR:

DIRECTOR:



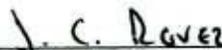
DR. ANDRES OCHOA MEZA

ASESOR:



DR. SERGIO FRANCISCO MORENO SALAZAR

ASESOR:



DR. JULIO CESAR RODRIGUEZ

ASESOR:

M. C. MARÍA EUGENIA RENTERÍA MARTÍNEZ

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de tesis a mis padres, que me brindaron lo necesario para poder culminar mis estudios, por su confianza, por creer en mí. A mi esposa quien me brindó su amor, su cariño, su estímulo y su apoyo constante. A toda la gente que colaboró en este proyecto, maestros, amigos y a esta institución que nos ha formado.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de corazón a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en la ejecución de este trabajo.

A mis asesores, Dr. Sergio Francisco Moreno Salazar, Dr. Andrés Ochoa Meza, Dr. Julio César Rodríguez. A mis amigos y compañeros: Martín, Gonzalo, Adán, Lorenzo, Ramón Ángel y Nelson, que con su gran trabajo y esfuerzo ayudaron a terminar satisfactoriamente este proyecto.

Al Departamento de Agricultura y Ganadería (DAG) de la Universidad de Sonora por la formación recibida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por la beca recibida durante la ejecución de este trabajo.

CONTENIDO

	Pág
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
CONTENIDO	v
INDICE DE CUADROS Y FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
INTRODUCCION	1
LITERATURA REVISADA	4
Género Agave.....	4
Descripción botánica.....	4
Metabolismo y adaptación a los ambientes áridos	6
Reproducción sexual y asexual	7
Establecimiento del maguey bacanora.....	14
Selección de sitios para la siembra de maguey bacanora en el sur del estado	15
Época de siembra	17
Ferti-irrigación	18
Requerimiento de nutrientes	22
Nutrientes en el suelo	22
Sistemas de riego aptos para la ferti-irrigación.....	23
Funcionamiento de un sistema de ferti-irrigación.....	24
Inyectores Venturi: Succión por presión negativa	24
Riego programado de precisión	26
Problemática asociada con la producción	29
MATERIALES Y METODOS	32
Selección del material vegetativo.....	33
Climatología.....	35
Variables registradas	39
Eficiencia en el uso de los insumos.....	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
Características del suelo.....	41
Características climáticas.....	43
Tasa de sobrevivencia de plantas de maguey bacanora	48
Aproximación al calendario óptimo de riego y fertilización	51
Efecto del riego en la aparición de hijuelos	53
Eficiencia en el uso de los recursos.....	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
BIBLIOGRAFIA	58

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS

	Pág.
Figura 1.- A) Inflorescencia espigada, B) Inflorescencia paniculada	5
Figura 2.- Planta de <i>A. angustifolia</i> Haw. Departamento de Agricultura y Ganadería, 2012.....	6
Figura 3.- Reproducción de planta por semilla en vivero	9
Figura 4.- Bulbillos en <i>Agave angustifolia</i> Haw. Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora.....	10
Figura 5.- Hijuelos que desarrollan en la base y alrededor de las plantas madre.	12
Figura 6.- Plantas de maguey bacanora secas por impacto de helada 5 de febrero 2011, A) en cuenca de río Sonora. B) en cuenca del Río Mátape.....	15
Figura 7.- Suelo apropiado para la siembra del maguey bacanora.	16
Figura 8.- Diseño básico de un cabezal de control con Venturi. Bomba (A), Venturi (B), filtro (C), manómetro (D).....	26
Figura 9.- Sitios experimentales, en los municipios de Villa Pesqueira y Mazatan Sonora.	32
Figura 10.- Estación meteorológica automatizada, en sitio experimental de Mátape, Sonora.	33
Figura 11.- Selección de plantas proveniente de vivero (Universidad de la Sierra. Moctezuma, Sonora).	34
Figura 12.- Climas de la cuenca del río Mátape en Sonora México	36
Figura 13.- Normales Meteorológicas de la estación 26052, Mazatán, Sonora, México. Tmx: Temperatura Máxima, Tprom: Temperatura Promedio, Tmn: Temperatura Mínima.	37
Figura 14.- Normales Meteorológicas de la estación 26240, Mátape, Sonora, México. Tmx: Temperatura Máxima, Tprom: Temperatura Promedio, Tmn: Temperatura Mínima.	38
Figura 15.- Normales Meteorológicas de la estación 26046, La Colorada, Sonora, México. Tmx: Temperatura Máxima, Tprom: Temperatura Promedio, Tmn: Temperatura Mínima.....	39
Figura 16.- Comportamiento diario de la temperatura del aire en parcela experimental de Mátape Sonora, 2010 y 2011	43
Figura 17.- Comportamiento diario de la humedad relativa del aire en parcela experimental de Matape, Sonora, 2010 y 2011.....	44
Figura 18.- Comportamiento diario de la precipitación en parcela experimental de Matape Sonora, 2010 y 2011.	45
Figura 19.- Comportamiento diario de la radiación solar en parcela experimental de Matape Sonora, 2010 y 2011.	46
Figura 20.- Comportamiento diario de la velocidad y dirección del viento en parcela experimental de Mátape Sonora, 2010 y 2011.....	47

Figura 21.- Comportamiento diario de la evapotranspiración de referencia en parcela experimental de Mátape Sonora, 2010 y 2011.....	48
Figura 22.- Efecto del riego en la sobrevivencia de maguey bacanora trasplantado.	49
Figura 23.- Efecto del riego y la fertilización en la emisión de hojas nuevas por el maguey bacanora bajo riego por goteo.	50
Figura 24.- Evapotranspiración y lluvia en Mátape, Sonora durante 2010 y 2011.....	52
Figura 25.- Hijuelos con gran vigor	54
Figura 26.- Eficiencia en el uso del agua por el maguey bajo riego por goteo	55
Figura 27.- Eficiencia en el uso del nitrógeno por el maguey en Mátape, Son.	56
Figura 28.- Eficiencia en el uso del nitrógeno por el maguey en Mazatán, Son.....	56
Cuadro 1.- Crecimiento de agave en sombreadero y vivero rústico, para diferentes métodos de reproducción en Moctezuma, Sonora (Cervantes, 2000).....	13
Cuadro 2.- Climas del área de estudio en la cuenca del río Mátape.	35
Cuadro 3.- Climatología de estaciones termopluviométrica de CONAGUA en la cuenca del río Mátape en Sonora	36
Cuadro 4.- Condiciones fisico-químicas de suelo en las parcelas de Mátape y Mazatán, Son.	42
Cuadro 5. Calendario óptimo de riego ⁽¹⁾ , de acuerdo con la evapotranspiración potencial mensual	53

RESUMEN

Agave angustifolia Haw., es la fuente de materia prima para la elaboración de bacanora en Sonora. Actualmente todo el material utilizado para la obtención de la bebida es de origen silvestre; por lo que urge desarrollar trabajos de investigación en relación a la producción de plantas, el establecimiento de *A. angustifolia* y la evaluación de los niveles óptimos de riego y nutrientes en sus diferentes etapas de desarrollo. En el presente trabajo se llevó a cabo el establecimiento de parcelas experimentales de maguey bacanora en los municipios de Villa Pesqueira (Mátape) y Mazatán, Sonora. La superficie de plantación fue aproximadamente 1/5 de ha. Se instaló un sistema de riego por goteo, que incluyó un inyector tipo Venturi para inyección de fertilizante y manguera de polietileno negro de 16 mm, con goteros de flujo controlado de 4 l h⁻¹. La densidad de plantación fue de 2500 plantas ha⁻¹ con distancias de 2 m entre hileras y 2 m entre plantas. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar en arreglo factorial 5x3, evaluando el efecto de 5 niveles de riego por goteo: 0, 12.5, 25, 37.5 y 50% de reposición de agua perdida por evapotranspiración (ET₀) y 3 niveles de nitrógeno: 0, 75 y 150 kg ha⁻¹ año⁻¹.

La eficiencia en el uso de agua se estimó mediante el número de hojas desenvueltas por mes por ha, dividida entre los mm de agua aplicados por mes (No. de hojas/ha mm). Por su parte la eficiencia en el uso de nitrógeno se determinó mediante el número de hojas desenvueltas por ha sobre kg de nitrógeno aplicado (número de hojas/ha kg de N). El efecto del riego en la sobrevivencia a los 6 meses del trasplante, en áreas sin riego fue casi del 15% en pérdidas, mientras que con riego (12.5 al 37.5% de ET₀), se obtuvo del 94 al 96% de prendimiento. La eficiencia en la aplicación del agua de riego es importante, aunque sin exceder un cierto límite. Con una reposición del 25% de ET₀ se observó mayor incidencia en la producción de hojas nuevas. En la fertilización no se encontraron diferencias, ya que se registró igual número de hojas en las plantas sin fertilizar que en aquellas con 75 o 150 kg ha⁻¹.

INTRODUCCION

El bacanora, es la bebida típica del estado de Sonora y su nombre no tiene relación con el producto en sí, sino que lo toma de un poblado situado en la sierra Este de Sonora; además su origen está asociado a la cultura Ópata que se desarrolló en esas regiones. Es un destilado de agave, parecido al tequila y mezcal producidos en el sur del país, pero al que la constitución genética de la planta, las condiciones climáticas, los tipos de levaduras silvestres locales utilizadas y el proceso empleado para su elaboración, le confieren características de sabor, aroma y cuerpo que lo hacen diferente y lo sitúan como una bebida ampliamente aceptada en el estado e incluso fuera de éste, llegándose incluso a mencionar que su sabor y *bouqué* son superiores al de los tequilas mas finos. (Cervantes-Ramírez, 2002)

A principios del siglo XX, existía en Sonora una incipiente industria dedicada a la producción de bacanora que utilizaba equipo sofisticado y técnicas precisas. No obstante estos importantes avances, en 1915 el gobernador de Sonora, Gral. Plutarco Elías Calles, prohibió la manufactura y comercialización de bebidas alcohólicas en el estado. Bajo este ordenamiento jurídico conocido como ley seca, la autoridad integrada por policías judiciales, se encargo de localizar y destruir las destilerías clandestinas (vinatas), deteniendo y encarcelando a quienes producían bacanora; y aun más, de acuerdo con entrevistas a antiguos productores, se llegaba al exceso de ahorcarlos como una medida para desalentar esa actividad (Canizalez-Curiel, 1994; Moreno-Salazar, 1995; 2006).

A pesar de lo anterior, la producción de bacanora continuó, aunque en forma clandestina y en pequeñas escala, manteniendo así la tradición y el gusto por esta bebida. Sin embargo, como los llamados mezcaleros o vinateros se vieron en la necesidad de mantener en secreto la ubicación de sus vinatas, durante el transcurso de los años se dio un considerable retroceso en la técnica y equipo empleado para la

elaboración de bacanora. Décadas mas tarde, en 1963 en el diario oficial de la federación se publicó el reglamento sanitario de bebidas alcohólicas y dentro del capítulo III relativo a bebidas alcohólicas destiladas, se reconoció y reglamentó al bacanora como una bebida regional (Canizalez-Curiel, 1994; Moreno-Salazar, 1995; 2006).

Esta disposición del gobierno federal en su momento pudo haber significado el soporte legal para el inicio de la agroindustria del bacanora en Sonora, introduciendo reformas a la ley estatal de alcoholes y promoviendo su desarrollo. No obstante lo anterior, su producción siguió sancionada por la costumbre, permaneció estancada y continuó de manera irregular. Finalmente en el año de 1992, con el objetivo de incentivar la economía de las zonas serranas, el gobierno del estado legalizó la producción y comercialización de bacanora (Canizalez-Curiel, 1994; Moreno-Salazar, 1995; 2006).

Un aspecto de vital importancia y que debe ser tomado en consideración, es la materia prima. En la actualidad el total de agave utilizado para la elaboración de bacanora en la entidad, es de origen silvestre. Por otro lado, se sabe que los productores de bacanora son selectivos y cortan las plantas con mayor tamaño y vigor, seleccionando preferentemente las plantas en cuanto empiezan a desarrollar su tallo floral. Esta incipiente estructura es eliminada, con el fin de que los azúcares que normalmente se destinarían a su formación se conserven en el tallo y estén disponibles para la fermentación (Canizalez-Curiel, 1994; Moreno-Salazar, 1995; 2006).

Con esta práctica se ve alterado el ciclo reproductivo de la especie y disminuye la producción anual de semilla. Esto ha traído como consecuencia un constante descenso y deterioro en las poblaciones silvestres de este recurso, así como una irreparable pérdida de biodiversidad y germoplasma valioso. Si bien es cierto, la distribución del maguey de bacanora ocurre en varios municipios de la entidad, las poblaciones se encuentran totalmente dispersas y es prácticamente imposible

satisfacer la demanda actual. Entrevistas con algunos productores y habitantes de la región serrana, han confirmado la desaparición de la especie en áreas donde anteriormente habían existido por años poblaciones de regular tamaño, cada vez se tiene que ir mas lejos y escalar mas alto en los cerros para conseguir el recurso (Canizalez-Curiel, 1994; Moreno-Salazar, 1995, 2001).

Con todo lo anterior, se puede observar la necesidad de establecer un programa de propagación y cultivo de la especie que minimice los impactos negativos de la explotación irracional del recurso y sobre todo que permita su aprovechamiento sustentable como una fuente generadora de empleos y derrama económica para los municipios productores de bacanora. Por lo anterior, en este trabajo se plantea como objetivo el determinar la eficiencia de uso de los recursos agua y nitrógeno y su efecto en el desarrollo de *Agave angustifolia* bajo condiciones de ferti-riego.

LITERATURA REVISADA

Género Agave

El género *Agave* fue descrito por Lineo a partir de la especie *Agave americana* en 1753. En griego la palabra agave (agavus) significa admirable o noble. En México estas plantas se conocen como magueyes, mientras que en E.U debido al largo periodo que requieren para su floración, se conoce como century plants (plantas centenarias). No obstante el término universalmente empleado es agave (Cervantes-Ramírez, 2002).

Este género pertenece a la familia Agavaceae, es originario de América, e incluye aproximadamente 200 especies y 247 taxa interespecíficos, de los cuales 150 especies se distribuyen en México y pueden ser encontradas desde el nivel del mar hasta altitudes de 3400 msnm, siendo más abundantes en comunidades vegetales xerófitas (García-Mendoza, 2002), presenta dos tipos de inflorescencia (Fig. 1; Moreno-Salazar, 1995). En Sonora están presentes 26 especies, 4 subespecies y 4 variedades nativas (Gentry, 1982, citado por Moreno-Salazar, 1995).

Descripción botánica

En general, se puede decir que los agaves son plantas perennes, suculentas, siempre verdes, con raíces fibrosas, generalmente grandes, ramificadas y profundas, parten de un tallo subterráneo con aspecto de rizoma (acaules). Sus hojas se disponen en forma de roseta, son grandes, lineales, alargadas, carnosas, cóncavas, anchas en la base y generalmente terminadas en puntas alargadas (ápice mucronado) y en su mayoría presentan bordes espinosos.

La floración empieza cuando la planta emite un robusto eje floral llamado “quiote”, el cual se desarrolla en la región central y basal de la roseta y llega a medir hasta 6 m de altura (Fig.1). Presenta flores hermafroditas, de coloraciones vistosas amarillo-verduzco. El fruto es una cápsula tricarpelar y a veces una baya con numerosas semillas. El agave florece una sola vez en su vida y luego muere, ocurriendo esto cuando la planta ha alcanzado la madurez (Moreno-Salazar, 1995).

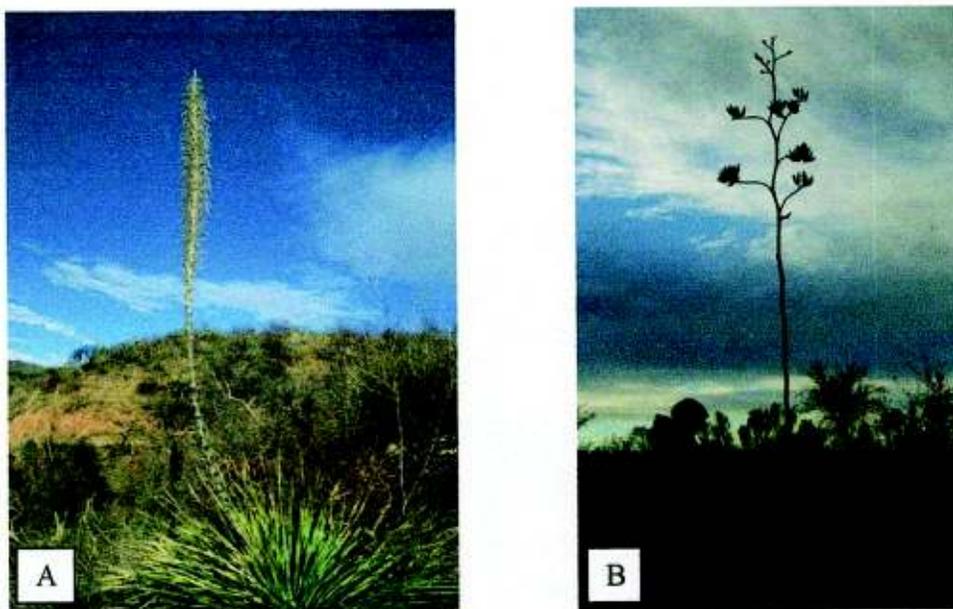


Figura 1.- A) Inflorescencia espigada, B) Inflorescencia paniculada.

Agave angustifolia se distribuye a lo largo del Pacífico Mexicano hasta Centroamérica. Incluso, es una de las principales especies utilizadas para la elaboración de mezcal en Oaxaca. Según Gentry (1982), la región de mayor abundancia de la especie en Sonora, abarca los municipios de Arivechi, Ónavas, Sahuaripa, Soyopa y Nácori Chico. Además se han reportado poblaciones importantes en Ures, Cumpas, Bacanora, Huépac, Tepache, Moctezuma, Mátape, Mazatán y La Colorada (Cervantes, 2002; Ortega, 2012).



Figura 2.- Planta de *A. angustifolia* Haw. Departamento de Agricultura y Ganadería, 2012

Metabolismo y adaptación a los ambientes áridos

Aunque el grado de adaptabilidad varía considerablemente, la mayoría de los agaves están muy bien adaptados a los ambientes áridos. La forma y distribución de las hojas, les ayuda a capturar la poca agua de lluvia disponible de una manera más eficiente. Sin embargo, la principal característica de adaptación, es que los agaves poseen el metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM), el cual le permite efectuar la fotosíntesis y sobrevivir en condiciones de extrema sequía (Gentry, 1982; Nobel, 1988).

El metabolismo CAM está asociado a un estricto control estomático, que hace que los estomas abran en la noche para fijar el CO_2 atmosférico en el ácido fosfoenolpirúvico y formar ácido málico, luego durante el día los estomas se cierran

para evitar la transpiración excesiva y el ácido málico se transforma en ácido pirúvico, que luego pasa a carbohidratos y almidón mediante el proceso fotosintético.

Otra adaptación importante que contribuye a evitar la transpiración, es la gruesa capa de cutícula que cubre las pencas de las plantas. Esta cubierta es transparente a fin de permitir la captura de energía solar para el proceso de fotosíntesis (Nobel, 1983; Nobel, 1976; Nobel y Hartsock, 1981 citado por Moreno-Salazar, 1995).

Reproducción sexual y asexual

La propagación del maguey bacanora puede realizarse principalmente por tres métodos distintos, sexuales (semilla), asexuales (hijuelos y bulbillos).

Semilla.

Generalmente las plantas de maguey empiezan a florecer a los 6 años de edad y producen una gran cantidad de semilla. Sin embargo, debido a que en la mayoría de los casos las semillas caen en un medio adverso y están sujetas a una alta depredación, se presentan bajos índices de germinación. Las plantas originadas por esta vía presentan una alta variabilidad genética.

La multiplicación por semilla es actualmente el método más utilizado para la propagación de *A. angustifolia* en el estado de Sonora. En estudios realizados por INIFAP en municipios como Moctezuma y La Colorada, los porcentajes de germinación variaron de 80 a 85 % cuando la siembra en almacigo se realizó de abril a septiembre y de 15 a 25 % cuando se realizó en los meses de noviembre a febrero. Cabe mencionar que las bajas temperaturas juegan un papel fundamental en este proceso y los valores mínimos en este último mes llegan a ser hasta -8°C , en cambio de abril a mediados de septiembre las temperaturas mínimas se mantienen en un rango de $18-22^{\circ}\text{C}$ lo que puede determinar en gran parte estos valores de germinación de la semilla del maguey bacanora.

El eje floral o quiotte al inicio es de un color amarillo claro y se muestra rodeado de hojas más pequeñas que el resto que conforman la planta. Estos quiottes tienen un crecimiento diario de 5 – 6 cm en los siguientes tres meses. Al terminar el crecimiento del quiotte se presenta la aparición de los brazos o pedúnculos donde aparecerán los botones florales, mismos que un tiempo de 4 semanas se encuentran diferenciados o formados. En un lapso de 6 meses de emergido el quiotte, las cápsulas maduran, mostrándose de color oscuro, siendo las más cercanas al suelo las que presentan mayor índice de madurez, por lo que la cosecha se debe de realizar cuando están empezando a abrirse. Una vez colectadas las cápsulas se colocan debajo de una sombra y a los 5 días se extraen las semillas, evitando sembrar semillas vanas, de color blanco, o dañadas por insectos ya que su porcentaje de germinación es muy bajo (menos del 2 %). En cambio semillas de color negro y sin daños alcanzan arriba del 80% de germinación (Cervantes, 2002; 2007).

Normalmente las inflorescencias empiezan a emerger en los meses de octubre y noviembre, mientras que los brotes florales empiezan a desarrollarse a mediados de diciembre, para abrir y ser polinizados durante los meses de enero y marzo. Las semillas maduran de mayo a junio, y si caen en condiciones favorables pueden germinar con las primeras lluvias de verano (Moreno-Salazar, 2006).

Vivero.

Bajo condiciones de vivero la reproducción de planta por semilla, comparada con otros métodos es más lenta, pero desde el punto de vista genético tiene la gran ventaja de que con dicho material se mantiene la variabilidad genética de este maguey (Fig.3), lo cual en el futuro puede aprovecharse en programas de mejoramiento para la obtención de cultivos o variedades con características deseadas para la producción de alta calidad del bacanora.



Figura 3.- Reproducción de planta por semilla en vivero

Valenzuela (1997), menciona que entre las desventajas de establecer plantaciones comerciales con plantas producidas por semilla se presentan los problemas en el tiempo a cosecha de las piñas de agave, debido a la maduración no uniforme, así, plantas de la misma fecha de siembra maduran en un periodo de 7 - 8 años, mientras que otras requieren hasta 10 - 12 años. Una situación como la anteriormente descrita se presentó en el año 2005 y 2006 en una plantación de maguey bacanora situada en el municipio de Moctezuma, Sonora, plantas germinadas al mismo tiempo en 1996, presentaron diferente tamaño de piña (desde 20 - 30 cm de diámetro y peso desde 15 - 25kg), además de que no todas presentaron el mismo grado de madurez (Cervantes *et al.*, 2007).

Bulbillos.

Son pequeñas plántulas que crecen en el quiote cuando la planta no puede producir semilla (Fig.4), debido a las bajas temperaturas en las laderas de la montaña donde están ubicadas, y este frío solo afecta las flores en formación mas no a los brazos (pedúnculos) o el resto del quiote. Esto se presenta por lo general en sitios muy localizados, habiéndose registrado en ciertos predios de los municipios de Nácori Chico, Moctezuma, Aconchi y Bacanora, donde ha sido posible coleccionar un promedio de 300 bulbillos por planta.



Figura 4.- Bulbillos en *Agave angustifolia* Haw. Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora.

La producción de bulbillos de forma natural no es generalizada en todo el predio, ni en todos los predios de los 35 municipios localizados en la región de la denominación de origen. Es posible inducir a la planta a producirlos mediante la emasculación de los brotes florales, iniciando con la selección de plantas sanas y con las mejores características para producir bacanora ya que los magueyes obtenidos por este método tendrán un alto porcentaje de las características de la planta madre (Moreno-Salazar, 2006). La selección de las plantas para este método de reproducción se realiza desde agosto hasta noviembre; una vez hecho esto, las plantas se extraen del suelo con mucho cuidado, cuando el qurote inicia su crecimiento, procurando no dañar la piña, y se trasplanta en terrenos donde será posible darle un buen manejo agronómico, consistente en riegos cada 21 días, aplicación de fertilizantes fosfatados solubles durante los meses de noviembre y diciembre y nitrogenados en el mes de marzo, el primero para promover el desarrollo de las raíces

nuevas y vigorosas para el almacenamiento de carbohidratos de reserva; y el segundo para promover el crecimiento vegetativo y la aparición de hojas nuevas, fortaleciendo el proceso fotosintético de la planta y un mejor desarrollo de la misma.

Una vez hecho lo anterior, se espera a que desarrolle el quiote (desde fines de agosto hasta noviembre) y se formen las flores. Cuando el maguey se encuentre con los botones formados se procede, auxiliados por una escalera, a cortar manualmente o con una tijera la base de los botones (emasculación) para evitar la producción de semilla y los bulbillos que emerjan cuenten con más espacio para su crecimiento.

Una vez realizado el corte de los botones, en un periodo de 4-5 meses se inicia la aparición de los bulbillos esperando que estos alcancen tamaños de 2.5-4 cm para cosecharlos. Estudios realizados por el INIFAP desde el año 2000 al 2006 indican que el mayor éxito en la inducción de bulbillos se logra con la emasculación de botones florales en plantas que enquistaron durante octubre y noviembre, ya que si se seleccionan plantas que enquistan en agosto y septiembre y se presentan precipitaciones normales durante el invierno, las plantas vuelven a producir botones florales y es necesaria una segunda emasculación, lo que eleva los costos de producción de planta por este método. El promedio de producción de bulbillos varía desde 25 hasta 350, esto cuando la emasculación es realizada a la planta que enquista en octubre y noviembre (Cervantes, 2002).

Una vez cosechados los bulbillos durante los meses de mayo a agosto, es posible pasarlos directamente al suelo del sombreadero, desarrollando las primeras raíces durante la primera semana del trasplante, lo que permite a la planta disponer de los nutrientes suministrados y del agua de riego.

Este método puede ser una alternativa de producción para disponer de líneas clonales adecuadas para la producción del bacanora y que el productor lo puede realizar en su rancho seleccionando plantas de su predio adaptadas a las condiciones de suelo y clima del lugar.

Hijuelos.

Los rizomas son tallos modificados que crecen en forma subterránea a partir del tallo principal, generando “hijuelos” que se desarrollan en la base y alrededor de las plantas madres (Fig.5). Cada planta madre produce en promedio 6 plántulas a partir de los 3 años de edad.



Figura 5.- Hijuelos que desarrollan en la base y alrededor de las plantas madre.

Es el método de reproducción más utilizado para la producción de plantas en el establecimiento de *Agave tequilana* Weber var. azul, materia prima de la industria del tequila, por la rapidez con que se obtienen plantas de buen tamaño y la cantidad de éstas que produce la planta (Valenzuela, 2001).

Evaluaciones realizadas en los municipios de Moctezuma y la Colorada, en Sonora, por este método de reproducción en comparación con semilla y bulbillo, presentan un crecimiento más rápido, que se manifiesta en un mayor diámetro de piña, número de hojas nuevas y altura de planta (Cuadro 1).

Cuadro 1.- Crecimiento de agave en sombreadero y vivero rústico, para diferentes métodos de reproducción en Moctezuma, Sonora (Cervantes, 2000).

Método de reproducción	Edad (meses)	A. Planta (cm)	P. Total (g)	P. Cabeza (g)	Numero hojas
Hijuelo	10	85	460	110	20
Hijuelo	22	98	1023	340	23
Bulbillo	10	65	280	90	15
Bulbillo	22	75	635	210	19
Semilla	10	32	108	21	5
Semilla	22	52	420	120	9
Semilla	34	77	1058	350	16

En poblaciones silvestres el maguey bacanora inicia la producción de hijuelos entre los 3-4 años de edad y continúa produciendo todo su ciclo de vida, siendo los mejores hijuelos para la siembra los que produce la planta madre durante los primeros 3 a 6 años. Los hijuelos de plantas de más de 6 años generalmente no tienen la misma rapidez de crecimiento y aquellos que aparecen un año antes de que la planta madre enquite, tienden rápidamente a desarrollar escapo floral y por lo tanto no sirven para el establecimiento de plantaciones comerciales (Cervantes, 2007).

El problema actual en el estado de Sonora, es que quedan pocas poblaciones silvestres que pueden soportar la extracción de hijuelos; por lo cual es necesario contemplar la exclusión de las áreas donde existen poblaciones silvestres de *Agave angustifolia* Haw., del pastoreo debido a las siguientes razones (Valenzuela, 2000):

- 1.- Forman parte del equilibrio ecológico de las zonas semiáridas de Sonora, favoreciendo la ganadería.
- 2.- Son fuente de alimentación y refugio de otros organismos vivos en las zonas áridas y semiáridas.
- 3.- Para promover el desarrollo de material vegetativo o hijuelos para el establecimiento de plantaciones comerciales.
- 4.- Para conservar el germoplasma, es decir, la riqueza genética y asegurar el futuro de la variedad cultivada.

Además de proteger las poblaciones silvestres del pastoreo es recomendable contemplar la cosecha de hijuelos para las plantaciones comerciales a establecerse en el futuro, por lo que es necesario planear bien las distancias entre plantas y la distancia entre hileras al momento de sembrar, que permiten una fácil cosecha de los vástagos.

Establecimiento del maguey bacanora

Selección del terreno para la siembra.

El mejor crecimiento y sobrevivencia de la planta en los municipios del río Sonora, río San Miguel, región centro y sierra alta de Sonora, se presenta en mesetas y laderas de lomeríos no pronunciadas, con exposición al sureste y suroeste.

Se debe evitar la plantación en tierras de riego o temporales localizados en bajíos ya que las bajas temperaturas (-2 hasta -8 C) en estos sitios durante los meses de diciembre y enero, provocan daños en el agave por heladas y en un tiempo de 2-3 años, el 95% de las plantas mueren (Fig. 6). Es por ello, que es tan importante la selección del sitio a sembrar y así evitar porcentajes bajos de sobrevivencia, que es lo que ha ocurrido con las siembras de agave del estado de Sonora desde 1999 al 2005, donde más del 80% de la planta establecida está muerta debido a que la selección del sitio de siembra no fue el apropiado para el establecimiento del maguey (Cervantes, 2007).



Figura 6.- Plantas de maguey bacanora secas por impacto de helada 5 de febrero 2011, A) en cuenca de río Sonora. B) en cuenca del Río Mátape.

Selección de sitios para la siembra de maguey bacanora en el sur del estado.

En la selección de sitios para el establecimiento de plantaciones comerciales en los municipios de Quiriego, Rosario, Suaqui Grande, Soyopa, Onavas y Álamos, Sonora, además de mesetas y lomeríos suaves pueden considerarse terrenos localizados en bajíos como temporales y área de riego, ya que en esta región las temperaturas mínimas no representan problemas en el desarrollo de maguey bacanora. Existe además al sur del municipio de Álamos, la región agrícola denominada Fuerte-Mayo, la cual tiene un gran potencial para la siembra del maguey de bacanora ya que dispone de suelos apropiados, no presenta problemas de frío y dispone de agua de riego suficiente para el crecimiento y desarrollo de plantaciones comerciales de agave.

Suelos.

Los suelos más apropiados para la siembra del maguey bacanora, son aquellos con textura media (Fig. 7), que retienen humedad de las lluvias pero sin encharcarse, con pH ligeramente ácidos (6.3-6.5), una capacidad de intercambio catiónico (CIC) mayor de $15 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$, que permite un adecuado aporte de nutrientes del suelo a la

planta. En relación a la presencia de macroelementos, poseen contenidos medios de nitrógeno (31-35 ppm de N-NO₃), bajos contenidos de fósforo (2.6 – 3.0 ppm de P-PO₄) y la pedregosidad en los diferentes horizontes del suelo no debe rebasar el 60%. Asimismo, no presentan problemas de salinidad ya que los valores de conductividad eléctrica son de 0.23 a 0.35 dS m⁻¹, lo cual es un valor muy bajo y de acuerdo con los valores de materia orgánica (0.59-0.95%) son suelos pobres en este componente. En suelos con estas características ubicados entre las localidades de Bacanora y Tónichi, se estableció un modulo experimental de maguey bacanora en agosto del 2001, a los 6 años de desarrollo, el promedio de sobrevivencia fue del 92% y las plantas presentaron alturas de 120 cm, diámetro de piña o cabeza de 25 cm y 33 hojas nuevas (Cervantes *et al.*, 2007).



Figura 7.- Suelo apropiado para la siembra del maguey bacanora.

En comparación, el crecimiento de los agaves en los suelos también localizados en lomeríos sin problemas de frío pero de textura arenosa, pH ligeramente alcalino (7.45) pedregosidad en el perfil mayor de 80 %, pobres en nitrógeno (4.37 ppm de N-NO₃), capacidad de intercambio catiónico menor de 15 cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹ y un color café claro; es mucho menor ya que presentan en promedios alturas de 90 cm y diámetro de cabeza o piña de 10 cm y solo 10 hojas nuevas (Cervantes *et al.*, 2007).

En relación al tipo de suelo adecuado para la mayoría de los agaves cultivados, Valenzuela (2000), menciona que estos nunca deben plantarse en terrenos con mantos freáticos –aguas subterráneas– poco profundos y/o con tepetates superficiales; afirma

además que es importante no cultivar con agaves las laderas pedregosas muy pronunciadas, al menos que éste y otro cultivo se utilicen como sistema de recuperación de suelos. En relación al contenido de azúcares, afirma que los agaves cultivados en suelos arenosos presentan a la cosecha muy bajos contenidos, lo que demerita su calidad.

Vegetación.

En los terrenos de agostadero apropiados para la siembra de agave, las especies predominantes son el palo blanco o palo santo (*Ipomoea arborescens*), brea (*Cercidium sonora*), palo verde (*Cercidium floridum*), palo brasil (*Haematoxylon brasiletto*), ocotillo (*Fouquieria macdougalii*), palo blanco (*Sapium biloculare*), torote prieto (*Bursera laxiflora*), sangregado (*Jatropha cardiophylla*), tepehuaje (*Lysiloma microphyllum*), uña de gato (*Mimosa laxiflora*), y pitahaya (*Stenocereus thurberi*) (Ortega, 2012).

En lo que se refiere al sur del estado, la vegetación asociada al agave corresponde principalmente a la selva baja caducifolia, donde las especies predominantes son el palo santo (*Ipomoea arborescens*), Etcho (*Pachycereus pecten-aboriginum*) y, pitahaya (*Stenocereus thurberi*).

Se debe considerar que el agave tiene una gran capacidad de adaptación a diferentes ecosistemas, tal es el caso, que en la región centro de la sierra de Sonora se encuentra una gran zona de transición ecológica, donde se encuentran mezclas de vegetación del tipo bosque tropical abierto, matorral espinoso y sabana tropical, siendo esta área en la que se observa que la mayor parte de las poblaciones silvestres aun existen (Armenta, 2002).

Época de siembra

La época de siembra del maguey bacanora estará en función de la

disponibilidad de agua de riego o si este cultivo se va a establecer bajo condiciones de temporal, es decir, sin aplicaciones de riego de auxilio.

Sin riego.

En este caso el maguey debe sembrarse al inicio del ciclo de lluvias de verano para aprovechar la mayor cantidad de agua de lluvia para un buen establecimiento y desarrollo de las plantas. Estudios realizados por el INIFAP indican que se requieren de 120 a 140 mm de agua para un óptimo desarrollo del agave. Con base en lo anterior, la época más adecuada para la siembra de maguey es del 15 de julio al 20 de agosto; siembras antes o después de estas fechas tiene un alto riesgo de no prosperar por la baja o nula presencia de lluvia (Cervantes *et al.*, 2007).

Con riego.

La siembra debe realizarse desde mediados del mes de marzo hasta el 20 de septiembre. En siembras antes de marzo, el crecimiento del agave se ve limitado por las bajas temperaturas que se presentan durante noviembre, diciembre, enero, febrero y siembras después del 20 de septiembre tiene el mismo problema.

Ferti-irrigación

El avance de la agricultura en los últimos tiempos, ha estado muy relacionado con el desarrollo paralelo de los sistemas de riego presurizado. En la actualidad la gran escasez del recurso hídrico, típicamente en las regiones áridas, ha ocasionado una deficiente producción agrícola, una alternativa de solución, ha sido la tecnificación del riego, incorporando diseño y operación de los diferentes sistemas de riego.

Aunque la aparición de la mayoría de los sistemas presurizados data de más de 30 años, la extensión a zonas y cultivos cada vez más diversos, no solo ha permitido

un mejor aprovechamiento del agua, sino que se ha conseguido garantizar cultivos y rentabilidades en áreas donde habría sido difícil irrigar por métodos de gravedad.

El aprovechamiento de las ventajas de cualquier sistema de riego depende en gran medida de conocer la cantidad de agua que consumen los cultivos y el momento oportuno para aplicarla, con el objetivo de no perjudicar su rendimiento. En el sistema de riego por goteo, el agua se aporta directamente al pie de cada planta, esto se logra colocando allí los goteros o emisores, que pueden estar integrados en la tubería, o pincharse para colocarse en ellas.

En la actualidad la aplicación de productos químicos a través del sistema de riego es una práctica muy extendida en la horticultura (Herrera y Sammis, 1996). La micro-irrigación, particularmente el riego por goteo, parece ser el método más adecuado para lugares donde la calidad y cantidad de agua son limitantes. Además es posible alcanzar altas eficiencias en el uso de agua y nutrientes en combinación con el sistema de fertilización (Pizarro, 1992). La ferti-irrigación, es además una tecnología compatible con las metas de conservación del agua y protección del ambiente del presente siglo.

Factores que deben considerarse en la aplicación de fertilizantes en el agua:

- 1) La movilidad de los nutrientes en el suelo.
- 2) Calidad de agua de riego y su efecto combinado con el fertilizante.
- 3) Los costos del fertilizante y su efectividad.
- 4) Calendario de demanda de nutrientes del cultivo.
- 5) factores climáticos.

La ferti-irrigación es una magnífica opción para los suelos de textura gruesa donde la lixiviación de los nutrientes es un problema fuerte. Esta metodología ofrece muchas ventajas en comparación con los métodos convencionales; por ejemplo: se reduce la compactación del suelo debido a que se evita el uso de maquinaria pesada,

se requiere menos equipo, energía y labores de campo. El suministro de nutrientes puede ser cuidadosamente regulado y monitoreado y manejado de acuerdo a los requerimientos estacionales de la planta.

El riego por goteo ha avanzado grandemente, sobretodo en cultivos perennes o multianuales, ya que, además de los nutrientes es posible adicionar otros agentes químicos, como por ejemplo pesticidas, a través del agua de riego. Esto reduce grandemente los riesgos de contaminación ambiental (Creighton y Rolfe, 1997).

Para capitalizar estos beneficios es necesario tener un especial cuidado en la selección del fertilizante y equipo de inyección, así como en el manejo y mantenimiento del sistema. La sección e instalación del equipo, es casi tan importante como la selección del fertilizante, una incorrecta selección del equipo de inyección puede causar daños y afectar la operación del sistema de riego, reduciendo también la efectividad de los nutrientes (Creighton y Rolfe, 1997).

Los sistemas de riego han evolucionado a tal grado que hoy en día es posible aplicar el agua junto con fertilizantes en forma precisa y con mejores resultados para el crecimiento de las plantas. La ferti-irrigación o fertigación es un sistema de riego mediante el cual los fertilizantes o elementos nutritivos que necesita una planta se aplican con el agua de riego. Con este método se logra optimizar el agua y los nutrientes, además se asegura la conservación del medio ambiente al reducir la contaminación de las aguas subterráneas por el exceso de nitratos. Los principales nutrientes considerados en ferti-irrigación son nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio, así como fierro, zinc, cobre, manganeso y boro.

Este sistema permite regar una solución nutritiva en forma continua o intermitente, favoreciendo la eficiencia de recuperación de los nutrientes por las raíces de las plantas. En riego presurizado, principalmente goteo y microaspersión, la Ferti-irrigación permite optimizar la tecnología de uso de fertilizantes. La oportunidad o época de aplicación de nutrientes puede ajustarse mejor con relación a

las necesidades de nitrógeno, fósforo y potasio que requieren las plantas, dosificando diariamente las cantidades precisas para los cultivos.

Ventajas de la ferti-irrigación.

- a) Mayor eficiencia en el uso de fertilizantes, gran parte de éstos son utilizados efectivamente por la planta, además existe una mejor distribución del producto.
- b) Adaptación del programa de fertilización a diferentes etapas de desarrollo del cultivo. Las fertilizaciones pueden asimilarse de acuerdo con lo que el cultivo necesita en cada fase de su desarrollo, ya sea en el crecimiento vegetativo, floración o cuajado.
- c) Se requiere menos mano de obra en la aplicación de fertilizantes.
- d) Posibilidad de utilizar fertilizantes líquidos y gaseosos.
- e) Ahorra agua, se mantienen un nivel de humedad en el suelo constante, sin encharcamiento.
- f) Ahorro de fertilizantes debido a una mejor asimilación y distribución de agua y nutrientes.
- g) Aplicación de nutrientes en el momento justo.
- h) Posibilidad de actuar rápidamente ante síntomas de deficiencia.

Precauciones al momento de fertirrigar.

Una primera recomendación es vigilar que las aplicaciones de fertilizantes y otros productos sean bien dosificadas para no producir daño al cultivo. Otra medida recomendable es vigilar las posibles obturaciones en los sistemas de riego causadas por precipitados, producidos por la incompatibilidad de distintos fertilizantes entre sí o porque no han sido bien disueltos. (http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=45&id_art=1040&id_ejemplar=62).

Requerimiento de nutrientes

Los elementos necesarios para el desarrollo de todos los cultivos se agrupan en categorías de acuerdo con la cantidad requerida, macronutrientes: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre; micronutrientes: hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloro. Todos estos elementos excepto el oxígeno, hidrógeno y carbono, son absorbidos casi exclusivamente por las raíces e ingresan al sistema vascular por medio del agua.

Los requerimientos de macronutrientes, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio están determinados por la especie vegetal, por el periodo fenológico y por el nivel de producción esperado.

Nutrientes en el suelo.

Nitrógeno.

Es el elemento más frecuentemente aplicado vía agua de riego. Esto se debe a su alta movilidad en el suelo, por tanto, también existe un alto potencial de pérdida por lixiviación como nitrato (NO_3^-). Ante esta situación la ferti-irrigación permite aplicar los fertilizantes nitrogenados en función de la demanda del cultivo.

Fósforo.

Se encuentra en el suelo en diferentes combinaciones químicas, siendo sus características: baja solubilidad, recuperación por el cultivo muy baja, no se mueve largas distancias de donde es aplicado y por lo tanto no se lixivia. La movilidad del fósforo en el suelo es en términos generales baja, por lo que cuando es aplicado en suelos fijadores, se puede quedar retenido en los primeros centímetros del suelo, sin alcanzar la zona de mayor densidad radicular. Sin embargo, en ferti-irrigación se ha demostrado una movilidad del fósforo aplicado por ferti-irrigación muy superior a la prevista y comparable a la que se consigue con la incorporación por laboreo.

Potasio.

La aplicación del potasio junto con el nitrógeno vía agua de riego, es una práctica bastante utilizada en la agricultura moderna, esto debido a que la mayoría de los fertilizantes potásicos presentan una alta solubilidad. El potasio, es menos móvil que el nitrato y su distribución en el suelo puede ser más uniforme ya que se distribuye lateralmente y en profundidad simétricamente cuando es aplicado por goteo. <http://www.fertitec.com/PDF/Fertirrigacion%20Comex1.pdf>

Para conocer la cantidad de fertilizante que debe aplicarse y la distribución a lo largo de la estación de crecimiento es necesario disponer de información validada para las condiciones locales. La cantidad de nutrientes que requiere un cultivo puede ser suministrada por un fertilizante, por el suelo y por el agua de riego. Es conveniente evaluar el aporte de nutrientes por el suelo y el agua de riego. Para ello, se debe obtener una muestra de suelo o agua según corresponda y enviarla a un laboratorio químico para su análisis.

Sistemas de riego aptos para la ferti-irrigación

La diferencia fundamental entre los diversos métodos de riego es su eficiencia, es decir, qué cantidad del agua aplicada es utilizada directamente por la planta. En cuanto a este parámetro, los métodos de riego superficiales son los menos eficientes, mientras que los de riego presurizado aprovechan casi la totalidad del agua aplicada, resultando los más eficientes. El riego localizado, ya sea goteo, cinta, micro-aspersión o microjet brinda la oportunidad precisa para la aplicación de fertilizantes y agroquímicos mediante el sistema de riego. http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=45&id_art=1040&id_ejemplar=62

Productos más y menos solubles.

- Muy solubles: urea, nitrato de calcio y nitrato de potasio.
- Medianamente solubles: cloruro de potasio, fosfato diamónico y nitrato de amonio.

- Menos solubles: sulfato de calcio, superfosfato triple, superfosfato normal y sulfato de hierro.
- Combinar dos o más fertilizantes puede hacer menos soluble el producto final.
- La solubilidad varía según la temperatura del agua: a mayor temperatura mayor solubilidad.
- Los productos de baja solubilidad o menos solubles no deben ser utilizados en Ferti-irrigación.

Funcionamiento de un sistema de ferti-irrigación

El proceso de ferti-irrigación comienza en el cabezal de riego, donde son mezclados los fertilizantes con el agua a ocupar en el sistema. La solución, que se prepara previamente en un contenedor y que posteriormente es inyectada al sistema a través del venturi, posee una alta concentración y se denomina solución madre. La solución madre se mezcla con el agua de riego formando una solución diluida llamada solución fertilizante, que es la que circula por las tuberías, llega al suelo y nutre la planta.

Inyectores Venturi: Succión por presión negativa

Los inyectores del tipo Venturi son también muy populares y sencillos; son operados por la presión de agua del sistema, no necesitándose fuentes externas de energía. Sin embargo también provocan una pérdida de carga necesaria para que la bomba pueda funcionar. La capacidad de succión varía entre 40 y 100 Lh⁻¹, según la presión de entrada, necesitando un caudal mínimo de agua a través de la bomba entre 0.3 y 1.2 m³ h⁻¹ (Fig.8).

El principio de funcionamiento se basa en la transformación de la energía de la presión de agua en la tubería en energía cinética cuando el agua pasa por la sección

estrangulada del Venturi que nuevamente se transforma en energía de presión cuando vuelve a la tubería principal. Debidamente dimensionado ocasiona la succión del fertilizante, colocado en un contenedor y su distribución en la red de riego. Consiste en un estrechamiento en la corriente de agua, de modo tal de causar cambios en la velocidad de la corriente y la presión. Las medidas de estrechamiento y ensanchamiento de la pieza son tales que provocan un cierto vacío en determinada zona, donde se conecta un tubo que absorbe la solución fertilizante de un contenedor abierto. El equipo está instalado en la línea, y a través del mismo pasa todo el caudal, esto implica que el equipo sea construido con materiales resistentes a la corrosión y fricción.

Las ventajas de este equipamiento son la construcción sencilla, sin piezas móviles. No se necesita una fuente de energía especial, es relativamente barato. El uso de un contenedor abierto permite elasticidad y comodidad. Cuando se opera en condiciones definidas de presión/caudal, se obtiene una proporción de dilución constante.

Como limitantes puede presentarse una sensible pérdida de presión provocada por el equipo, comenzando por 20 m. El margen de operación es muy limitado, es decir una pequeña diferencia en la presión o el caudal complica la operación. Implica también una unión de circunvalación con el objeto de impedir pérdidas de presión en el caso en que no sea usado durante el riego. Por este motivo su uso es limitado.

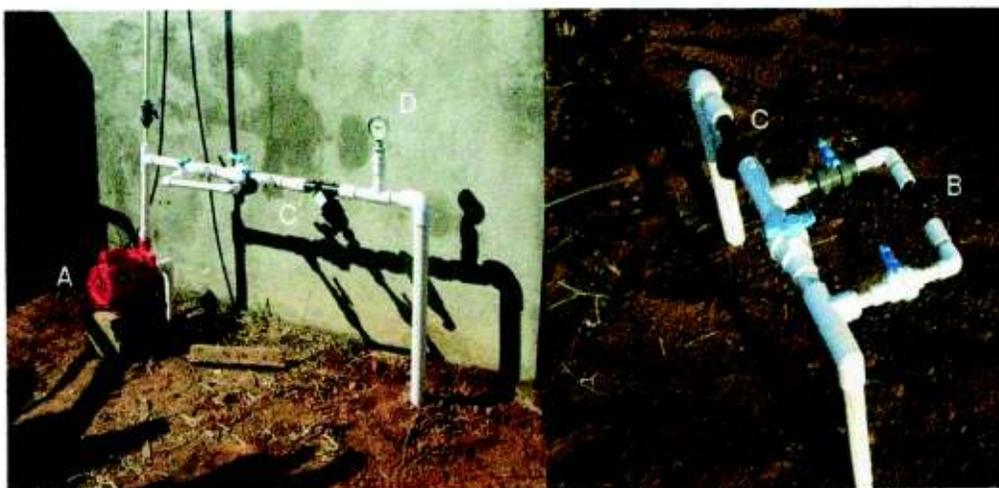


Figura 8.- Diseño básico de un cabezal de control con Venturi. Bomba (A), Venturi (B), filtro (C), manómetro (D).

Riego programado de precisión

¿Cuanta agua requiere una planta para un desarrollo adecuado?, es una interrogante frecuente y que no tiene como respuesta un valor fijo, sino que será muy dependiente de factores que se involucran con las condiciones específicas de la planta. El concepto de evapotranspiración (ET) define el agua que pasa a la atmósfera, tanto del suelo como de la planta y se usa ampliamente en la calendarización de los riegos (Yescas, 1985; Búrquez, 1995; Hochmuth, 1995).

La programación del riego permite asegurar condiciones de disponibilidad óptima de agua para el cultivo, al combinar una o más formas de medir o estimar los requerimientos hídricos de las plantas. Los especialistas consideran al riego programado de precisión como una parte fundamental de la ferti-irrigación. Entre las diversas técnicas para determinar con precisión los requerimientos hídricos están:

- a) Las mediciones esporádicas del contenido de agua en el suelo, ya sea con métodos directos, como muestreo, secado y peso, o indirectos, como aspersion de neutrones o la capacitancia eléctrica.

- b) El uso de tensiómetros o las conductancias eléctrica (bloques de yeso o teflón poroso) o térmica.
- c) La estimación de la demanda evaporativa de la atmósfera, con mediciones de parámetros del microclima realizadas por estaciones meteorológicas automáticas.
- d) La determinación continua del estado energético del agua en la planta, por medio de termómetros electromagnéticos infrarrojos y otras técnicas de percepción remota.

http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=45&id_art=1040&id_ejemplar=62

Estado actual del conocimiento de *Agave angustifolia*.

Desde épocas remotas las plantas de agave, o de maguey como comúnmente se les llama en México, han representado una gran fuente de alimento, fibra, medicamentos, usos en la construcción, ornatos, forraje y fuente de bebidas. El aprovechamiento de estas plantas fue de vital importancia para los grupos indígenas asentados en las zonas semiáridas del México antiguo, en lo que actualmente es el Noroeste de México y Suroeste de Estados Unidos (Cervantes-Ramírez, 2002).

Entre las culturas prehispánicas que habitaban en la costa del pacífico mexicano, desde Sonora hasta Oaxaca, era muy común el consumo de bebidas fermentadas preparadas a partir de agaves, los cuales se bebían principalmente durante las ceremonias religiosas. Sin embargo, con la introducción de la técnica de destilación por los misioneros españoles en el siglo XVI, las bebidas fermentadas se sustituyeron por los destilados de agave, los cuales, desde entonces han evolucionado en diferentes productos destacando entre ellos el tequila, el mezcal y el bacanora (Balls, 1962; Gentry, 1982; Canizales y Moreno 1995; Valenzuela, 1995, citados por Moreno-Salazar, 1995).

El bacanora es la bebida típica del estado de Sonora y su nombre no tiene relación con el producto en sí, sino que lo toma de un poblado situado en la sierra Este de Sonora; además su origen está asociado a la cultura Ópata que se desarrolló

en esas regiones. Existen algunos manuscritos, redactados por los misioneros Jesuitas, a partir de los cuales puede establecerse que los Ópatas elaboraban una bebida fermentada de maguey cocido, la cual comenzó a destilarse en la segunda mitad del siglo XVIII (Bahre, 1980, citado por Moreno-Salazar, 2001).

Este destilado sería conocido posteriormente con el nombre de bacanora. Después de estos reportes no se tiene conocimiento acerca de la evolución que siguió la elaboración del bacanora, pero se puede inferir que se mantuvo una producción moderada, pues a principios del siglo XX existía en Sonora una incipiente industria dedicada a esta actividad (Moreno-Salazar, 2001).

En el año de 1899 a solicitud del Gobierno Federal, se realizó un censo de las fábricas de bebidas alcohólicas existentes en Sonora y en la relación, que fue publicada hasta 1901, se registraron 68 productores diseminados en la mayor parte del territorio sonorense. Posteriormente en el año de 1915, la Tesorería General expidió un documento por medio del cual se otorgaron 4 permisos para destilar el llamado hasta entonces como "aguardiente mezcal". Esos permisos fueron otorgados a productores de Baviácora, Nuri, Arizpe y Caborca. No obstante estos importantes avances, el 8 de agosto de 1915 el Gobernador de Sonora, General Plutarco Elías Calles, prohibió la manufactura y comercialización de bebidas alcohólicas en el Estado. Bajo este ordenamiento jurídico, conocido como ley seca, desaparecieron las plantas destiladoras y durante muchos años la Acordada, integrada por policías judiciales, se encargó de localizar y destruir las destilerías clandestinas (vinatas), deteniendo y encarcelando a quienes producían el bacanora y aun mas, de acuerdo a entrevistas personales con antiguos productores, se llegaba al exceso de ahorcarlos como una medida para desalentar esta actividad.

A pesar de lo anterior, la producción de bacanora continuó, aunque en forma clandestina y en pequeña escala, manteniendo así la tradición y el gusto por esta bebida. Sin embargo, como los llamados mezcaleros o vinateros se vieron en la necesidad de mantener en secreto la ubicación de sus vinatas, durante el transcurso de

los años se dio un considerable retroceso en la técnica y equipo empleado para la elaboración del bacanora (Canizales-Curiel, 1995; Moreno-Salazar, 1999).

Décadas más tarde, en 1963 en el diario oficial de la federación se publicó el reglamento Sanitario de Bebidas Alcohólicas y dentro del capítulo III relativo a bebidas alcohólicas destiladas, se reconoció y reglamento al bacanora como una bebida regional. Esta disposición del Gobierno Federal en su momento pudo haber significado el soporte legal para el inicio de la agroindustria del bacanora en Sonora, introduciendo reformas a la ley estatal de alcoholes y promoviendo su desarrollo. No obstante su producción siguió sancionada por la costumbre, permaneció estancada y continuo de manera irregular.

Finalmente en el año de 1992, el Gobierno del Estado por primera vez contempla la situación del bacanora en el marco jurídico de la entidad legalizando la operación de establecimientos destinados a la fabricación, envasado, distribución, guarda, transporte y venta de bacanora.

Problemática asociada con la producción

El escaso dinamismo de la economía, los bajos niveles de la ocupación de las actividades productivas y el aislamiento de las zonas serranas de Sonora, han propiciado la migración de sus habitantes en busca de mejoras alternativas de bienestar. La perspectiva anterior, resalta la necesidad de crear o fomentar nuevas actividades económicas que signifiquen opciones de desarrollo para la sierra. En este sentido, una de las actividades de la región con alto potencial de crecimiento es la producción de bacanora.

Tomando en consideración todo lo anterior, en 1992 se legalizó la producción de bacanora y como consecuencia de ello, se instaló una planta industrial de mediana

capacidad, una envasadora y se registraron alrededor de 750 pequeños productores artesanales de la bebida.

La elaboración del bacanora data desde el siglo XVII, pero los mayores niveles de producción se dieron a principios del presente siglo; a raíz de la ley seca decretada en 1915 la producción de esta bebida quedó prohibida. Esto propició la proliferación de rudimentarias vinatas clandestinas y un considerable atraso tecnológico en el proceso y cultivo de *A. angustifolia* Haw, la materia prima para su elaboración.

Desafortunadamente la legalización de la bebida no fue acompañada de un plan de manejo y mucho menos de un programa de cultivo de *A. angustifolia* Haw, por lo que se siguió con la explotación silvestre. Todo esto, ha ocasionado un constante descenso y deterioro en las poblaciones de este recurso, así como una irreparable pérdida de biodiversidad y germoplasma valioso; ya que si bien es cierto, la distribución del maguey de bacanora ocurre en varios municipios de la entidad, las poblaciones se encuentran totalmente dispersas y es prácticamente imposible satisfacer la demanda actual.

Aun más, se ha estimado que si la demanda sigue aumentando y no se implementan rápidamente programas de cultivo intensivo y acciones que regulen el aprovechamiento del recurso silvestre, al cabo de unos cuantos años se podría categorizar al maguey como una especie en peligro de extinción.

Actualmente ya se han iniciado con los primeros esfuerzos para la propagación y domesticación de la especie en condiciones de riego y temporal pero debido a las severas condiciones de sequía que en los últimos años han azotado a Sonora, la implementación de cultivos de maguey en condiciones de riego rodado es muy limitada y poco probables y por otro lado la productividad de la especie en temporal es menor. De aquí la importancia de evaluar y promover la aplicación de tecnologías de cultivo más eficientes en el uso del agua y nutrientes.

El potencial económico de la industrialización del bacanora puede ser similar al que han tenido las industrias del tequila y el mezcal en Jalisco y Oaxaca respectivamente, ya que la cultura de elaboración del bacanora se extiende a 35 municipios de Sonora (DOF, 2000; Moreno-Salazar, 2006), además de que como se ha apuntado antes, la calidad obtenible puede compararse a la de los mejores tequilas de Jalisco (Cervantes-Ramírez, 2002).

MATERIALES Y METODOS

El trabajo se realizó en plantaciones experimentales de *A. angustifolia* Haw., establecidas en los Municipios de Villa Pesqueira (Mátape) y Mazatán, Sonora (Fig. 9).



Figura 9.- Sitios experimentales, en los municipios de Villa Pesqueira y Mazatan, Sonora.

Se hizo la selección, división de parcelas experimentales y distribución de tratamientos, así como la instalación, puesta en marcha y calibración del sistema de riego. Se instaló también una estación meteorológica en el municipio de Villa Pesqueira, contando con los registros a 10 minutos de: temperatura máxima, mínima y promedio, radiación solar, humedad relativa máxima, mínima y promedio, así como velocidad y dirección del viento.



Figura 10.- Estación meteorológica automatizada, en sitio experimental de Mátape, Sonora.

Selección del Material Vegetativo

El material vegetativo que se utilizó es proveniente del vivero de la Universidad de la Sierra (Moctezuma, Sonora), donde se produjo a partir de semilla y fue trasplantado con un año de edad (Fig. 11). Para disminuir el efecto de la variabilidad intrínseca al origen, se seleccionaron plantas con un tamaño uniforme, descartando aquellas con demasiado crecimiento para el promedio, o bien demasiado pequeñas.



Figura 11.- Selección de plantas proveniente de vivero (Universidad de la Sierra. Moctezuma, Sonora).

La densidad de plantación utilizada fue de 2500 plantas/ha con distancias de 2 m entre hileras y 2 m entre planta y planta. La distribución de los tratamientos se hizo completamente al azar.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar en arreglo factorial 5x3 evaluando el efecto de:

- 5 niveles de riego por goteo: “0, 12.5, 25, 37.5 y 50%” de reposición de agua perdida por evapotranspiración, en base bisemanal.
- 3 niveles de N “0, 75 y 250 kg · ha · año⁻¹”

Climatología

La cuenca del río Mátape presenta los climas seco (BS) y muy seco (BW), con una importante variabilidad en temperatura y precipitación anual las temperaturas de aire de acuerdo a las normales meteorológicas son en promedio para toda la cuenca de 13.3, 38.5 y 25.9 °C mínimas, máximas y medias respectivamente. En el caso de la precipitación media anual es esta de 474 mm, donde la lluvia veraniega representa el 75% del total. (Cuadro 3). La figura 12 muestra la distribución de los climas, observándose que en parte norte de la cuenca se localizan BS, que corresponden a sitios más húmedos y con menores temperaturas del aire. Mientras que en la parte sur de la cuenca se localiza el clima BW, con temperatura más alta y menor precipitación. Los climas BS ocurren en el 44% de la superficie, mientras que los BW en el 56% (Cuadro 2). Dentro de esta cuenca el área de estudio corresponde a los municipios de Mazatán, Villa Pesqueira y La Colorada, donde todas presentan clima BS, con sus variantes en precipitación variando de BS1 para los primeros municipios y BS0 para el último municipio.

Cuadro 2.-Climas del área de estudio en la cuenca del río Mátape.

Climas	Características	Superficie (ha)
BS: seco o árido.	Bs1: semiseco (el menos seco de los Bs) hw: semicálido y lluvia en verano. (x'): Lluvias en verano pero con %PI >10.2. Kw(x'): Templado con verano cálido y lluvias en verano Bs0: seco(el más seco de los Bs) (h')hw : cálido pero Lluvioso en verano h(h)w : semicálido con una temperatura > 18°C hw : semicálido y lluvias en verano. hw(x'): Lluvias en verano.	397,621 (44%)
BW : muy seco muy árido.	(h')hw : cálido pero con lluvias en verano. hw : semicálido con lluvias en verano.	505,520 (56%)

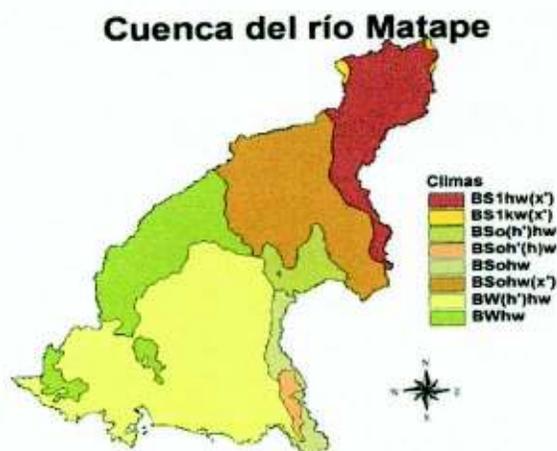


Figura 12.- Climas de la cuenca del río Mátape en Sonora México.

Cuadro 3.-Climatología de estaciones termopluviométrica de CONAGUA en la cuenca del río Mátape en Sonora

C_Estacion	N_Estacion	Lon	Lat	Elev	Tmx	Tavg	Tmin	PTMA	P_Ver	P_Inv	%Ver
26046	La Colorada	-110 5767	28 8019	390	30 20	22 70	15 20	343 80	258 00	79 40	75 04
26052	Mazatan	-110 1378	29 0036	540	29 90	20 30	10 80	526 90	407 10	111 70	77 26
26073	P Agua	-110 3697	28 4442	245	32 90	24 30	15 60	266 30	210 40	52 20	79 01
26088	S P Cueva	-109 7333	29 2833	319	32 50	22 80	13 10	505 70	367 10	126 90	72 59
26165	Torres	-110 7500	28 7667	255	33 10	23 30	13 60	342 50	249 50	90 20	72 85
26199	P Alamos	-110 1403	29 2044	580	30 60	21 40	12 10	518 90	383 50	126 10	73 91
26201	Tecona	-109 9525	28 6250	410	30 80	22 00	13 10	568 90	441 40	114 10	77 59
26223	P Agua II	-110 3100	28 4733	250	32 90	22 80	12 50	449 30	344 40	96 90	76 65
26240	Matape	-109 9661	29 1139	745	29 90	21 80	13 80	669 60	497 50	161 80	74 30
26244	R Viejo	-110 3147	29 1267	450	30 70	22 00	13 30	476 50	371 40	97 20	77 94
26256	Cobachi	-110 2500	28 8967	450	32 30	22 00	11 70	592 80	421 60	166 30	71 12
26268	S J Pima	-110 3483	28 7133	340	32 40	23 20	14 10	503 80	374 10	119 40	74 26
26272	Suaqui DGE	-109 8903	28 3947	235	32 50	23 20	13 80	405 50	317 10	76 50	78 20

En el Cuadro 3 se observan los valores medios anuales son de 29.9, 13.8 y 21.8°C para temperaturas máximas, mínimas y promedio respectivamente, y la Figura 14 muestra las normales meteorológicas de la estación 26240 del municipio de Mátape. En ella se observa que las temperaturas máximas ocurren al final de la primavera (junio), con valores de 36.8°C y valores máximos extremos de 44°C. Mientras que las temperaturas mínimas ocurren a principios de invierno (enero), con valores de 8.3°C y valores mínimos extremos de -1.0°C. En el caso de la precipitación, su lluvia media anual es de 669.6mm, donde el 74% cae en verano (junio-septiembre), pero el mes más

lluvioso es agosto con valor promedio de 190 mm y el resto en otoño-invierno. Existe una marcada estación de estiaje en primavera, pero lluvias ocasionales en esta estación producen una buena presencia de especies vegetales forrajeras.

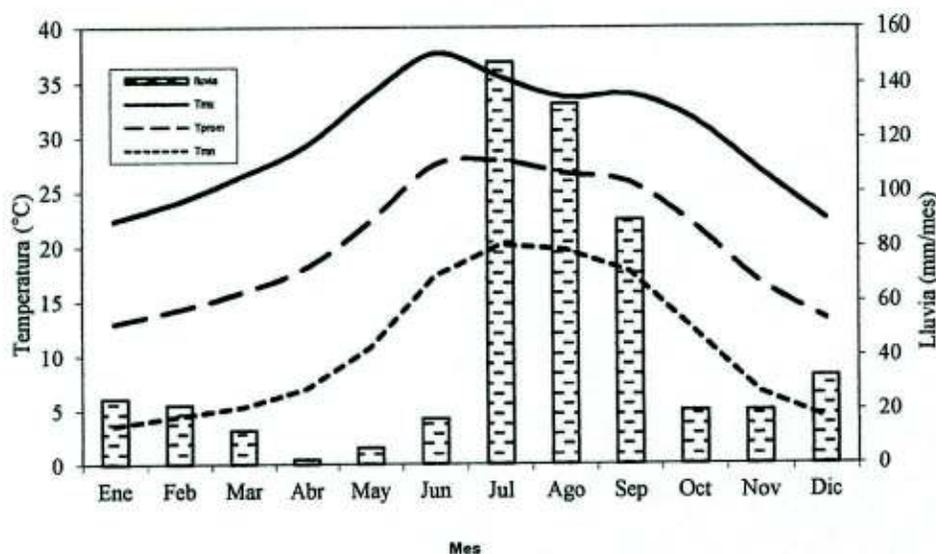


Figura 13.- Normales Meteorológicas de la estación 26052, Mazatán, Sonora, México. Tmx: Temperatura Máxima, Tprom: Temperatura Promedio, Tmn: Temperatura Mínima.

En el cuadro 3 se observa que los valores medios anuales son de 29.9, 10.8 y 20.3°C para temperaturas máximas, mínimas y promedio respectivamente, así mismo, la Figura 13 muestra las normales meteorológicas de la estación 26052 del municipio de Mazatán, en ella se observa que las temperaturas máximas ocurren al final de la primavera (junio), con valores de 37.7°C y máximas extremas de 46.5°C. Por su parte las temperaturas mínimas ocurren a principios de invierno (enero), con valores de 3.6°C y mínimas extremas de 3.8°C bajo cero (-3.8°C). En el caso de la precipitación, su lluvia media anual es de 526.9mm, donde el 77% cae en verano (junio-septiembre), pero el mes más lluvioso es agosto con valor promedio de 147.7 mm y el resto en otoño-invierno. Existe una marcada estación de estiaje en primavera, pero lluvias ocasionales en esta estación producen una buena presencia de especies con buena capacidad forrajeras como son: palo verde (*Cercidium microphyllum*), mezquite (*Prosopis juliflora*) y tepehuaje (*Lysiloma watsonii*).

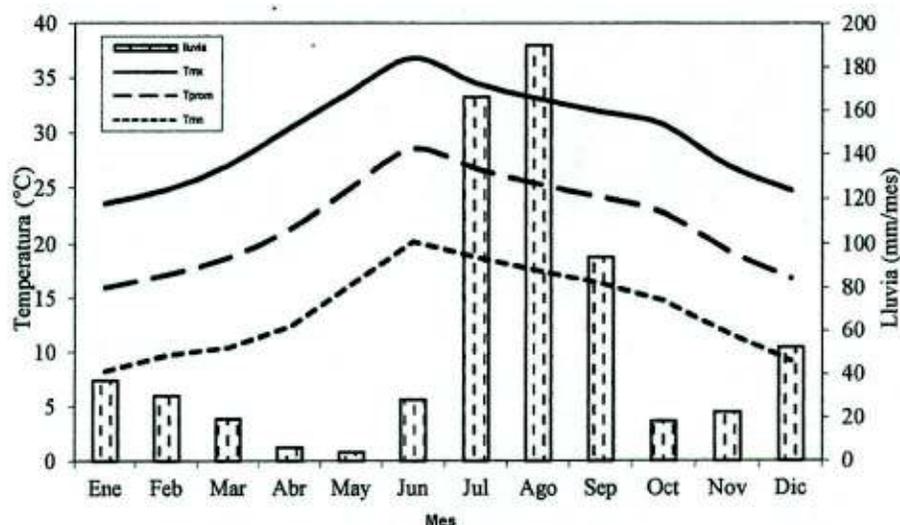


Figura 14.- Normales Meteorológicas de la estación 26240, Mátape, Sonora, México. Tmx: Temperatura Máxima, Tprom: Temperatura Promedio, Tmn: Temperatura Mínima.

En el Cuadro 3 se observa que los valores medios anuales son de 30.2, 15.2 y 22.7°C para temperaturas máximas, mínimas y promedio respectivamente, y la Figura 15 muestra las normales meteorológicas de la estación 26046 del municipio de la Colorada. En ella se observa que las temperaturas máximas ocurren al final de la primavera (junio), con valores de 37.7°C y valores máximos extremos de 48.0°C. Mientras que las temperaturas mínimas ocurren a principios de invierno (enero), con valores de 8°C y valores mínimos extremos de -3.0°C. En el caso de la precipitación, su lluvia media anual es de 343.8mm, donde el 31% cae en verano (junio-septiembre) y parte de octubre, pero el mes más lluvioso es agosto con valor promedio de 105.7 mm y el resto en otoño-invierno. La evapotranspiración máxima ocurre en los meses de (mayo-junio) la mínima ocurre en los meses de (enero – febrero) existe una marcada estación de estiaje en primavera, aunque con lluvias ocasionales.

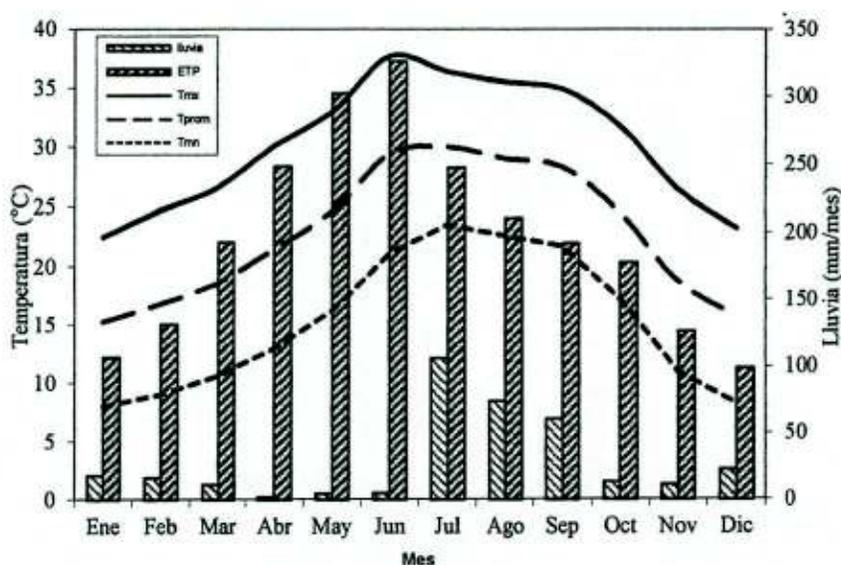


Figura 15.- Normales Meteorológicas de la estación 26046, La Colorada, Sonora, México. Tmx: Temperatura Máxima, Tprom: Temperatura Promedio, Tmn: Temperatura Mínima.

Variables registradas

- El número de hojas desenvueltas por mes, como una medida indirecta no destructiva del incremento en biomasa de la planta.
- La eficiencia en el uso del agua.
- La eficiencia en el uso de nitrógeno.

Los niveles de irrigación se aplicaran en base a la evapotranspiración potencial determinada mediante la ecuación de Penman-Monteith, FAO56

El cálculo de la evapotranspiración de referencia (ET_o) y Coeficiente de cultivo (K_c) fue realizado utilizando las ecuaciones propuestas por Allen *et al.* (1998) y Doorenbos y Pruitt (1977)

(1)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$$

donde; ET_0 = evapotranspiración de referencia (mm día^{-1}), R_n = radiación neta ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), G = flujo de calor del suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$), T es la temperatura del aire promedio diario ($^{\circ}\text{C}$), Δ es la pendiente de la curva de presión a saturación a T ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), γ es la constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$), e_s = presión de saturación del vapor a T (kPa), e_a = presión de vapor promedio diario (kPa), u_2 es la velocidad de viento promedio diario a 2m de elevación (m s^{-1}).

Eficiencia en el uso de los insumos

Para determinar la eficiencia en el uso de los recursos se obtuvieron los siguientes parámetros:

EUN (Eficiencia en el uso del nitrógeno) y EUA (Eficiencia en el uso del agua)

Para determinar la EUN se usó la ecuación:

$$EUN = \text{Numhojas}_i / \text{Dosis } N_i \quad (2)$$

donde:

Numhojas_i = Numero de hojas desenvueltas en la repetición i

$\text{Dosis } N_i$ = Nitrógeno aplicado en la repetición i , en kg ha^{-1}

El cálculo de la EUA se hizo con la ecuación:

$$EUA = \text{Numhojas}_i / W_i \quad (3)$$

donde:

Numhojas_i = Numero de hojas desenvueltas en la repetición i

W_i = Cantidad de agua usada en la parcela i en mm de lámina

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del suelo

En el cuadro 4 se muestran las condiciones físico-químicas del suelo en los primeros 30 cm de profundidad, para las parcelas establecidas en las localidades de Mátape y Mazatán, Sonora. Es posible notar que las características de pH cercano a la neutralidad, textura media, conductividad eléctrica (CE) menor de 2 dS m^{-1} y una capacidad de intercambio de cationes (CIC) mayor de $15 \text{ cmol}^{(+)} \text{ kg}^{-1}$, corresponden a los encontrados en diversos sitios donde generalmente se distribuye *A. angustifolia* (Nobel, 1988; Armenta, 2002; Ochoa-Meza *et al.*, 2009) o bien se mencionan como deseables para el establecimiento de plantaciones de *Agave* (Bautista-Cruz *et al.*, 2007; Cervantes *et al.*, 2006).

Los valores de materia orgánica menor del 1%, son los característicos de suelos que soportan la selva baja caducifolia con precipitaciones menores de los 600 mm por año, lo que es producto de la lenta velocidad de intemperización de la materia orgánica (Castellanos *et al.*, 2000). Estos valores contrastan por su parte con los obtenidos por Ochoa-Meza *et al.* (2009) quienes reportan valores mayores del 3% en suelos del municipio de Nácori Chico donde también desarrolla con éxito *Agave angustifolia*.

La disponibilidad de macronutrientes es ligeramente menor a los valores reportados por Bautista-Cruz *et al.* (2007) para un adecuado desarrollo de *Agave* en Oaxaca, sin embargo en nuestro ensayo no se detectaron síntomas de deficiencia de fósforo o potasio en las plantas establecidas. De igual manera no se detectaron a simple vista, deficiencias por micronutrientes como hierro, zinc o cobre, mismos que no se analizaron para este estudio.

Cuadro 4.-Condiciones fisico-quimicas de suelo en las parcelas de Matape y Mazatán, Son.

MUESTRA	-----ppm (mg/kg suelo)										CIC	% Cationes Intercambiables					% SAT	pH	C.E. dS m ⁻¹	M.O. (%)
	N- NO3	P	Ca	Mg	Na	K	Cmol +kg ⁻¹	Ca	Mg	Na		K								
MAZATAN 1	27,0	25,1	1431	185	255	439	10,9	65,5	14,1	10,1	10,3	24,3	6,6	1,3	1,65					
MAZATAN 2	20,8	5,4	1138	169	239	369	9,1	62,6	15,5	11,4	10,4	20,0	6,7	1,07	0,46					
MATAPE 1	15,2	3,74	3027	1399	324	176	28,6	52,8	40,7	4,9	1,6	40,7	6,3	0,96	0,96					
MATAPE 2	18,4	2,94	4209	634	251	157	27,8	75,6	19,0	3,9	1,4	36,7	7,2	0,78	0,96					

Características climáticas

Temperatura y humedad del sitio.

La figura 16 muestra el comportamiento diario de las temperaturas del aire. En ella se observa que las temperaturas mínimas alcanzaron valores negativos (-5.6 C) durante el invierno 2010-2011, lo cual produjo daño en las plantas de maguey bacanora. Las temperaturas máximas en ambos veranos fueron similares y no tienen impacto sobre el crecimiento de la planta.

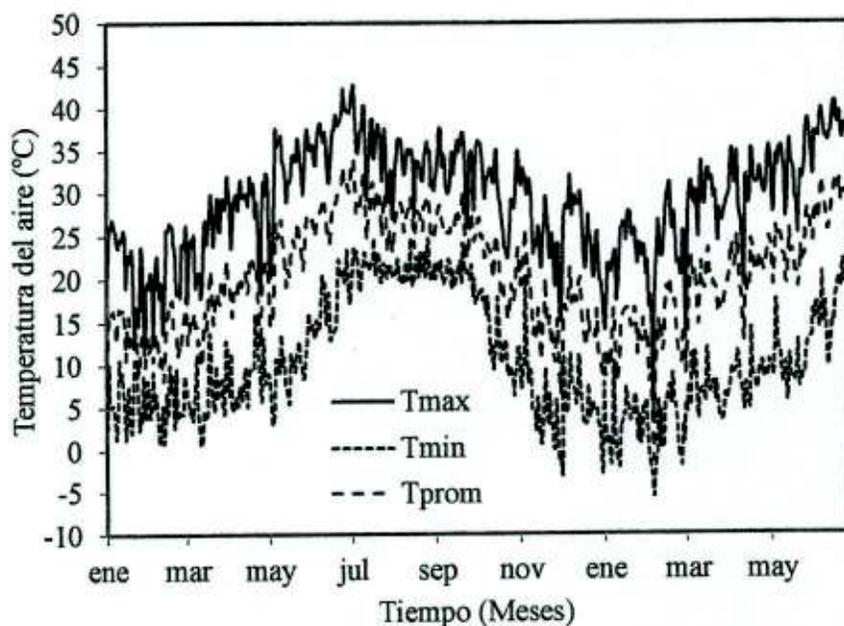


Figura 16.- Comportamiento diario de la temperatura del aire en parcela experimental de Mátape Sonora, 2010 y 2011

La figura 17 muestra la evolución diaria de la humedad relativa, observándose en ella una importante variación de esta durante el periodo de estudio, la cual se minimiza durante la temporada de lluvias.

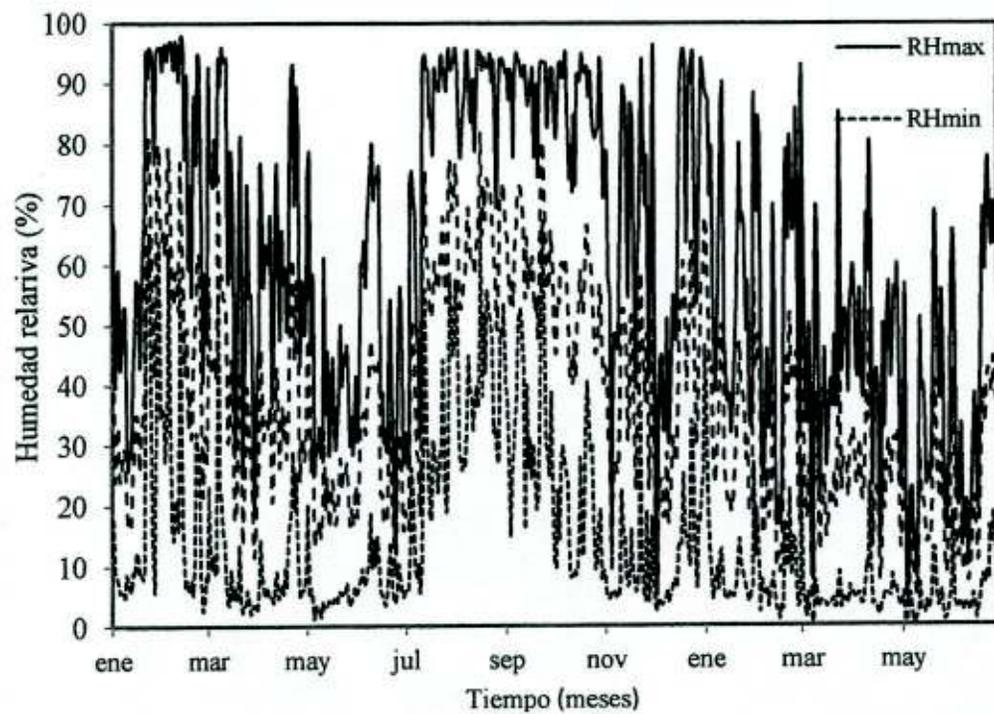


Figura 17.- Comportamiento diario de la humedad relativa del aire en parcela experimental de Matape, Sonora, 2010 y 2011.

Precipitación.

En la figura 18 se muestra la precipitación diaria. En ella se observa que la estación de lluvia ocurre en verano y durante el 2010 esta fue de 343 mm, inferior a la media histórica de 497. Asimismo, la total anual fue de 393 mm, siendo por debajo de la media anual de 670mm.

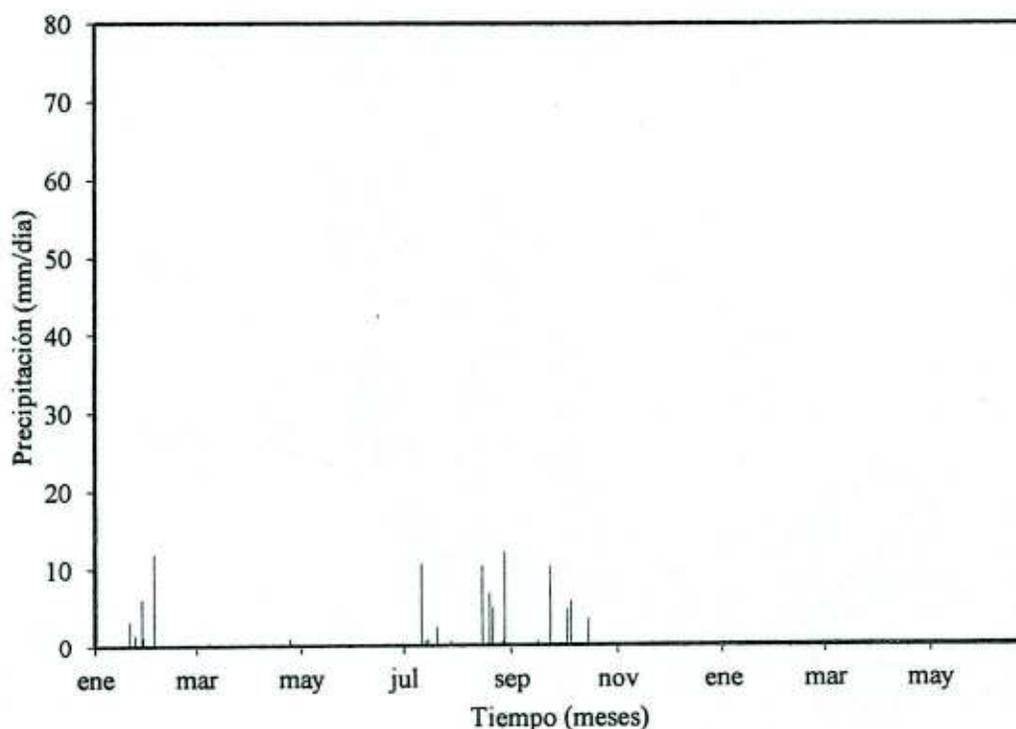


Figura 18.- Comportamiento diario de la precipitación en parcela experimental de Matape Sonora, 2010 y 2011.

Radiación solar.

La figura 19 muestra el comportamiento de la radiación solar. En ella se observa que las mínimas y máximas en los inviernos y primaveras consecutivos presentan un comportamiento similar. Estos valores observados mínimos en días despejados de $15.5 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ son similares a los valores observados en la estación meteorológica del Departamento de Agricultura y Ganadería (<http://dagus.uson.mx>). De igual manera los valores máximos observados de $30 \text{ MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ son similares a

los valores observados en el sitio antes mencionado, dado que ambos lugares se ubican a latitudes similares. Con respecto a la altitud y turbiedad de la atmosfera como aspectos que modifican la cantidad de radiación que alcanza la superficie, se observa que no tienen un serio impacto a pesar de estar a diferente altitud y por lo consiguiente espesor óptico.

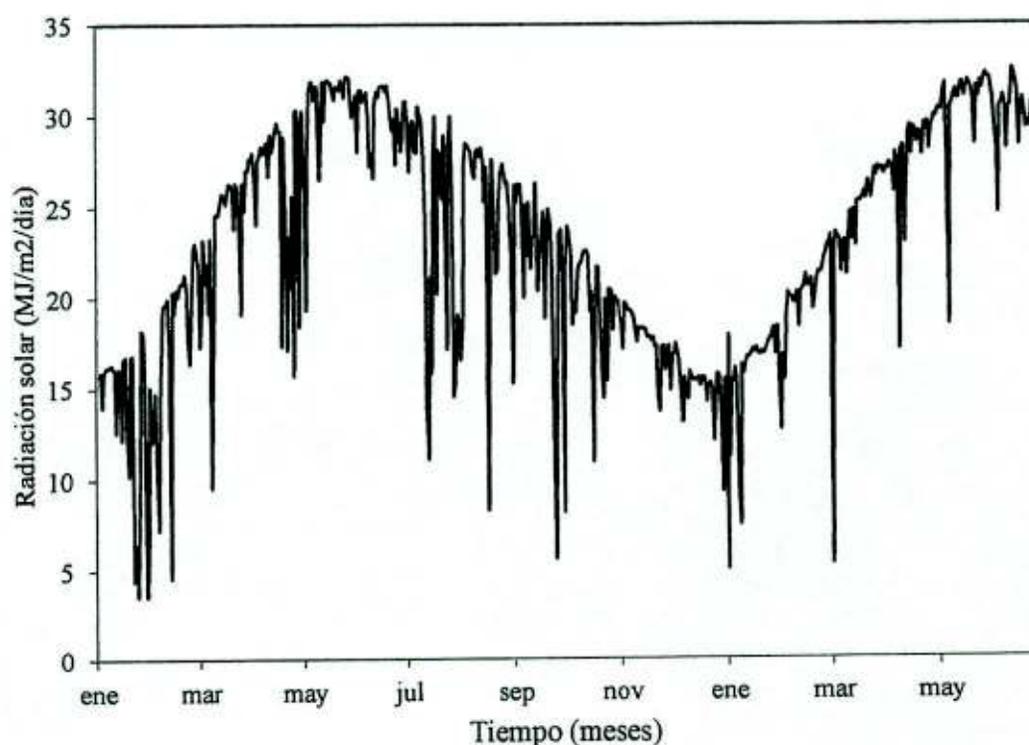


Figura 19.- Comportamiento diario de la radiación solar en parcela experimental de Matape Sonora, 2010 y 2011

Vientos.

La figura 20 muestra el comportamiento de los vientos. En ella se observa que la velocidades mínimas y máximas promedio diarias se presentan en primavera y verano, respectivamente. Con respecto a la dirección de los vientos se observa una dominancia de estos de la dirección Sur y Suroeste. Asimismo, se observa que los vientos provenientes del Este están asociados a bajas velocidades y a las estaciones de otoño e invierno. Lo anterior es consistente con lo reportado por Douglas *et al.*

(1993), sobre la dominancia de los vientos de la costa a montaña durante el verano y generalmente perpendiculares a la sierra madre occidental. También se observa que el comportamiento diario de la velocidad del viento se incrementa con la radiación solar, para disminuir con la disminución de esta; de igual manera la dirección del viento cambia con el calentamiento de la superficie y durante el día existiendo dominancia de Sur a Oeste.

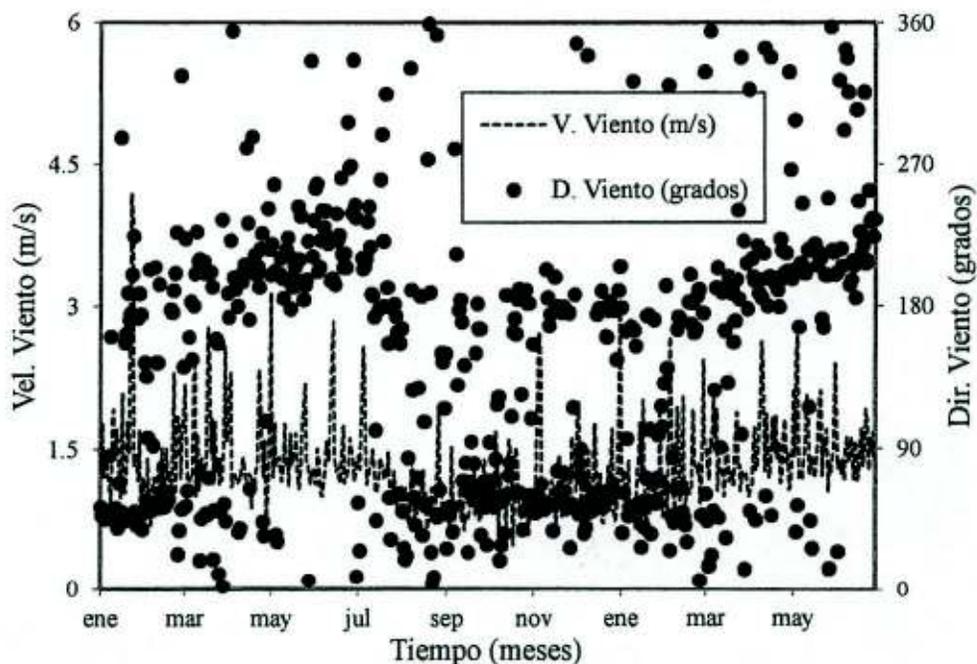


Figura 20.- Comportamiento diario de la velocidad y dirección del viento en parcela experimental de Mátape Sonora, 2010 y 2011.

Evapotranspiración de referencia (ET_0).

La ET_0 es la demanda de agua por la atmósfera, y es uno de las principales variables involucradas en la determinación de la cantidad de agua a aplicar a los cultivos a diferentes escalas de tiempo. La figura 21 muestra el comportamiento de la ET_0 a escala de tiempo diaria en mm día^{-1} . En ella se observa que ésta varía con la radiación solar (Fig. 19), teniendo sus valores mínimos en invierno y máximos en primavera. Estos valores observados son similares a los reportados por Rodríguez *et al.* (2010) y Er-Rakiet *et al.* (2010), en la Costa de Hermosillo y Valle del Yaqui en

Sonora, esto es debido a que se encuentran en latitudes similares y el principal elemento del clima utilizado en la aproximación de Penman-Monteith-FAO56 es la radiación solar.

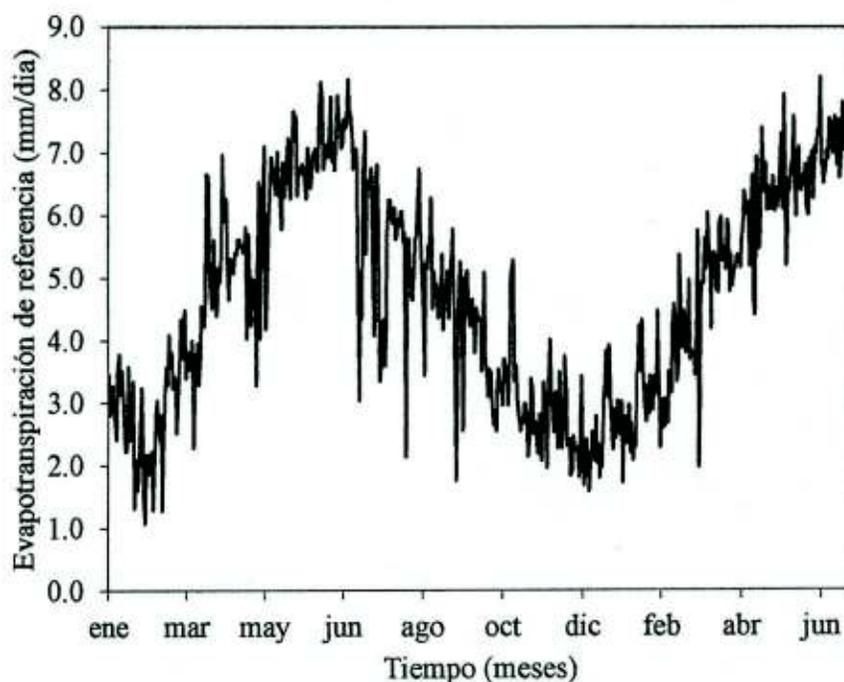


Figura 21.- Comportamiento diario de la evapotranspiración de referencia en parcela experimental de Mátape Sonora, 2010 y 2011.

Tasa de sobrevivencia de plantas de maguey bacanora.

Como fue mencionado en la sección de materiales y métodos, las plantas de maguey fueron trasplantadas cuando tenían 18 meses, una altura media de 0.35 m y entre 5 y 6 hojas. La figura 22 muestra la sobrevivencia de magueyes a 6 meses de trasplante bajo el esquema de riego planteado. En ella se observa que las plantas trasplantadas sin riego muestran una mortalidad de casi 15%, mientras que de las que recibieron el 50% de la ET_0 murieron el 10%. Asimismo, se observa que los tratamientos entre el 12.5 y 37.5% de agua tuvieron la máxima tasa de sobrevivencia. En el caso de la nutrición, esta no presentó efecto sobre la sobrevivencia

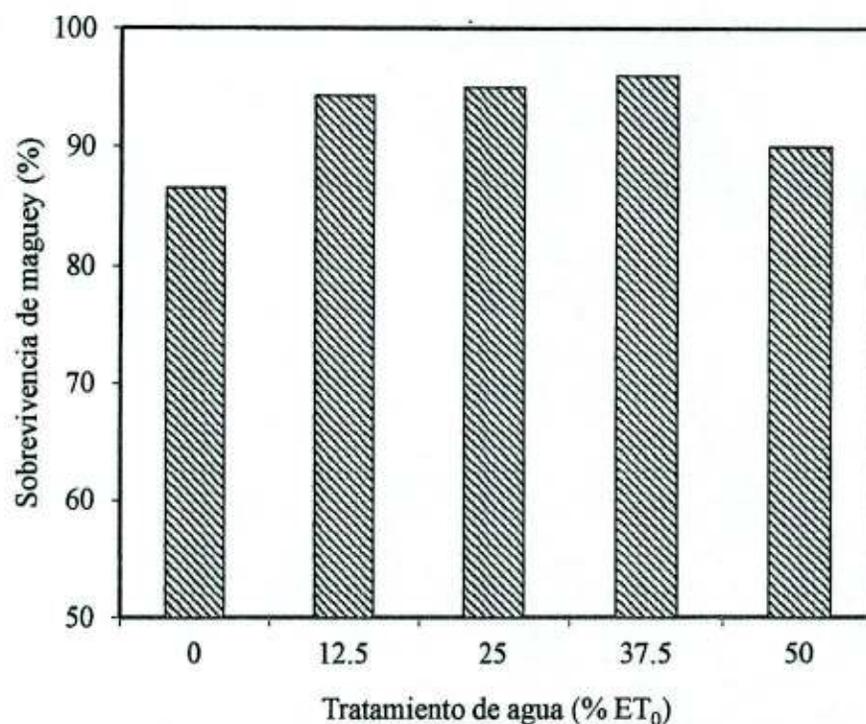


Figura 22.- Efecto del riego en la sobrevivencia de maguey bacanora trasplantado.

En la Figura 23 es posible notar que la aplicación de riego es importante, aunque sin exceder un cierto límite (25% de la ET_0), ya que niveles mayores que éste retrasan la emisión de nuevas hojas, se vio también que el estado general de las plantas fue mejor (observaciones no cuantificadas), mientras que con la tasa menor de reposición (12.5%) o el no riego, se observaron reducciones en el grosor de la parte basal de las hojas, especialmente durante los meses más secos del año (primavera para estos ensayos).

R15T140018

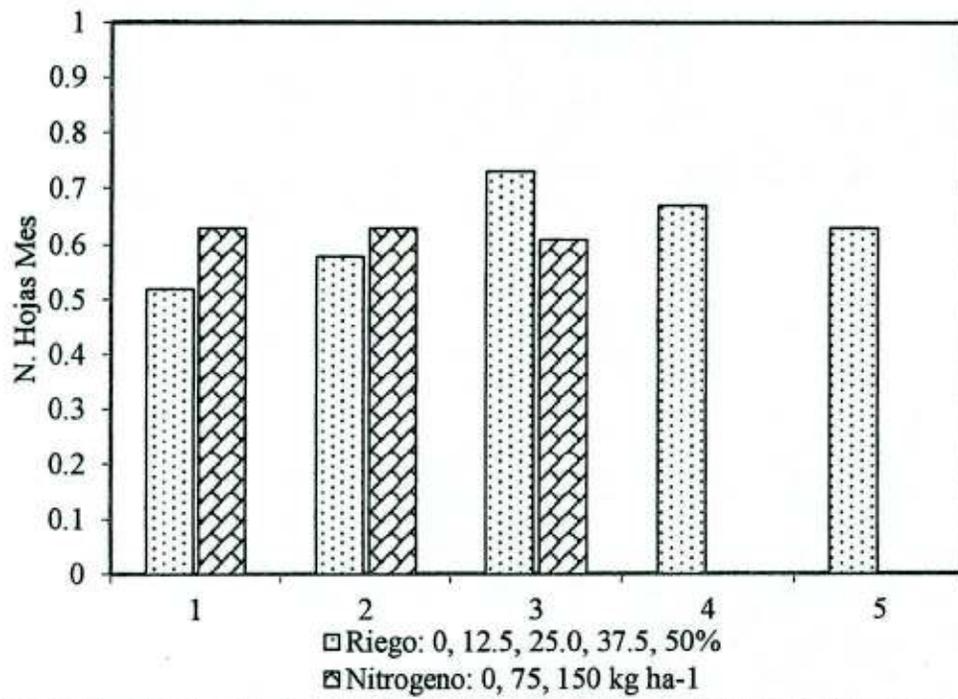


Figura 23.- Efecto del riego y la fertilización en la emisión de hojas nuevas por el maguey bacanora bajo riego por goteo.

De acuerdo con Bautista-Cruz *et al.* (2007), los sistemas de labranza mínima y la adición de materia orgánica al suelo se señalan como prácticas agrícolas sustentables para el desarrollo del cultivo. La labranza mínima nos facilita la plantación ya que se realiza manualmente abriendo un hoyo a golpes con un talacho o bien con una pala, así mismo propicia el desarrollo y crecimiento de nuevas raíces.

Por su parte Gobeille *et al.* (2006) señalan que tradicionalmente no se ha prestado atención a la fertilidad de suelos cultivados con *Agave tequilana*, de manera particular debido al largo periodo de cosecha que tiene la especie, a pesar de esto, no se deja de reconocer el impacto negativo en la fertilidad del suelo, atribuido al monocultivo de sisal (*Agave sisalana*) en África (Hartemink, 1997) lo cual no ha sido comprobado para las plantaciones actuales de agave en Jalisco y Oaxaca y mucho menos para las incipientes plantaciones de maguey de bacanora en Sonora, lo cual comprende una necesidad de investigación inmediata, atendiendo particularmente al ambiente árido que cubre prácticamente toda la zona dentro de la Denominación de Origen del bacanora.

En la fertilización no se encontraron diferencias, ya que se mostraron igual número de hojas en las plantas sin fertilizar que en aquellas con 75 o 150 kg ha⁻¹. Es posible notar sin embargo, una tendencia a valores más altos en el tratamiento intermedio de 75 kg ha⁻¹, aunque los valores son iguales estadísticamente a los del testigo y al tratamiento de 150 kg ha⁻¹, es importante señalar que de acuerdo con el análisis de suelo, la disponibilidad de nitrógeno es aproximadamente de 60 y 90 kg ha⁻¹ para los sitios de Mátape y Mazatán, en ese orden. Estos valores se reportan como insuficientes para el adecuado desarrollo del maguey, según Bautista-Cruz *et al.* (2007) y Cervantes (2006; 2007)

Aproximación al calendario óptimo de riego y fertilización.

La Figura 24 muestra que es necesario regar durante todo el año, aunque las láminas en los meses de julio y agosto son las menores del año, ya que en julio prácticamente se cubren las necesidades del cultivo. Por otra parte, se confirma lo establecido antes, donde se hicieron observaciones respecto de la pérdida de turgencia en los tratamientos sin riego o con el nivel más bajo, durante los meses de marzo, abril y mayo.

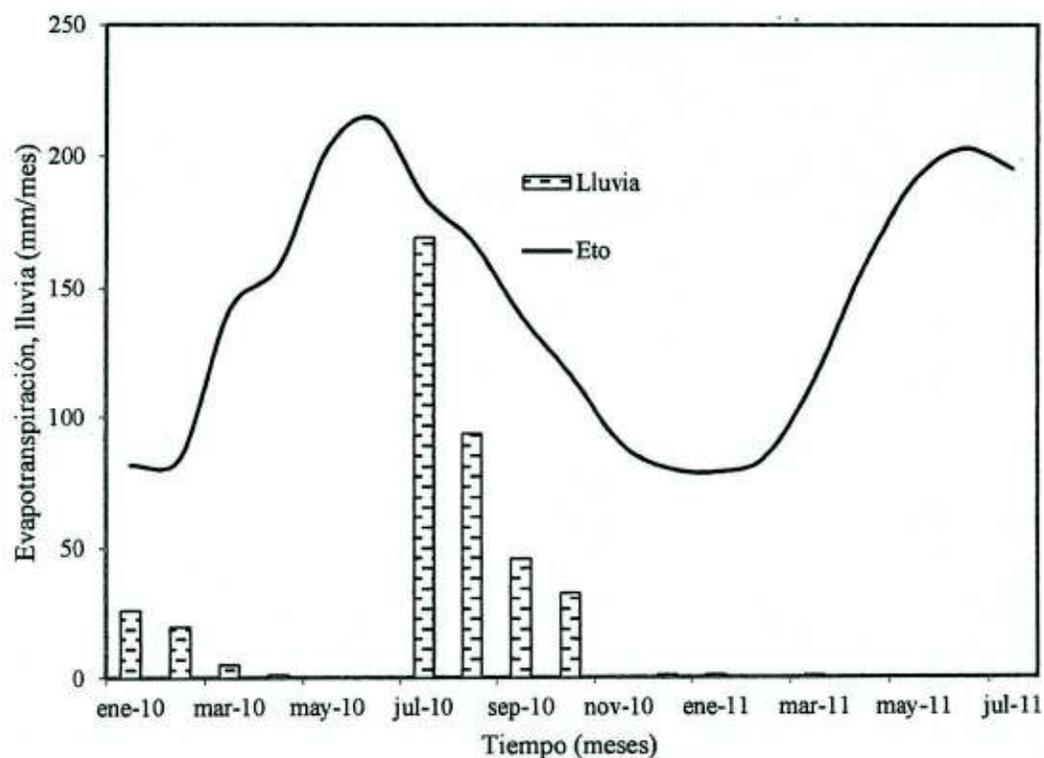


Figura 24.- Evapotranspiración y lluvia en Mátape, Sonora durante 2010 y 2011.

En el Cuadro 5 se muestra el tiempo de riego estimado por mes de acuerdo con la ET_0 registrada en la estación meteorológica. El calendario estima de acuerdo con los resultados antes descritos, una reposición del 25% de ET_0 . Se describe el tiempo de operación para el sistema instalado en el proyecto, en caso de utilizar otros gastos en los emisores, deberá ajustarse el tiempo de operación del sistema para obtener la lámina mencionada en la columna 4 del cuadro 5.

Cuadro 5. Calendario óptimo de riego⁽¹⁾, de acuerdo con la evapotranspiración potencial mensual

Mes	ET ₀ (mm)	Lluvia (mm)	Lámina (mm)	T. Riego (mm:ss)
Enero	81.6	26.0	55.6	13:01
Febrero	84.4	19.6	64.8	15:11
Marzo	141.4	4.8	136.6	32:00
Abril	158.4	1.0	157.4	36:53
Mayo	203.0	0.0	203.0	47:34
Junio	214.0	0.0	214.0	50:09
Julio	183.8	169.4	14.4	03:22
Agosto	168.0	93.7	74.3	17:24
Septiembre	139.3	45.7	93.6	21:56
Octubre	116.4	32.5	83.9	19:39
Noviembre	91.4	0.0	91.4	21:25
Diciembre	80.4	0.7	79.7	18:40

Nota 1.- Se establece para este calendario, una tasa de reposición de la ET₀ igual al 25% de acuerdo con los resultados obtenidos en el ensayo.

Efecto del riego en la aparición de hijuelos

En algunas plantas correspondientes a los tratamientos con riego superior al 25% de la ET₀, se observó al final de la temporada de lluvias (julio-septiembre) la aparición de hijuelos (Fig. 25), sin embargo la distribución no llegó a ser consistente. Aun así es claro que el vigor alcanzado por la planta debido a la disponibilidad de agua, propicia la aparición de hijuelos aún a una edad más temprana que la requerida por plantas silvestres. Los hijuelos mostraron también un vigor aceptable.



Figura 25.- Hijuelos con un gran vigor

No obstante lo anterior, es importante también señalar que debido a la helada extraordinaria del 4 de febrero de 2011, donde se alcanzó una mínima de -4°C , se perdieron prácticamente todos los hijuelos emergidos al congelarse por completo el meristemo apical de estas estructuras. Los daños en las hojas más externas de las plantas fueron también de consideración, sin embargo se pudieron observar menos daños (hojas congeladas) en plantas con riego.

Eficiencia en el uso de los recursos

Eficiencia en el uso del agua (EUA).

Se estimó la eficiencia en el uso del agua como la razón entre el número de hojas desenvueltas por hectárea por año y el agua disponible tanto de riego como de precipitación. Es posible notar que la mayor eficiencia se obtiene cuando la planta depende solo de la lluvia (Fig. 26). A pesar de lo anterior, se debe considerar que el número neto de hojas desenvueltas fue mayor en el tratamiento de 25% de reposición de la ET_0 , mismo que como se ve en la figura 26, es el que resulta con la mayor EUA de los tratamientos con riego. Estos resultados difieren de los obtenidos por Ochoa-Meza (1999) cuando trabajó con melón y calabacita, en los que la EUA es menor en tanto se aplican mayores láminas de riego. Es importante puntualizar en este caso, que se trata de

especies con rutas metabólicas diferentes (C3 vs. CAM) lo que ya de por sí marca una diferencia en la forma en que usan el agua (Neales, 1973; Hsiao y Acevedo 1974; Nobel, 1988). En este caso los resultados son consistentes en señalar que a una tasa de reposición del 25% de la ET_0 es posible maximizar el desarrollo de *Agave angustifolia* lo que puede reflejarse en tasas de cosecha más altas y en periodos de maduración más cortos.

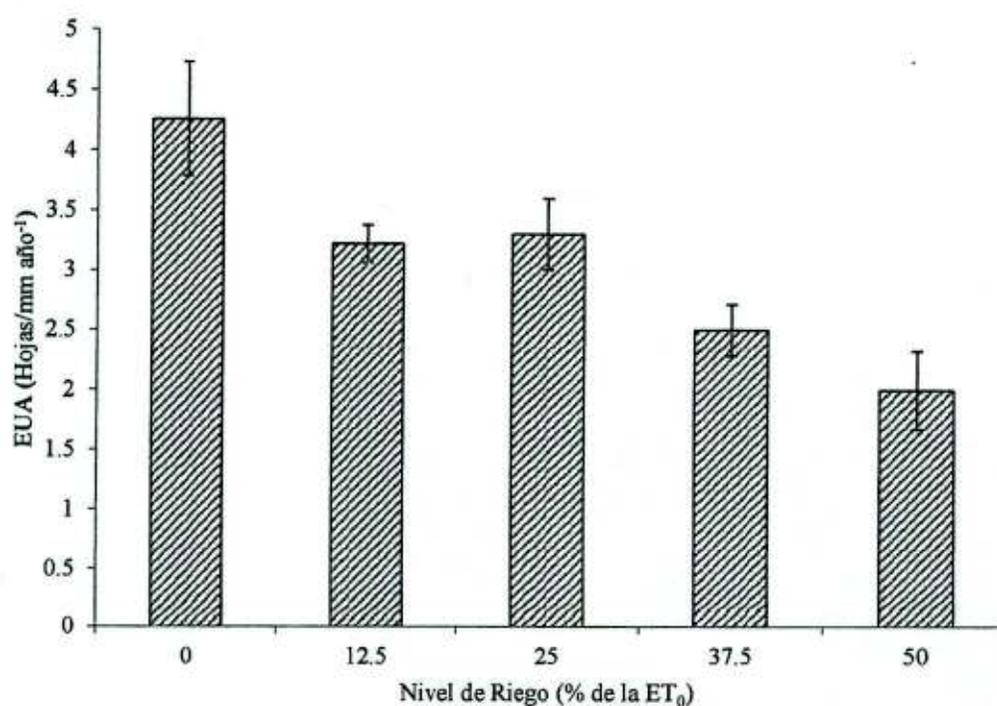


Figura 26.- Eficiencia en el uso del agua por el maguey bacanora bajo riego por goteo

Eficiencia en el uso del nitrógeno (EUN).

Con respecto de la eficiencia en el uso del nitrógeno, se encontraron resultados diferentes entre las parcelas de Mátape y Mazatán, según se puede apreciar en las figuras 27 y 28. Lo anterior es consistente con el punto señalado antes respecto de la disponibilidad de nitrógeno al inicio del ensayo en las parcelas, mismo que se considera insuficiente para el adecuado desarrollo, sin embargo para estas primeras etapas de crecimiento pudiera ser requerido en menores cantidades lo que llevaría a no mostrar retraso en el desarrollo de la planta. Por otra parte las cantidades iniciales disponibles

son diferentes (60 y 93 kg ha^{-1}) lo que propicia la distinta EUN en cada caso. De manera similar a como ocurre con el agua, la menor disponibilidad lleva a una mayor EUN y coincide con los resultados de Ochoa-Meza (1999) en el ensayo antes citado.

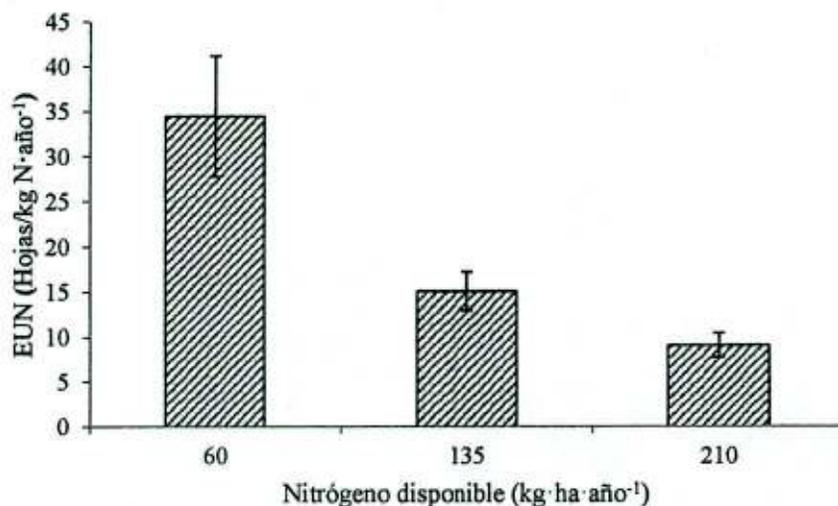


Figura 27.- Eficiencia en el uso del nitrógeno por el maguey en Matatepec, Son.

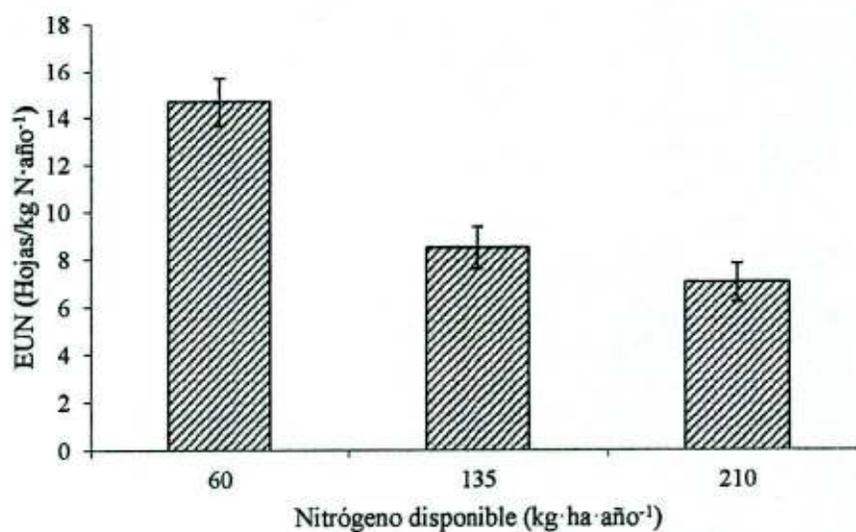


Figura 28.- Eficiencia en el uso del nitrógeno por el maguey en Mazatán, Son

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El tiempo de evaluación parece ser insuficiente, debido a que con los datos obtenidos no se encontró una interacción definida entre los niveles de riego y fertilización; sin embargo se puede observar una cierta tendencia. El nivel recomendado de riego corresponde al 25% de la ET_0 , y para las condiciones del ensayo las tendencias parecen indicar que la fertilización puede manejarse en niveles de $75 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ o bien omitirse en las primeras etapas de desarrollo.

La eficiencia en el uso de los recursos es mayor en los tratamientos testigo (sin adición ni de agua ni de fertilizante) lo que es lógico, toda vez que las diferencias entre testigos y tratamientos son mínimas en cuanto al desarrollo de la planta, sin embargo es necesario puntualizar que el riego al 25% de la ET_0 y eventualmente la fertilización nitrogenada a razón de 90 a $130 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ podrían resultar en una mayor biomasa y precocidad en la cosecha.

Es importante continuar las mediciones del experimento y complementar con otras como fotosíntesis e interacción con hongos micorrízicos, las cuales podrían ayudar a esclarecer de manera más contundente los impactos del ferti-riego sobre el desarrollo de la especie. De igual manera es necesario explorar el efecto de otros nutrientes, en las primeras etapas y hasta alcanzar la madurez comercial.

La evaluación hasta madurez comercial de la plantación puede definir el impacto del ferti-riego en la precocidad y calidad comercial de las cabezas obtenidas. Una de las recomendaciones sería continuar con la investigación, seguir con las evaluaciones de agua y nitrógeno hasta culminar el ciclo productivo de la planta para así poder definir el impacto del fertiriego y a su vez, poder obtener otras observaciones y mediciones conforme a la marcha de la investigación.

BIBLIOGRAFIA

1. Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome. 339 pp.
2. Armenta-Calderón, A. D. 2002. Hongos micorrízicos y filamentosos asociados al agave angustifolia. CIAD A. C. Tesis de Maestría en Ciencias. Hermosillo, Son.
3. Bautista-Cruz A., R. Carrillo-Gonzalez, M. R. Arnaud-Viñas, C. Robles, F. de León-González. 2007. Soil fertility properties on Agave angustifolia Haw. plantations. Soil & Tillage Research 96:342-349
4. Búrquez D. V. M. 1998. Efecto de tres volúmenes de agua y tres dosis de nitrógeno en el cultivo de la coliflor (*Brassica oleracea* var. *Botrytis* L.) bajo riego por goteo. Universidad de Sonora. Tesis de Maestría en Ciencias. Hermosillo, Son.
5. Castellanos J. J. X. Uvalle-Bueno, A. Aguilar-Santelises. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. INCAPA. Guanajuato, México. 226 p.
6. Creighton, G., C. Rolfe. 1997. Horticultural fertigation, techniques, equipments and management. Disponible en <http://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/resources/water/irrigation/crops/publications/fertigation>
7. Cervantes M. T. 2002. El maguey bacanora como una alternativa en la empresa ganadera. Revista Rancho. Julio. PATROCIPES. Hermosillo Sonora.
8. Cervantes M. T. 2006. Siembra de agave en los agostaderos de la sierra de Sonora para la producción de mezcal bacanora. Fichas tecnológicas sistema producto. INIFAP. Disponible en: <http://www.utep.inifap.gob.mx/>
9. Cervantes M. T., A. D. Armenta-Calderón, J. G. Sánchez-Arellano. 2007. El cultivo del maguey bacanora (*Agave angustifolia* Haw) en la Sierra de Sonora. INIFAP, Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Costa de Hermosillo. 32 pp.

10. Cervantes-Ramírez, M. C. 2002. Plantas de importancia económica en las zonas áridas y semiáridas de México. Instituto de Geografía-UNAM. México 155 pp.
11. Douglas, M.W., R. A. Maddox, K. H. 1993. The Mexican monsoon. *Journal of Climate* 6, 1665 – 1677.
12. Doorenbos, J., E. O. Pruitt. 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. FAO Irrigation and drainage paper 24. FAO, Rome, 144 pp.
13. Er-Raki, S., A. Chehbouni, S. Khabba, V. Simonneux, L. Jarlan, A. Ouldbba, J.C. Rodriguez, R. Allen. 2010. Assessment of reference evapotranspiration methods in semi-arid regions: Can weather forecast data be used as alternate of ground meteorological parameters?. *Journal of Arid Environments*, 74:1587-1596.
14. Gobeille A., J. Yavitt, P. Stalcup, A. Valenzuela. 2006. Effects of soil management practices on soil fertility measurements on Agave tequilana plantations in Western Central Mexico. *Soil & Tillage Research* 87:80–88.
15. Hartemink, A. E. 1997. Input and output of major nutrients under monocropping sisal in Tanzania. *Land Degrad. Dev.* 8:305–310.
16. Hochmuth, G. J. 1995. Manejo de fertilizantes con riego por goteo para hortalizas. Seminario Internacional de Plasticultura. Hermosillo, Son.
17. Hsiao, T. C., E. Acevedo. 1974. Plant responses to water deficit, water-use efficiency and drought resistance. *Agric. Meteorol.* 14:59-84
18. Moreno-Salazar S. F. 1995. Propagación in vitro de Agave Pacifica (maguey bacanora) para su conservación, repoblación y cultivo comercial. Tesis de Maestría. Universidad de Sonora.
19. Moreno-Salazar S. F. 2001. Ferti-irrigación de Agave angustifolia una alternativa de producción sustentable para incrementar la eficiencia en el uso de agua y nutrientes de la especie. Informe final a SIMAC.IMADES. Hermosillo, Son.
20. Moreno-Salazar S. F. 2006. Variabilidad citogenética, molecular, morfológica y contenido de azúcares reductores totales en poblaciones silvestres de Agave angustifolia. Tesis de Doctorado. CIAD. AC.

21. Neales T. F. 1973. The effect of night temperature on CO₂ assimilation, transpiration, and water use efficiency in agave Americana. *Aust. J. Biol. Sci.*, 26: 705-714.
22. Nobel P.S. 1988. *Environmental Biology of Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. New York, USA. 270 p.
23. Ochoa Meza A. 1999. Eficiencia en el uso del agua y el nitrógeno por los cultivos de melón (*Cucumis melo* L.) y calabacita (*Cucurbita pepo*) bajo riego por goteo. Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura. Universidad de Sonora, Hermosillo, Son.
24. Ochoa Meza A., M. Esqueda, R. Fernández-Valle, R. Herrera-Peraza. 2009. Variación estacional de hongos micorrízicos arbusculares asociados con *Agave angustifolia* Haw. en la sierra sonorense, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 32: 189 – 199.
25. Ortega Mendoza L. A. 2012. Análisis de la distribución de poblaciones silvestres de *Agave angustifolia* Haw. en la parte alta de la cuenca del río Mátape. Tesis de Licenciatura. Universidad de Sonora, Hermosillo, Son.
26. Yescas E. J. R. 1985. Sensores eléctricos de humedad del suelo para control automático de riego. Seminario. Univ. Sonora. Hermosillo, Son.
27. http://www.teorema.com.mx/articulos.php?id_sec=45&id_art=1040&id_ejemplar=62.
28. <http://www.fertitec.com/PDF/Fertirrigacion%20Comex1.pdf>
29. <http://www.inifapzac.sagarpa.gob.mx/PotAgric/AgaveTequilaT.pdf>
30. http://www.ecologia.unam.mx/laboratorios/evolucionmolecular/index.php?option=com_content&view=article&id=92&Itemid=135&lang=en
31. <http://www.conabio.gob.mx/otros/biodiversitas/doctos/pdf/biodiv85.pdf>
32. http://www.ecologia.unam.mx/laboratorios/evolucionmolecular/images/file/biblioteca/ArtsLab/TrejoSalazar_2007.pdf