

**CONOCIMIENTO Y
PRACTICAS AGRONOMICAS
PARA LA PRODUCCION DE
Agave tequilana Weber
EN LA ZONA DE DENOMINACION
DE ORIGEN DEL TEQUILA**

Editores Técnicos
Juan Francisco PÉREZ DOMÍNGUEZ
José Ignacio DEL REAL LABORDE

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN REGIONAL DEL PACÍFICO CENTRO
CAMPO EXPERIMENTAL CENTRO-ALTOS DE JALISCO**

No está permitida la reproducción total o parcial de esta publicación, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares de derecho de autor.

Derechos reservados
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
Progreso N° 5
Barrio de Santa Catarina
Delegación Coyoacán C.P. 04010
Distrito Federal

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural , Pesca y Alimentación
Municipio Libre N° 377, Planta baja, Ala B
Colonia Santa Cruz Atoyac C.P. 03310

Cita correcta:

Rulfo V., F. O. *et al.* (ed.). 2007. Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro.

ISBN 978-968-800-726-6

Diseño de Portada: Luis Alberto Partida de la Cruz

**CONOCIMIENTO Y PRACTICAS AGRONOMICAS PARA LA
PRODUCCION DE *Agave tequilana* Weber
EN LA ZONA DE DENOMINACION DE ORIGEN DEL TEQUILA**

EDITORES DE FORMA Y ESTILO

M. Ag. Ed. Fernando O. Rulfo Vilchis

Dr. Juan Francisco Pérez Domínguez

Dr. José Ignacio del Real Laborde

Dr. Keir Francisco Byerly Murphy

Se agradece la colaboración de:

Sr. Jesús Cervantes Ríos

M. C. Leonardo Soltero Díaz

Dr. Mario Aguilar Sanmiguel

CONTENIDO

PROLOGO.....	7
INTRODUCCION.....	9
Requerimientos agroecológicos y potencial productivo del agave <i>Agave tequilana</i> Weber <i>José Ariel Ruiz Corral</i>	11
Muestreo y análisis de suelo en plantaciones de agave <i>Jaime Xavier Uvalle Bueno</i> <i>Cecilia Vélez Gutiérrez</i> <i>Adriana Ramírez Figueroa</i>	37
Métodos de propagación del <i>Agave tequilana</i> Weber var. azul <i>Ismael Vicente Ramírez</i> <i>José Ignacio del Real Laborde</i>	57
Nutrición del <i>Agave tequilero</i> (<i>Agave tequilana</i> Weber var. Azul). <i>Jaime Xavier Uvalle Bueno</i> <i>Cecilia Vélez Gutiérrez</i>	69

Deficiencia inducida de elementos nutritivos en el cultivo de agave <i>Velitchka B. Nikolaeva</i> <i>Víctor Niño de la Cruz</i>	89
Manejo de la maleza en plantaciones de agave tequilero <i>Mario Salamanca Camacho</i> <i>Santiago Medina Ocegueda</i>	117
Tecnología de manejo y control de plagas del agave <i>Juan Francisco Pérez Domínguez</i> <i>Ramón Rubio Cortés</i>	135
Enfermedades del cultivo del agave <i>Ramón Rubio Cortés</i>	169

PROLOGO

CONOCIMIENTO Y PRACTICAS AGRONOMICAS PARA LA PRODUCCION DE AGAVE TEQUILERO (*Agave tequilana* Weber var. Azul) EN LA ZONA DE DENOMINACION DE ORIGEN DEL TEQUILA

Las plantaciones de agave tequilero dentro de la Zona de Denominación de Origen del tequila (DOT) integran un inventario de 395 millones de plantas, (CRT, 2007) establecidas en los años 2000 a 2006. Los registros de la SAGARPA reportan un valor estimado de producción de \$ 1 610 000 000 en 156 000 hectáreas. El cultivo del agave constituye una fuente de empleo constante para más de 80 000 familias en la DOT.

La industria del tequila ha crecido en forma sostenida durante los últimos años y su potencial de crecimiento es aún grande, por lo que requiere de un abasto sostenido y predecible de materia prima para asegurar su producción. Debido a que la duración del proceso de cultivo del agave, toma de seis a ocho años, es necesario disponer de la mejor información posible sobre el manejo del cultivo a fin de obtener mejores producciones.

El cultivo del agave es originario de México y no ha sido estudiado a profundidad en el pasado, por lo que la información disponible es incompleta y en la mayoría de los casos inconexa. El conocimiento debe ser generado en el país, dentro de las regiones productoras de agave. Hoy, como resultado de la expansión del mercado del tequila, existen diferentes programas para generar conocimientos básicos e información aplicada que permitan asegurar la producción de materia prima. En este libro, se conjuntan los esfuerzos de investigación y desarrollo de diferentes actores de la cadena productiva como son las empresas tequileras: Tequila Sauza, Casa Cuervo y Tequila Herradura; instituciones de enseñanza e investigación como la Universidad de Guadalajara y el INIFAP, así como el Consejo Regulador del Tequila (CRT). Estas instituciones, trabajando de manera coordinada a través del Comité Técnico Agronómico del CRT, del cual todas forman parte, acordaron contribuir con los materiales que integran este documento.

Esta publicación se integra con la información proveniente de las fuentes mencionadas para alcanzar un objetivo común: uniformizar información inédita,

publicada de manera informal e información relevante publicada formalmente, teniendo al INIFAP como integrador de los materiales. El libro incluye capítulos de conocimiento y descripción de la tecnología para la producción de agave, dirigidos específicamente a la DOT, confiando en que esta información contribuirá a organizar y ampliar el conocimiento sobre el cultivo del agave.

En sus capítulos, esta obra aborda temas como: requerimientos agroecológicos y potencial productivo del agave, muestreo y análisis de suelo, fotosíntesis estacional en plantas jóvenes, métodos de propagación, nutrición, deficiencia de algunos elementos nutritivos en agave, manejo de maleza, plagas y enfermedades. Con el conocimiento de estos factores se busca cubrir las áreas básicas del manejo técnico del cultivo del agave.

En los capítulos de esta publicación, se presentan los resultados de la investigación más reciente, buscando que la obra sirva como material de consulta para los productores de agave y profesionales de la asistencia técnica. Actualmente, la producción de agave enfrenta una etapa crítica debido a problemas fitosanitarios en toda la DOT. Esperamos que esta publicación contribuya a la toma de mejores decisiones para el adecuado manejo del cultivo.

Keir Francisco Byerly Murphy

INTRODUCCION

El tequila ha adquirido importancia por la creciente demanda nacional e internacional, siendo la actividad de campo un componente importante y decisivo para el abastecimiento de la materia prima, el agave tequilero *Agave tequilana* Weber variedad azul para la producción de tan importante bebida. Consecuentemente, el cultivo se ha establecido en forma intensiva y existe una tendencia a incrementar la superficie cultivada con este agave. En México fue declarada la Zona de Denominación de Origen Tequila mediante decreto del Diario Oficial Mexicano, en octubre de 1974.

Taxonomía de la planta de agave

Pertenece a la familia de las agavaceas, que se agrupan en el orden Asparagales. El género *Agave* lo constituyen 197 taxas: 136 especies, 26 subespecies, 29 variedades y 7 formas. En 1902, Weber describió el *Agave tequilana* y hasta la fecha las variedades de *Agave tequilana* Weber carecen de estudios taxonómicos particulares ignorándose aún las características propias y completas de cada una.

Descripción Botánica

Agave tequilana Weber variedad azul pertenece al subgénero *Agave* y a la sección *Rigidae*, a la cual también pertenecen una gran cantidad de especies fibreras y mezcaleras que se extienden en México y Centroamérica estando ausentes en los Estados Unidos. Este grupo es reconocible por la forma de sus hojas angostas y muy rígidas. La descripción botánica del mezcal tequilero es la siguiente:

***Agave tequilana* Weber 1902 (Weber)**

Planta suculenta que se extiende radicalmente de 1.2 a 1.8 m de longitud. Su tallo es grueso, corto de 30 a 50 cm. de altura al madurar.

Las hojas de 90 a 120 cm. lanceoladas, acuminadas de fibras firmes, casi siempre rígidamente estiradas, cóncavas de ascendentes a horizontales; lo más ancho se encuentra hacia la mitad de la hoja, angosta y gruesa hacia la base, generalmente de color glauco azulado a verde grisáceo. El margen

es recto a ondulado o retando, los dientes generalmente de tamaño regular y espaciados irregularmente, en su mayoría de 3 a 6 mm. de largo a la mitad de la hoja. Los ápices delgados, curvos o flexos desde poca altura de la base piramidal de color café claro a oscuro, de 1 a 2 cm de largo, raramente larga achatada o abiertamente surcada de arriba, la base ancha, café oscura decurrente o no decurrente. La inflorescencia es una panícula de 5 a 6 ms de altura, densamente ramosa a lo largo, con 20 a 25 umbelas largas difusas de flores verdes y estambres rosados. Flores de 68 a 75 mm de largo con bracteolas sobre los pedicelos de 3 a 8 mm de longitud. Ovario de 32 a 38 mm de largo, cilíndrico con cuello corto, inconstricto, casi terminado en punta sobre la base. Tubo floral de 10 mm de ancho, funeliforme surcado, los pétalos desiguales de 25 a 28 mm de longitud por 4 mm de ancho, lineares, erectos pero rápidamente flojos en anthesis, cambiando entonces a color café y secos. Filamentos de 45 a 50 mm de longitud, dobladas hacia adentro junto al pistilo, insertos de 5 a 7 mm cerca de la base de tubo; anteras de 25 mm de largo. El fruto es una cápsula ovalada a brevemente cuspida.

Regiones productoras

Se establece como territorio de origen el comprendido por la totalidad de los municipios en donde se cultiva el agave del Estado de Jalisco; en el Estado de Guanajuato, los municipios de Abasolo, Ciudad Manuel Doblado, Cuerámaro, Huanímaro, Pénjamo, Purísima del Rincón y Romita. Los municipios de Briseñas de Matamoros, Chavinda, Chilchota, Churintzio, Cotija, Ecuandureo, Jacona, Jiquilpan, Maravatío, Nuevo Parangaricutiro, Numarán, Pajacuarán, Peribán, La Piedad, Régules, Los Reyes, Sahuayo, Tancítaro, Tangamandapio, Tangancícuaro, Tanhuato, Tingüindín, Tocumbo, Venustiano Carranza, Villamar, Vistahermosa, Yurécuaro, Zamora y Zináparo, del Estado de Michoacán. Los municipios de Ahuacatlán, Amatlán de Cañas, Ixtlán, Jala, Xalisco, San Pedro de Lagunillas, Santa María del Oro y Tepic, del Estado de Nayarit y del Estado de Tamaulipas, los municipios de Aldama, Altamira, Antiguo de Morelos, Gómez Farías, González, Llera, Mante, Nuevo Morelos, Ocampo, Tula y Xicoténcatl.

**Conocimiento y prácticas
agronómicas para la producción
de *Agave tequilana* Weber
en la zona de denominación
de origen del tequila**

**REQUERIMIENTOS
AGROECOLOGICOS Y POTENCIAL
PRODUCTIVO DEL AGAVE *Agave
tequilana* Weber
EN MEXICO**

Páginas 11-36

José Ariel Ruiz Corral

CAPÍTULO I

Cita correcta:

Ruiz Corral, J. A. 2007. Requerimientos agroecológicos y potencial productivo del agave *Agave tequilana* Weber en México. p. 11-36 In Rulfo V., F. O. *et al.* (ed.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro.

REQUERIMIENTOS AGROECOLOGICOS Y POTENCIAL PRODUCTIVO DEL AGAVE *Agave tequilana* Weber EN MEXICO

José Ariel Ruiz Corral¹

RESUMEN

Dado el fuerte aumento de la demanda de tequila que se ha presentado en los últimos años, tanto para consumo nacional como para la exportación, la necesidad de aumentar la producción de *Agave tequilana* Weber Var. Azul, que es la materia prima para su elaboración, ha inducido a buscar nuevas áreas para la producción de agave, además de las que lo han producido tradicionalmente en la Zona de Denominación de Origen del Tequila, donde se tiene una superficie de 40 000 ha con cerca de 107 millones de plantas, en municipios de los estados de Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Nayarit y Tamaulipas. El agave se adapta a regiones semi-áridas y sub-húmedas con días soleados y presenta baja tolerancia a las bajas temperaturas, especialmente durante la noche. Prefiere suelos de textura media como franco-arcillosos, o franco-arenosos, en terrenos aún con un alto grado de pendiente. Para la selección de áreas para producción de agave, se examinan las siguientes variables principales: temperatura nocturna, probabilidad de heladas, altitud, pendiente del suelo y precipitación anual.

Palabras clave: tequila, agave, temperaturas nocturnas, suelos, altitud, lluvia.

1. INIFAP. Centro de Investigación Regional Pacífico Centro. C. E. Centro Altos de Jalisco, Jalisco, México.
José Ariel Ruiz Corral <ruiz.jose@inifap.gob.mx>

***Agave tequilana* Weber AGROECOLOGICAL REQUIREMENTS AND PRODUCTIVE POTENTIAL IN MEXICO**

ABSTRACT

Due to the tequila domestic and exportation demand increase during last years, the need of higher production of *Agave tequilana* Weber Var. Azul that is tequila raw material; new agave producing areas are searched, besides those that have been producing it traditionally in the Tequila Origin Denomination Zone where a 40 000 ha surface with near 107 million agave plants are cultivated in municipios (counties) of Jalisco, Guanajuato, Michoacan, Nayarit, and Tamaulipas: The agave is well adapted to semi-arid, and semi-humid regions with sunny days most of the year. It presents low tolerance to low temperatures, especially during the night. The agave prefers medium textured soils as clayly-loam, or sandy-loam even in steep slopes. For agave producing areas selection the following main variables should be observed: night temperatures, frost probabilities, altitude, soil steepness, and annual rainfall.

Keywords: tequila, agave, night temperatures, soils, altitude, rainfall.

INTRODUCCION

El tequila ha adquirido importancia tanto en México como en otros países, debido a que en estos últimos años su consumo ha tenido un fuerte aumento, lo que ha resultado en una gran demanda de la materia prima para su producción que es el *Agave tequilana* Weber Var. Azul. Actualmente, en la Zona de Denominación de Origen del Tequila, en municipios de los estados de Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Nayarit y Tamaulipas, se tiene una superficie de 40 000 ha cultivadas con cerca de 107 millones de plantas de agave y se busca nuevas áreas para su cultivo, que deben reunir características favorables para el desarrollo de la planta y cuyos productos presenten buena calidad para la industria de fabricación del tequila.

El agave se adapta a regiones semiáridas y subhúmedas con la mayor parte del año con días soleados y presenta poca tolerancia a las bajas temperaturas, especialmente durante la noche. Prefiere suelos de textura media como franco-arcillosos, o franco-arenosos, en terrenos aún con un alto grado de pendiente. Para la selección de áreas para producir agave,

se examinan las siguientes variables principales: temperatura nocturna, probabilidad de heladas, altitud, pendiente del suelo y precipitación anual.

Distribución y adaptación climática

El agave *Agave tequilana* Weber, es una planta perteneciente a la familia *Agavaceae* y originaria de América del Norte (Gentry, 1982). Se encuentra distribuida entre los 5 y 25° de latitud norte y se adapta a regiones subtropicales semiáridas y subhúmedas con régimen térmico templado, semicálido o cálido (Ruiz *et al.*, 1999). El término semiárido implica un ambiente con 30 a 119 días en los que la precipitación pluvial es igual o superior a la evapotranspiración potencial, mientras que el término subhúmedo significa de 120 a 180 días con esta condición. En tanto, los regímenes templado, semicálido y cálido se refieren a una temperatura media anual entre 5 y 18 °C, entre 18 y 22 °C y ≥ 22 °C, respectivamente (Ruiz *et al.*, 1997a; Medina *et al.*, 1998; López *et al.*, 2005).

El agave es una planta semiperenne y en cuanto a tipo fotosintético pertenece a las plantas MAC (metabolismo del ácido crasuláceo), por lo que la temperatura nocturna se convierte en una variable clave para la adaptación y productividad de esta especie (Pimienta *et al.*, 1999; Ruiz *et al.*, 2002) y para la identificación de áreas con potencial para su cultivo (Vargas, 2004).

Altitud

Aunque el *A. tequilana* se adapta a un amplio rango altitudinal, parece favorecerle el intervalo que va de 1 000 a 2 200 msnm (Ruiz *et al.*, 1999; Vargas, 2004). En altitudes inferiores a 1 000 m, el desarrollo inicial del cultivo es rápido y prometedor, por lo que sitios con estas características tienen potencial para la producción de planta, no así para la producción de «piña», ya que ésta, aunque puede adquirir un volumen considerable, generalmente y bajo un manejo convencional, no adquiere las características deseables y requeridas por la industria del tequila, sobre todo en cuanto a la concentración de azúcares se refiere.

En altitudes superiores a 2 200 msnm, la velocidad de desarrollo del cultivo se reduce significativamente y el riesgo de daño por bajas temperaturas y/o heladas se incrementa de manera significativa (Ruiz *et al.*, 2003a; Vargas, 2004).

Precipitación, humedad ambiental y del suelo

El agave prospera bajo un régimen de precipitación anual de 700 a 1 000 mm y una atmósfera de seca a moderadamente seca la mayor parte del año (Ruiz *et al.*, 1999). Sin embargo, Vargas (2004) señala un intervalo óptimo de lluvia acumulada anual de 600 a 1 800 mm.

Las regiones productoras de agave más importantes, localizadas en el Estado de Jalisco, México, presentan una precipitación anual que va de 700 a 1 100 mm (Ruiz *et al.*, 1997b; Ruiz *et al.*, 1998; Flores *et al.*, 2003; Ruiz *et al.*, 2003b).

A. tequilana, mantiene la ganancia de carbono durante el invierno, no obstante que en esas fechas la humedad en el suelo es normalmente baja. Las ganancias de carbono durante el periodo seco en plantas MAC como los agaves, nopales y pitayos, entre otras, se atribuyen a la succulencia de sus órganos fotosintéticos, que permite mantener turgente el tejido fotosintético durante periodos de baja disponibilidad de agua (Gibson y Nobel, 1986; Nobel, 1994; Pimienta *et al.*, 2000).

De acuerdo con Flores *et al.* (2002) las características ambientales asociadas con un riesgo de presencia de marchitez en agave son: una humedad relativa promedio mensual de 60 por ciento o más alta y una temperatura promedio anual de 20 a 23.9 °C.

Temperatura

El *Agave tequilana* es una planta que presenta pobre tolerancia a las bajas temperaturas, en comparación con la mayoría de especies de la familia Agavaceae (Nobel y Smith, 1983; Nobel, 1988). La absorción celular se reduce a la mitad cuando las temperaturas descienden al nivel de -6 °C. Por esta razón el *A. tequilana* probablemente no puede cultivarse en regiones donde, aún ocasionalmente, se presenten temperaturas de -7 °C o inferiores. Por otro lado, la hoja de este agave puede tolerar temperaturas hasta de 55 °C (Nobel *et al.*, 1998).

Dado que es una planta MAC, el agave es muy sensible a las temperaturas nocturnas. La asimilación de CO₂ se favorece con temperaturas diurnas/

nocturnas de bajas a moderadas y disminuye drásticamente en ambientes donde, sobre todo, las temperaturas nocturnas son elevadas. En estas condiciones también se incrementa la respiración (Nobel et al., 1998; Pimienta et al., 2000).

De acuerdo con Nobel et al. (1998), se observó experimentalmente que la asimilación neta diaria de CO₂ (en periodos de 24 horas) fue mayor en ambientes con temperaturas diurnas y nocturnas de 15 °C y de 5 °C respectivamente, disminuyendo 10 por ciento con temperaturas de 25 °C/15 °C, y 72 por ciento con éstas de 35 °C/25 °C. Según estos mismos autores, *A. tequilana* presenta un Q₁₀ (incremento fraccional de la respiración por cada incremento de 10 °C en la temperatura del aire) promedio de 2.17 al pasar de 5 a 15 °C, 2.55 al pasar de 15 a 25 °C y 2.67 al pasar de 25 a 35 °C.

Vargas (2004), al reanalizar los datos de temperatura nocturna y asimilación neta (AN) de CO₂ reportados por Pimienta *et al.* (1999), obtuvo que la relación entre estas dos variables describía una relación curvilínea (Figura 1), la cual podía ser descrita por una ecuación cuadrática, estableciendo como variable independiente a la temperatura nocturna y como variable dependiente a la asimilación neta de CO₂. La ecuación obtenida es la siguiente:

$$AN\ CO_2 = 0.989598 + 1.126854\ T_n - 0.035244\ T_n^2\ (r^2 = 0.82; n=7)$$

Donde AN CO₂ se expresa en μmol m⁻² s⁻¹, y T_n es la temperatura nocturna en grados Celsius.

En la Figura 1 se observa como la temperatura nocturna óptima se encuentra alrededor de 16 °C, esto es el nivel de temperatura nocturna con el que se logra el máximo de AN de CO₂. También se aprecia el límite térmico nocturno inferior (-1 °C) y un límite térmico máximo, no obtenido en esta investigación, pero que gráficamente puede deducirse entre 26 y 30 °C, considerando el tipo de curva no simétrica que presentan los poiquiloterms en su respuesta a la temperatura (Orchard, 1976). De aquí puede concluirse que una asimilación neta positiva en *Agave tequilana* Weber, tiene lugar cuando la temperatura nocturna se encuentra entre -1 y 28 °C.

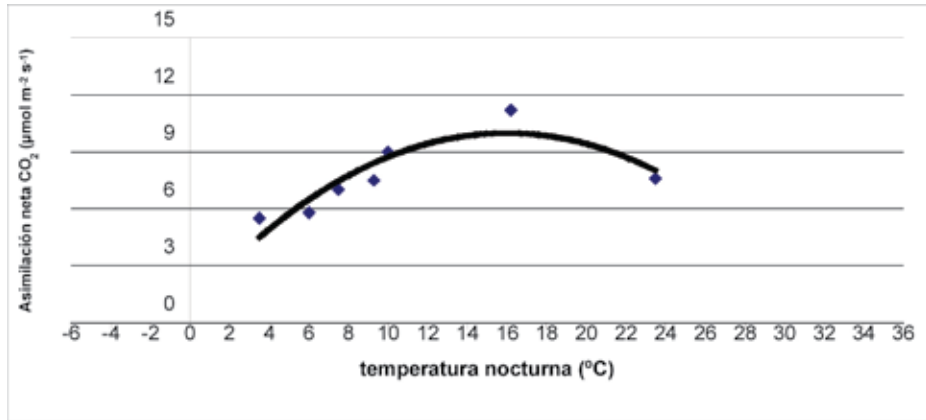


Figura 1. Relación entre la temperatura nocturna y la asimilación neta de CO₂ en *Agave tequilana* Weber.

Utilizando los componentes de la ecuación cuadrática descrita con anterioridad y de acuerdo con Robertson (1983) se obtuvieron matemáticamente el punto inferior y el máximo (óptimo) de temperatura señalados en la curva para que tenga lugar el proceso de AN diaria de CO₂. Este cálculo se realizó a fin de obtener información cuantitativa relacionada con la definición de los intervalos óptimos y marginales de temperatura nocturna para el desarrollo de *Agave tequilana*. El valor de temperatura nocturna al cual se obtuvo una tasa cero de asimilación neta diaria de CO₂ fue de -1 °C, y el valor de temperatura al que se obtuvo la tasa máxima de asimilación fue 16 °C.

Las ecuaciones utilizadas fueron:

Para el punto inferior:

$$T = \frac{-b + (b^2 - 4ac)^{1/2}}{2c}$$

Donde:

T = Temperatura nocturna

a = Valor de la constante de la ecuación de segundo grado

b, c = Valores de los coeficientes de la ecuación de segundo grado

Para el punto máximo (óptimo):

$$T = \frac{-b}{2c}$$

Luz

El Agave tequilana es una especie que se comporta mejor cuando se presentan días soleados la mayor parte del año, por lo que en una localidad en la que se pretenda introducir este cultivo, el periodo de lluvias no deberá ser muy prolongado.

Aunque la cantidad de luz, expresada en flujo de fotones fotosintéticos, constituye un factor ambiental limitante para la fotosíntesis en plantas MAC (Gibson y Nobel, 1986), como en el caso *Opuntia ficus-indica* (nopal) y *Stenocereus queretaroensis* (pitayo) (Nobel y Hartsock, 1984; Nobel y Pimienta Barrios, 1995; Pimienta-Barrios y Nobel, 1998); la evaluación estacional de la actividad fotosintética de *A. tequilana*, ha revelado que la obtención de valores fotosintéticos altos depende más de la temperatura nocturna que de la disponibilidad de luz (Pimienta *et al.*, 1999).

Suelo

Los agaves prefieren suelos de textura media, por ejemplo suelos francos, franco-arenosos o franco-arcillosos. Aunque en zonas con baja precipitación, los agaves prefieren suelos con mayor retención de humedad, es decir suelos de textura pesada, como arcillosos o limo-arcillosos, pero pueden desarrollarse adecuadamente en suelos delgados o profundos. Además, el género *Agave* presenta tolerancia de ligera a intermedia a sales y prospera mejor en un rango de pH de 6.0 a 8.0; y no son recomendables suelos con problemas de acidez o alcalinidad para su cultivo (FAO, 1994).

El agave puede desarrollarse en terrenos con alto grado de pendiente, con drenaje superficial muy eficiente, considerados no aptos para la agricultura tradicional. Sin embargo, bajo esas condiciones, es necesario realizar prácticas de conservación de suelo y agua para asegurar un ambiente favorable para el cultivo. En la actualidad, dentro de los requisitos para cultivar agave que

fijan las compañías tequileras, se establece un límite máximo de pendiente del suelo de 8 por ciento, para facilitar el manejo de este cultivo. En cuanto al límite inferior de pendiente, cabe mencionar que en terrenos planos se corre el riesgo de tener problemas de encharcamiento, lo cual es perjudicial para el cultivo. Los agaves requieren suelos con drenaje de bueno a excelente (FAO, 1994), de ahí que no es conveniente cultivar agave en terrenos con pendiente inferior a 2 por ciento. Con esto además, se evitaría que el agave desplace de manera significativa otros cultivos que actualmente ocupan las tierras de primera calidad en las diversas regiones agrícolas de las zonas de denominación de origen del país.

Dado que el *Agave tequilana* Weber frecuentemente se cultiva en terrenos de ladera, es conveniente procurar no plantar en terrenos de ladera norte, sobre todo en regiones donde las heladas de tipo advectivo son frecuentes. En regiones con altitud superior a 1,800-2,000 msnm, tampoco se recomienda plantar agave en las partes bajas de las laderas, donde comúnmente, se presentan asentamientos de aire muy frío (Ruiz *et al.*, 1999).

Identificación de áreas con potencial para cultivar el agave

La identificación de regiones con potencial para establecer un cultivo de agave implica comparar las disponibilidades ambientales de una determinada región con los requerimientos o necesidades agroecológicas del cultivo (Ruiz *et al.*, 2005). De acuerdo con la FAO (1996), la identificación de áreas con potencial o zonificación agroecológica de cultivos, puede realizarse considerando las características de suelo, fisiografía y clima, parámetros definidos en función de los requerimientos agroecológicos de los cultivos a zonificar, con los sistemas de manejo bajo los cuales se desarrollan. Sin embargo, con frecuencia suele suceder que para determinadas especies vegetales hay variables ambientales que se constituyen como variables críticas o de suma importancia para determinar que áreas pueden resultar potenciales. Este es el caso de *A. tequilana*, donde la temperatura nocturna resulta ser la variable ambiental más limitativa del potencial de cultivo de esta especie (Ruiz *et al.*, 2002). Por tal motivo en el presente ejercicio se consideró a esta variable como la más importante. No obstante, otras variables también fueron consideradas para darle mayor realismo al resultado. En el Cuadro 1, se describe una estratificación térmica para identificar zonas potenciales para agave, la cual se enfoca hacia la evasión de riesgos ligados a la ocurrencia

de heladas y a la localización de zonas con temperaturas diurnas y nocturnas frescas que favorezcan la fotosíntesis en *A. tequilana*. En este cuadro también se incluyen otras variables de importancia para diagnosticar áreas potenciales de agave, como son la lluvia, la altitud y la pendiente del suelo.

Los intervalos de las variables del Cuadro 1 se derivaron de las necesidades agroecológicas del agave relacionadas con altitud, precipitación, temperatura y pendiente del suelo. En el caso de esta última, se utilizó un intervalo con altitud, precipitación, temperatura y pendiente del suelo. En el caso particular de esta última, se utilizó un intervalo óptimo de dos a ocho por ciento, en correspondencia con los criterios establecidos por la industria tequilera para la selección de terrenos donde establecer nuevas plantaciones de agave.

POTENCIAL AGROECOLOGICO			
Variable	Condición		
	Óptima	Subóptima	Marginal
Temperatura nocturna (°C)	11 a 21	-1 a 11 y 21 a 28	<-1 y >28
Probabilidad de heladas	< 0.10		>0.10
Altitud (msnm)	1 000 a 2 200	600 a 1 000 y	< 600 y
		2 200 a 2 500	> 2 500
Pendiente del suelo (%)	2 a 8	1 a 2 y	< 1 y
		8 a 45	> 45
Lluvia anual (mm)	600 a 1 500	1 500 a 1 800	< 600 y
			> 1 800

Cuadro 1. Intervalos de variables ambientales para identificar potencial agroecológico para el cultivo de *Agave tequilana*.

Con las condicionantes indicadas en el Cuadro 1 y utilizando un sistema de información ambiental compilado en un sistema de información geográfica (SIG), es posible delimitar áreas con potencial para el cultivo de agave.

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos con respecto a la determinación de áreas óptimas para el cultivo del agave en la República Mexicana en general y en particular para las zonas de denominación de origen

del tequila. El procedimiento desarrollado implicó la utilización del sistema de información ambiental del INIFAP (Medina *et al.*, 1998), el cual consta de imágenes temáticas «raster» (celdas) a una resolución de 900 x 900 m y compiladas en el Sistema de Información Geográfica IDRISI32 (Eastman, 1999). El proceso de identificación de áreas potenciales consistió en reclasificar imágenes temáticas (por variable), en función de los requerimientos del cultivo (Cuadro 1) y sobreponerlas para finalmente encontrar las áreas óptimas para esta especie.

En la Figura 2 se describe la distribución espacial de las áreas con potencial para establecer *Agave tequilana* en las zonas DOT de México. Como puede verse, la mayor parte de las áreas potenciales se distribuyen en la porción occidente del país, contrastando con la parte oriental, representada por el sur del Estado de Tamaulipas. Se cuantificó un total de 576 477 ha con condiciones óptimas para cultivar agave, de acuerdo con los requerimientos ambientales del cultivo y de la industria tequilera especificados en el Cuadro 1. Esto confirma las amplias potencialidades del país para el cultivo de *Agave tequilana*, lo cual seguramente satisface las necesidades de superficie de plantación para abastecer tanto al mercado nacional como al internacional.

En este proceso de determinación de áreas potenciales, la variable que mayormente restringió la superficie potencial para agave fue la pendiente del suelo.

En las Figuras de la 3 a la 7, se describe la distribución de áreas con potencial para el cultivo del agave, bajo condiciones óptimas en los estados de Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Nayarit y Tamaulipas. Como se sabe, sólo en el Estado de Jalisco, la totalidad de los municipios pertenecen a la zona de denominación de origen, por lo que en este estado el análisis de áreas potenciales se realizó en toda la extensión territorial de la entidad. En total, para Jalisco se cuantificó un total de 468 828 ha con potencial para el cultivo de agave (Figura 3), lo que corresponde al 81.3 por ciento de la superficie total del país con potencial para este cultivo. Se identificaron áreas óptimas para agave en todos los municipios del estado, con excepción de los siguientes: Puerto Vallarta, Cabo Corrientes, Tomatlán, La Huerta, Cihuatlán, Casimiro Castillo, Cuautitlán, Huejúcar, Santa María de los Angeles, Jilotlán de los Dolores, Manuel M. Diéguez, Teocaltiche, Jalostotitlán, Encarnación de Díaz y Ojuelos.



Figura 2. Áreas con potencial para el cultivo de *Agave tequilana* Weber Var. Azul en zonas de denominación de origen de la República Mexicana.

Como se observa en la Figura 3, la mayor concentración de áreas óptimas se produce en un conglomerado formado entre los municipios de Ixtlahuacán del Río, Zapotlanejo, Acatic y Tonalá; y en otro conglomerado formado por los municipios de Ayutla, Atengo, Tenamaxtlán, Unión de Tula, Tecolotlán y Juchitlán.

En la Figura 4 se observan las áreas potencialmente productoras de agave del Estado de Guanajuato. Como se aprecia, todos los municipios considerados dentro de la zona de denominación de origen presentaron áreas con potencial para agave, como: Romita, Abasolo, Manuel Doblado, Cuerámara, Huanimaro, Purísima del Rincón y Pénjamo, aunque la mayor proporción de superficie se concentra en el Municipio de Pénjamo. Como se muestra en la Figura 4, el total de superficie con condiciones óptimas para agave es de 37 503 ha, que representan el 6.5 por ciento de la superficie con potencial en la DOT (Denominación de Origen del Tequila).

En el Estado de Michoacán se totalizó una superficie de 44 793 ha con potencial en su zona de denominación de origen (Figura 5), lo que equivale al 7.8 por ciento de la superficie óptima para el cultivo de agave en la DOT. De los 30 municipios michoacanos que se incluyen actualmente en la zona de denominación de origen del tequila, sólo en cuatro no se localizaron áreas con condiciones óptimas para *Agave tequilana*, siendo estos: Venustiano Carranza, Briseñas, Tangamandapio y Tangancícuaro (Figura 5).

En la Figura 6 se muestra la distribución espacial de las áreas con potencial para producir agave en el Estado de Nayarit. Como puede verse en el mapa de dicha figura, de los ocho municipios considerados en la denominación de origen, solamente Amatlán de Cañas y Tepic presentaron áreas muy reducidas con potencial. El total estatal fue de 20 493 ha con condiciones óptimas para agave, lo que constituye el 3.6 por ciento de la superficie potencial nacional.

Finalmente, en el Estado de Tamaulipas, de 11 municipios que están considerados en la zona de denominación de origen, solamente el Municipio de Tula presentó condiciones óptimas para el desarrollo del agave, con un total de 4 860 ha, que representa tan sólo el 0.8 por ciento de la superficie con potencial de la DOT (Figura 7).

En el Cuadro 2 se describe en que tipos de ambiente se distribuye la superficie con potencial para producir agave obtenida en las cinco entidades

que comprenden la zona de denominación de origen. Como puede verse, en Jalisco y Nayarit, la superficie óptima para *Agave tequilana* se concentra mayormente en la condición de subtrópico subhúmedo semicálido, mientras que en Guanajuato, Michoacán y Tamaulipas el ambiente que comprende la mayor parte de la superficie con potencial es el subtrópico semiárido semicálido. Una condición templada (subtrópico subhúmedo templado) es importante en el Estado de Michoacán, ya que concentra cerca de la tercera parte de la superficie potencial para el cultivo de agave.

Las variantes climáticas que incluyen una condición cálida, agrupan una baja proporción de la superficie con potencial para agave, siendo Nayarit el estado en el que esta condición climática mantiene una mayor representación, ya que como puede verse en el Cuadro 2, el ambiente trópico subhúmedo cálido concentra el 17.4 por ciento de la superficie óptima para agave en esa entidad.

Cuadro 2. Distribución porcentual de la superficie potencial de agave por tipos de ambiente.

Ambiente	Jalisco	Guanajuato	Michoacán	Nayarit	Tamaulipas
Subtrópico semiárido templado	2.920	0.400	4.700		5.000
Subtrópico subhúmedo templado	6.617		30.900		
Subtrópico semiárido semicálido	23.445	99.600	37.800		88.333
Subtrópico subhúmedo semicálido	57.429		25.700	72.300	6.667
Subtrópico semiárido cálido	0.536				
Subtrópico subhúmedo cálido	0.173			3.200	
Trópico semiárido semicálido	1.071				
Trópico subhúmedo semicálido	2.713			7.100	
Trópico semiárido cálido	2.021				
Trópico subhúmedo cálido	3.075			17.400	

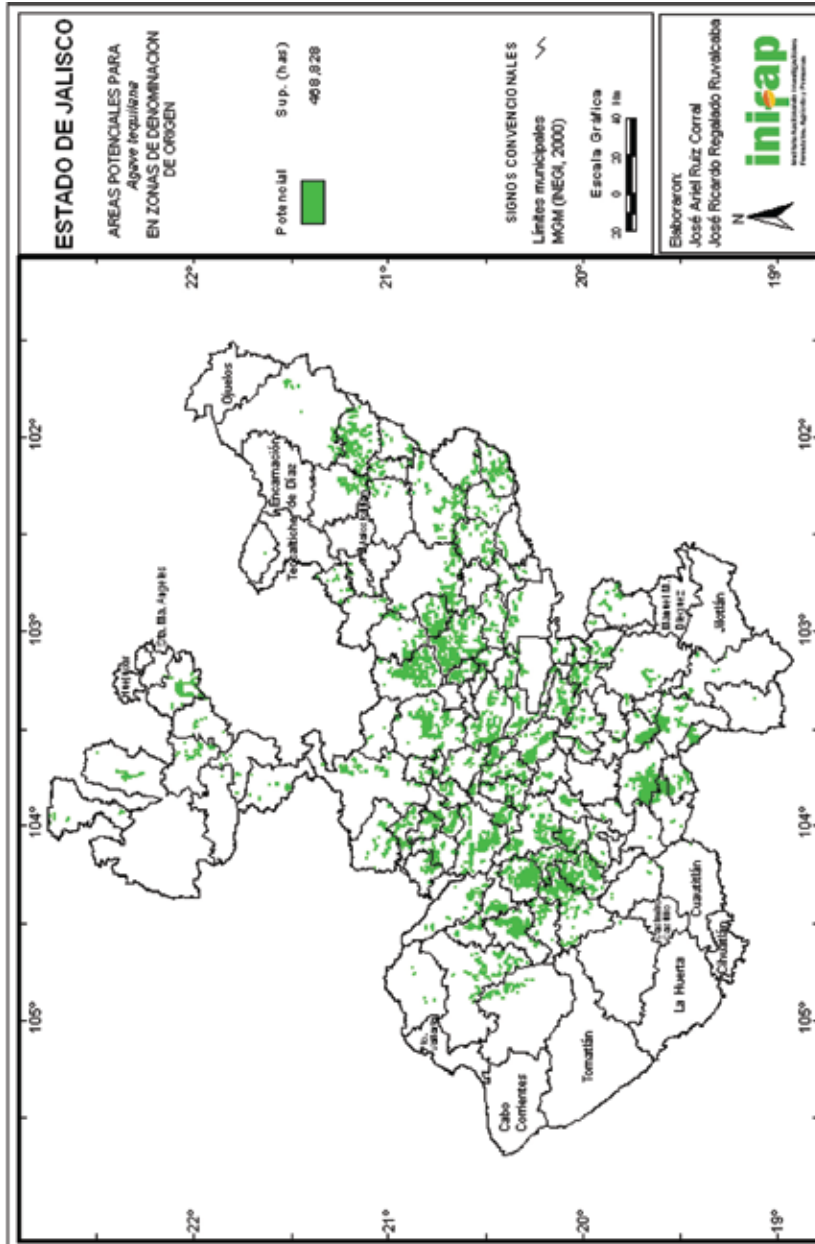


Figura 3. Áreas con potencial para el cultivo de *Agave tequilana* Weber Var. Azul en zonas de denominación de origen del Estado de Jalisco.

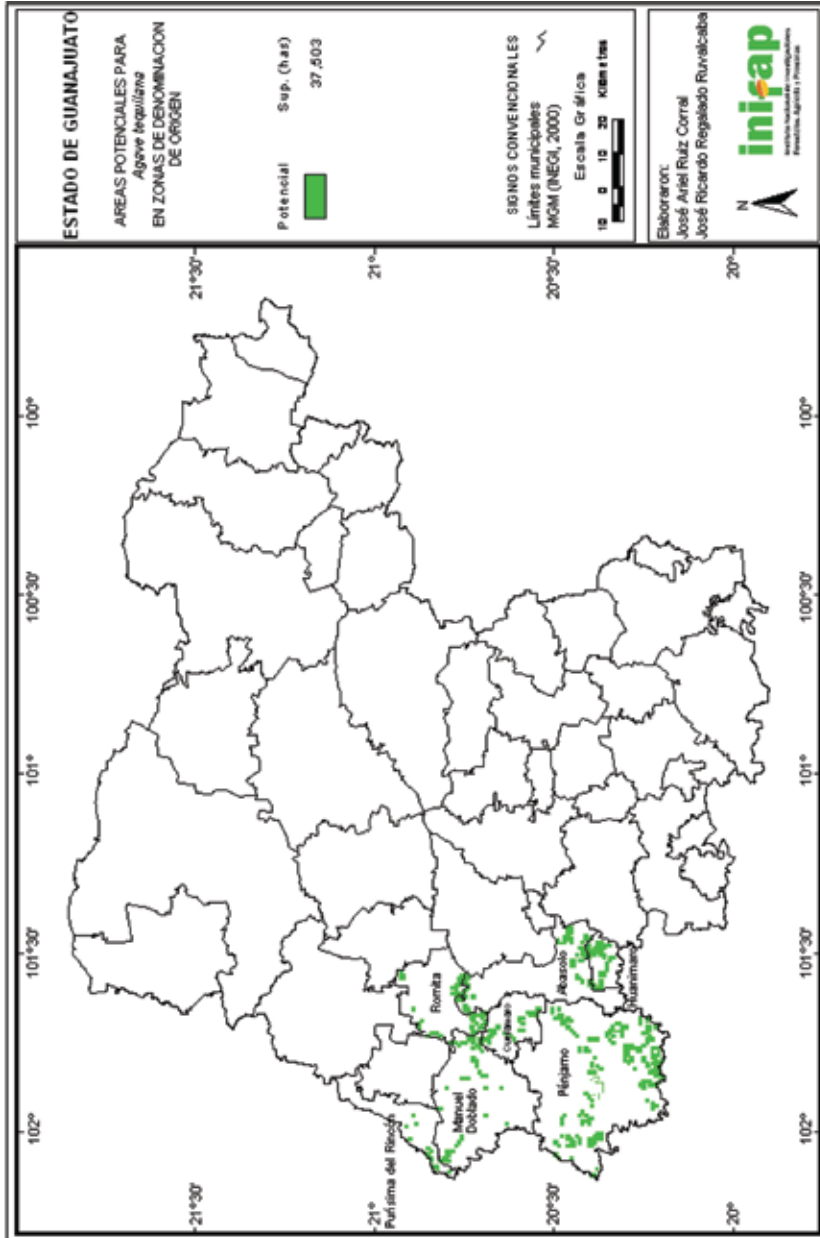


Figura 4. Areas con potencial para el cultivo de Agave tequilana Weber Var. Azul en zonas de denominación de origen del Estado de Guanajuato.

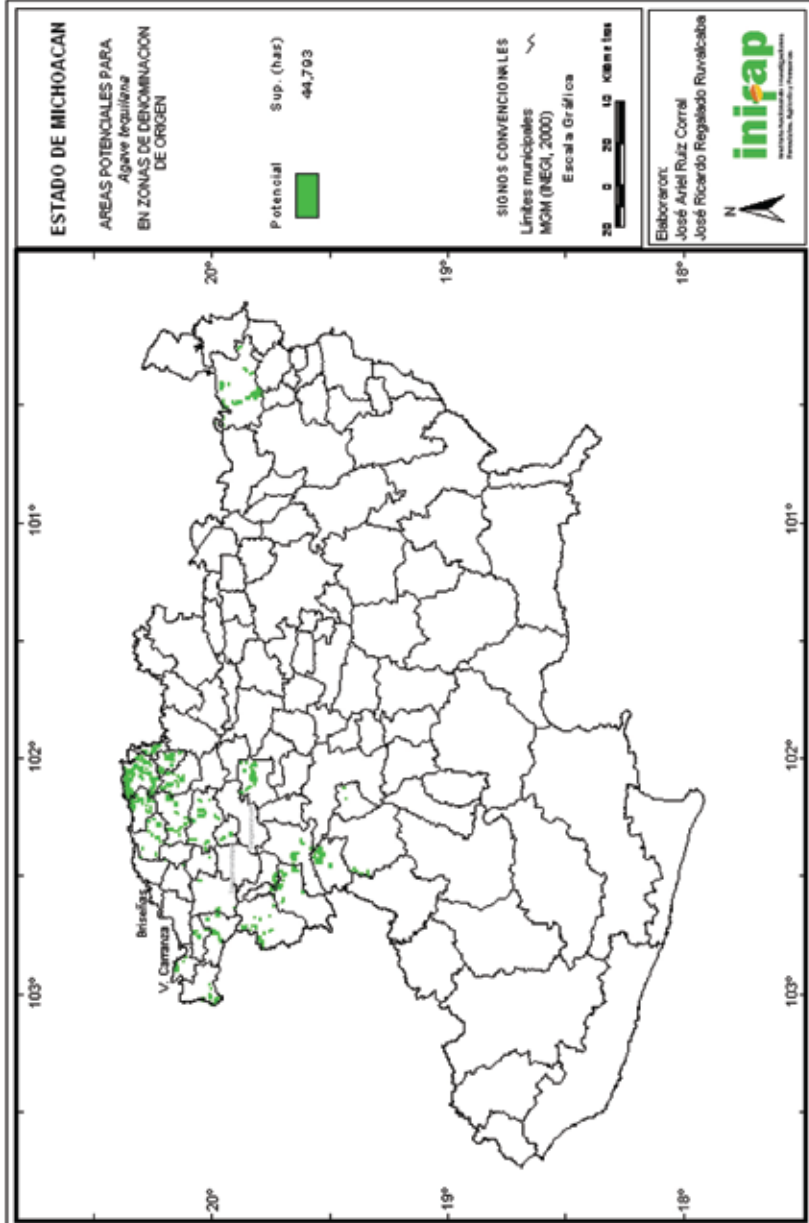


Figura 5. Áreas con potencial para el cultivo de *Agave tequilana* Weber Var. Azul en zonas de denominación de origen del Estado de Michoacán.

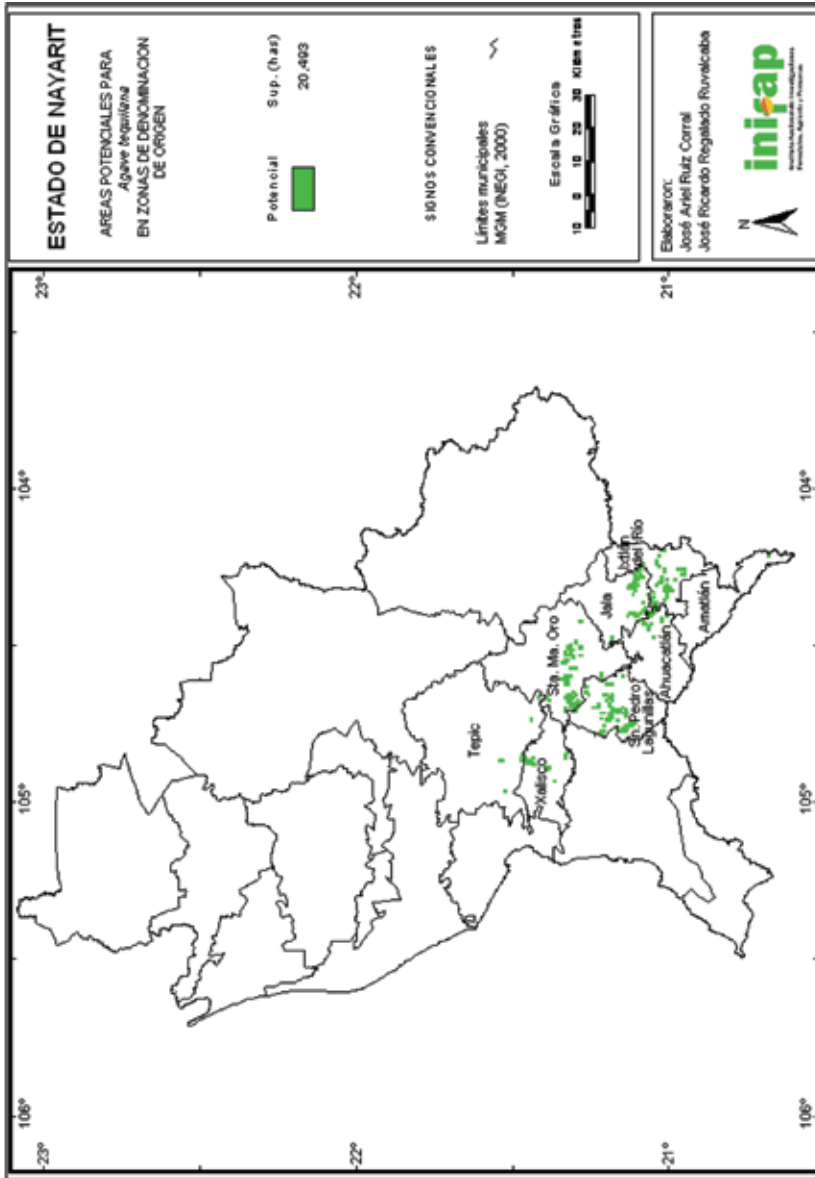


Figura 6. Áreas con potencial para el cultivo de *Agave tequilana* Weber Var. Azul en zonas de denominación de origen del Estado de Nayarit.

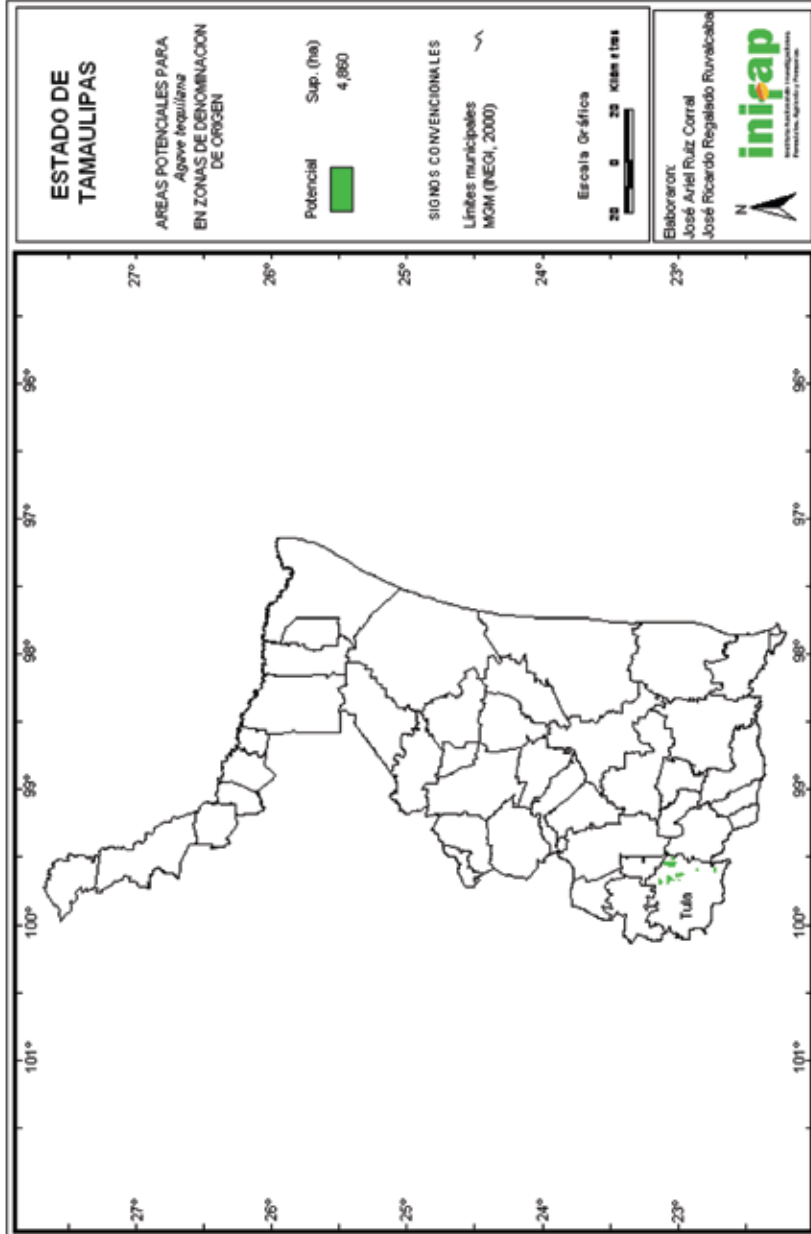


Figura 7. Áreas con potencial para el cultivo del *Agave tequilana* Weber Var. Azul en zonas de denominación de origen del Estado de Tamaulipas.

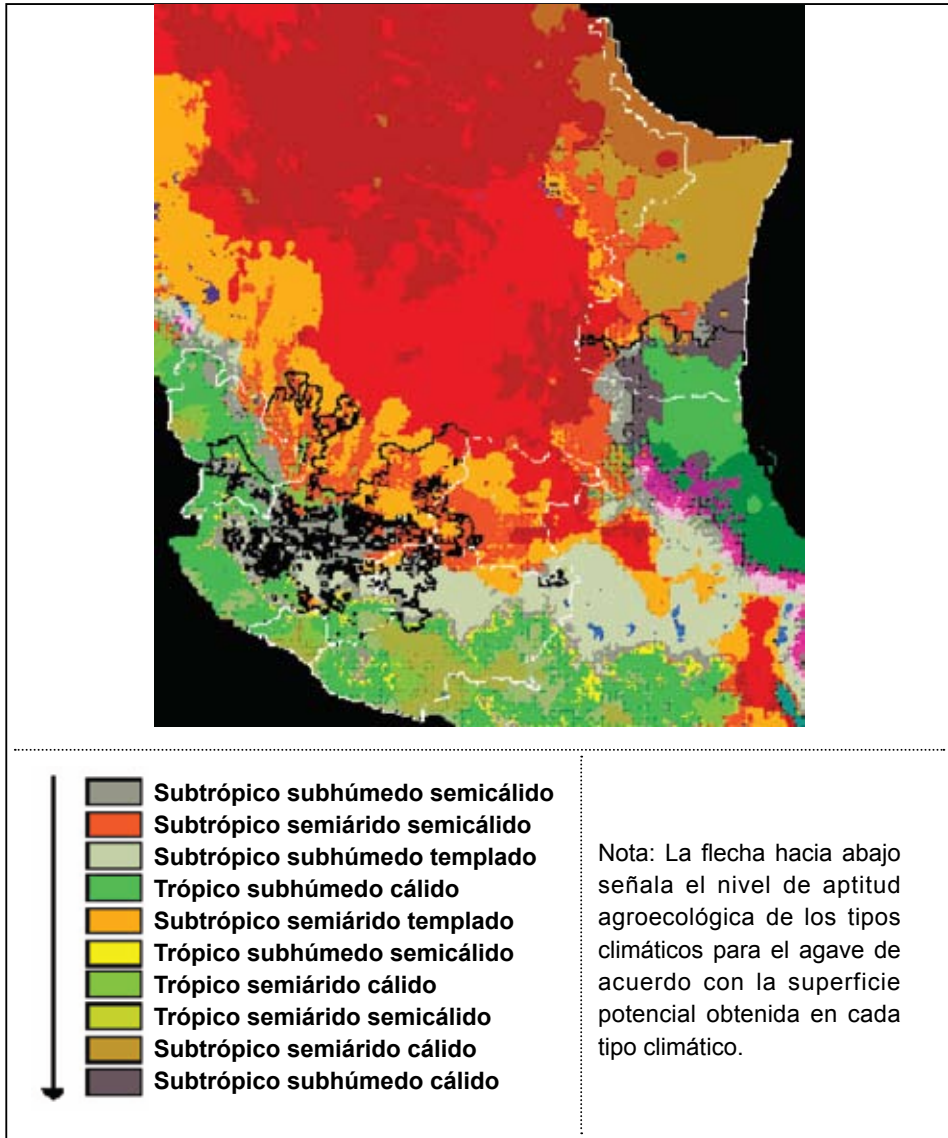


Figura 8. Tipos climáticos y áreas con potencial para el cultivo de *Agave tequilana* dentro de la zona de denominación de origen del tequila en México.

LITERATURA CITADA

- Eastman, J. R. 1999. Idrisi32. Guide to GIS and image processing Vol. 1. Clark Labs-Clark University. Worcester , MA, U.S.A. 193 p.
- FAO. 1994. ECOCROP 1. The adaptability level of the FAO crop environmental requirements database. Versión 1.0. AGLS. FAO. Rome, Italy.
- FAO. 1996. Zonación agroecológica: Guía general. Boletín de Suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Flores L., H. E., K. F. Byerly M., J. J. Aceves R., y J. A. Ruiz C. 2002. Diagnóstico del sistema de producción de agave con énfasis en problemas fitosanitarios. pp. 63-95. *In* Análisis agroecológico de *Agave tequilana* Weber var. Azul con énfasis en problemas fitosanitarios en Jalisco. Publicación Especial Núm. 1. INIFAP-CIRPAC-Campo Exp. Altos de Jalisco. Tepatitlán, Jalisco, México.
- Flores L., H. E., J. A. Ruiz C., R. A. Martínez P., D. R. González E. y L. Nava V. 2003. Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el estado de Jalisco: Distrito de Desarrollo Rural 066 Lagos de Moreno. Folleto Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRPAC-C.E. Altos de Jalisco. Tepatitlán, Jal. México. 54 p.
- Gentry, H. S. 1982. Agaves of Continental North America. *The University of Arizona Press. Tucson, Arizona.*
- Gibson, A. C., and P. S. Nobel. 1986. The Cactus Primer. Harvard University Press. Cambridge. 286 p.
- López S., J. L., J. A. Ruiz C., J. J. Sánchez G. y R. Lépiz I. 2005. Adaptación climática de 25 especies de frijol silvestre (*Phaseolus* spp) en la República Mexicana. Revista Fitotecnia Mexicana. 28: 221-230.
- Medina G.,G., J. A. Ruiz C. y R. A. Martínez P. 1998. Los Climas de México. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco, México. 103 p.

- Nobel, P. S., and S. D. Smith. 1983. High and low temperature tolerance and their relationships to distribution of agaves. *Plant Cell and Environment*. 6:711-719.
- Nobel, P. S., and T. I. Hartsock. 1984. Physiological responses of *Opuntia ficus-indica* to growth temperatures. *Physiologia Plantarum* 60: 98-105.
- Nobel, P. S. 1988. *Environmental Biology of Agave and Cacti*. Cambridge University Press, New York, 270p.
- Nobel, P. S. 1994. *Remarkable Agaves and Cacti*. Cambridge University Press. New York. 166 p.
- Nobel, P. S., and E. Pimienta-Barrios. 1995. Monthly stem elongation for *Stenocereus queretaroensis*: relationships to environmental conditions, net CO₂, and seasonal variation in sugar content. *Environmental and Experimental Botany* 35: 17-42.
- Nobel, P.S., M. Castañeda, G. North, E. Pimienta B., and J. A. Ruiz C. 1998. Temperature influences on leaf CO₂ exchange, cell viability and cultivation range for *Agave tequilana*. *Journal of Arid Environments* 39:1-9.
- Orchard, T. J. 1976. The constant temperature equivalent. *Scientia Hort.* 4: 299-307.
- Pimienta B., E., and P. S. Nobel. 1998. Vegetative, reproductive, and physiological adaptations to aridity of pitayo (*Stenocereus queretaroensis*) Cactaceae. *Economic Botany*. 52: 401-411.
- Pimienta B., E., C. Robles M., J. A. Ruiz C., P. S. Nobel y J. García G. 1999. Regiones térmicas óptimas y marginales para el cultivo de *Agave tequilana* en el Estado de Jalisco. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. 47 p.
- Pimienta B., E., J. Zañudo, E. Yopez, E., and P.S. Nobel. 2000. Seasonal variation of net CO₂ uptake for cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) and pitayo (*Stenocereus queretaroensis*) in a semiarid environment. *Journal of Arid Environments* 44: 73-83.

- Robertson, G.W. 1983. Weather-based mathematical models for estimating developing and ripening of crops. Technical Note Num. 180. WMO Num. 620. Geneva, Switzerland. 99 p.
- Ruiz C., J. A., G. Medina G. y R.A. Martínez P. 1997a. Estratificación ambiental del Estado de Jalisco. *In* Memorias del Simposio Ciencia y Tecnología Jalisco 1997. CONACYT. Guadalajara, Jalisco. pp. 95-96.
- Ruiz C., J. A., H. E. Flores L., R. A. Martínez, D. R. González y L. Nava. 1997b. Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el Distrito de Desarrollo Rural de Zapopan, Jalisco. Folleto Técnico Núm. 5. INIFAP-CIRPAC-C.E. Centro de Jalisco. Tlajomulco de Zúñiga, Jal. México. 60 p.
- Ruiz C., J. A., K. F. Byerly, R. A. Martínez, D. R. González E., L. Nava, S. De la Paz, P. Alemán, J. Aceves y H.E. Flores L. 1998. Determinación del potencial productivo de especies vegetales para el Distrito de Desarrollo Rural de Ameca, Jalisco. Folleto Técnico Núm. 6. INIFAP-CIRPAC-C.E. Centro de Jalisco. Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco México. 60 p.
- Ruiz C., J. A., G. Medina, I. J. González, C. Ortiz, H. E. Flores L., R. A. Martínez y K. F. Byerly. 1999. Requerimientos agroecológicos de cultivos. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP-CIRPAC. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco, México México. 362 p.
- Ruiz C., J. A., E. Pimienta B. y J. Zañudo H. 2002. Regiones térmicas óptimas y marginales para el cultivo de *Agave tequilana* en el Estado de Jalisco. *AGROCIENCIA* 36(1):41-53.
- Ruiz C., J. A., I. J. González A., J. R. Regalado R., J. Anguiano C., I. Vizcaíno V. y D. R. González E. 2003a. Recursos edafo-climáticos para la planeación del sector productivo en el Estado de Jalisco. Libro Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRPAC. Ed. Conexión Gráfica. Guadalajara, Jalisco. 172 p.
- Ruiz C., J. A., I. J. González A., J. Anguiano C., I. Vizcaíno V., D. Ibarra C., J. Alcalá G., S. Espinoza V. y H. E. Flores L. 2003b. Estadísticas climatológicas básicas para el Estado de Jalisco (Periodo 1961-2000). Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC-C.E. Centro de Jalisco. Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. 281 p.

- Ruiz C., J. A., L. E. Valdez D., H. E. Flores L., G. Medina G., J. L. Ramírez D., J. F. Pérez D., J. J. Aceves R., M. Chuela B., A. González A., L. Soltero D., S. Medina O., J. R. Regalado R., J. R. Chávez C., P. Díaz M., C. González S., C. Santiago D. y F. M. Del Toro C. 2005. Potencial productivo agrícola de la Región Norte de Jalisco. Libro Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC. C.E. Centro Altos de Jalisco. 288 p.
- Vargas T., V. M. 2004. Evaluación del potencial agroecológico del cultivo de *Agave tequilana* Weber en el Estado de Jalisco. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara, Facultad de Agronomía. Zapopan, Jalisco. 46 p.
- Villalpando, J. F. 1985. Métodos de análisis en agroclimatología. Documento de circulación interna. INIA. C.E. Zapopan, Zapopan, Jalisco, México. 120 p.

**Conocimiento y prácticas
agronómicas para la producción
de *Agave tequilana* Weber
en la zona de denominación
de origen del tequila**

**MUESTREO Y ANALISIS DE SUELO
EN PLANTACIONES DE AGAVE**

Páginas 37-55

**Jaime Xavier Uvalle Bueno
Cecilia Vélez Gutiérrez
Adriana Ramírez Figueroa**

CAPÍTULO II

Cita correcta:

Uvalle Bueno, J. X., C. Vélez G. y A. Ramírez F. 2007. Muestreo y análisis de suelo en plantaciones de agave p. 37-55 *In* Rulfo V., F. O. *et al.* (ed.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro.

MUESTREO Y ANALISIS DE SUELO EN PLANTACIONES DE AGAVE

Jaime Xavier Uvalle-Bueno¹
Cecilia Vélez-Gutiérrez¹
Adriana Ramírez-Figueroa¹

RESUMEN

En este capítulo se describe el procedimiento de muestreo y análisis de suelos en plantaciones de agave azul, el equipo necesario, el procedimiento para tomar las muestras en el campo y su identificación para enviarlas al laboratorio, en donde se analizan para determinar las características físicas del suelo como: la densidad aparente, el espacio poroso, materia orgánica, la conductividad hidráulica o permeabilidad y otras características. El análisis de fertilidad comprende las determinaciones de: pH, nitrógeno (nitrógeno), fósforo disponible, potasio, calcio, magnesio y sodio intercambiables, así como la disponibilidad de micronutrientes: B, Cu, Fe, Mn y Zn. Una vez obtenidos los datos necesarios, se evalúan e interpretan a fin de elaborar las recomendaciones más apropiadas para obtener los mejores rendimientos de productos de buena calidad para la elaboración del tequila.

Palabras clave: agave, muestreo de suelo, análisis, contenido nutricional.

SAMPLING AND ANALYSIS OF AGAVE PLANTATIONS SOILS ABSTRACT

Soil sampling and analysis in “agave azul” plantations are described in this chapter. There are also described the necessary equipment, the procedure to take soil samples in the field, and their identification to send them to the laboratory where they are analyzed to determine the soil physical and fertility characteristics such as: bulk density, the pore space, and hydraulic conductivity. The fertility analysis comprehends determination of pH, nitrogen (nitric), available phosphorus, interchangeable potassium, calcium, and sodium, and

1. Laboratorio de Investigación y Desarrollo. División Agrícola. Casa Cuervo, S.A. de C.V.

Jaime Xavier Uvalle Bueno <juvalle@cuervo.com.mx>

Cecilia Veléz Gutiérrez <cvelez@cuervo.com.mx>

Adriana Ramírez Figueroa <adramirez@cuervo.com.mx>

the micro-nutrients B, Cu, Fe, Mn, and Zn availability. Once the necessary data are obtained they are evaluated and interpreted to elaborate the most appropriate recommendations to obtain the best possible yields of good quality products to elaborate tequila.

Keywords: agave, soil sampling, analysis, nutritional content.

INTRODUCCION

La ciencia del suelo o pedología es la disciplina que se dedica al estudio, investigación y enseñanza del suelo; define a éste como la capa superficial de la corteza terrestre que sufre alteraciones debidas al intemperismo, donde se desarrollan las plantas sustento de los animales y el hombre (Mückenhausen, 1982).

La heterogeneidad es una característica general del suelo, inherente a su naturaleza trifásica y tetradimensional; porque presenta los tres estados de la materia: fase sólida, fracción orgánica e inorgánica; fase líquida, agua y solución del suelo; fase gaseosa, aire del suelo; tetradimensional porque los procesos de intemperización física y química, involucrados en su desarrollo como resultado de su interacción con el medio ambiente, se manifiestan en el tiempo y en el espacio. Las variaciones en el tiempo, se dan como consecuencia de los procesos de evapotranspiración, salinización, lixiviación, consumo y/o acumulación de nutrimentos y otros factores que suceden en el suelo. Por otro lado, los cambios en el espacio ocurren en las tres dimensiones, largo, ancho y profundidad (perfil del suelo). La heterogeneidad se hace más compleja con la actividad del hombre, sobre todo en áreas bajo explotación agrícola intensiva. (Uvalle-Bueno, 2000). El muestreo y análisis del suelo tienen como objetivo determinar las características y composición del suelo, a fin de realizar las prácticas agronómicas apropiadas para proporcionar a las plantas de cultivo los elementos necesarios para su desarrollo y producción.

MUESTREO DE SUELO

Rodríguez y Burguete (1987) describen ampliamente la importancia que adquiere el muestreo de suelos por el hecho de su heterogeneidad.

Como producto de la heterogeneidad, la fertilidad del suelo varía horizontal y verticalmente así como en el tiempo, aún en superficies menores de 0.5 m². La variación horizontal se trata de controlar con la unidad de muestreo y el número de submuestras; la variación vertical se enfrenta con la profundidad de muestreo y la variabilidad en el tiempo con la época de muestreo.

La inspección ocular del terreno es útil para elaborar un croquis en el que se separen áreas más o menos uniformes. Como criterios de uniformidad se consideran:

- La pendiente del terreno.
- El color del suelo.
- La presencia de áreas pedregosas o afectadas por sales.
- La textura.
- La rotación de cultivos y sus rendimientos.
- La condición general del cultivo anterior.
- El uso de abonos orgánicos o mejoradores de suelo.
- La intensidad de labranza y otros.

La separación de áreas uniformes o unidades de muestreo tiene como objetivo manejar en forma independiente las recomendaciones de fertilización y mejoramiento del suelo.

Bajo cualquier circunstancia, es conveniente que las unidades de muestreo no sean mayores de 10 ha para reducir la variabilidad natural del terreno.

En este caso, cuando ya existen plantaciones de agave, también es conveniente considerar: pendiente, color del suelo, pedregosidad, textura, uso de enmiendas y condición general de la plantación.

El número de submuestras necesario para obtener una muestra compuesta representativa de la unidad de muestreo depende de varios factores:

- Superficie y variabilidad del terreno a muestrear.
- Tiempo y recursos económicos para la toma de muestras.
- Rentabilidad del análisis para el productor.

Uvalle-Bueno (2000) establece que en plantaciones de agave es adecuado considerar seis submuestras por unidad de muestreo de 1 a 10 hectáreas.

En plantaciones adultas de agave se dificulta el paso de una hilera de plantas a otra, por lo que sobre una línea imaginaria en zigzag se toman las submuestras de suelo. En una fracción de aproximadamente 3.0 ha con cerca de 50 hileras de plantas a 3.0 m entre hileras y 200 plantas a 1.1 m entre plantas, a manera de ejemplo la distribución de la toma de submuestras (x) sería la siguiente:

										X											
				X																	
														X							
								X												X	
		X																			

Se eliminan las dos hileras del principio y el final de la fracción; se toma la primer submuestra en la 3ª o 4ª hilera a la altura de la planta # 20; y así sucesivamente en la 18ª o 22ª hilera, planta # 80; 38ª o 40ª hilera, planta # 50. Se ingresa por el otro extremo de la fracción y se toma submuestra en la 10ª o 12ª hilera, planta # 30; 30ª o 32ª hilera, planta # 60; y 46ª o 48ª hilera, planta # 90.

Una vez delimitados la unidad de muestreo, el número de submuestras y su distribución. La recolección requiere considerar:

- Equipo de muestreo.
- Profundidad y toma de muestra.
- Epoca de muestreo.

Equipo de muestreo

Peck y Melsted (1973) señalan que un buen equipo de muestreo debe permitir que las submuestras tengan el mismo volumen de suelo muestreado (misma profundidad y espesor), que facilite la preparación de la muestra compuesta, que sea fácil de limpiar, que no contamine la muestra y que lo mismo pueda usarse en suelos arenosos secos, que en suelos arcillosos húmedos.

El barretón con hoja ancha y mango de hierro, que se emplea en el arranque de hijuelos de agave permite excavar fácilmente y la pala recta complementa el instrumental de muestreo.

Profundidad, forma y preparación de la muestra compuesta

Cuando se usa pala recta, se excava en forma de “V” y de uno de los costados se toma una porción de suelo de 5 cm de espesor, 10 cm de ancho, y de 0–30 cm de profundidad. El ancho de 10 cm queda al eliminar las porciones laterales en la pala recta y dejar la parte central. Esta submuestra se deposita en un recipiente de plástico identificado para el estrato o capa 0 – 30 cm.

Para obtener la submuestra de subsuelo, se continúa excavando hasta 60 cm de profundidad, se repite el procedimiento anterior, y se deposita la submuestra de subsuelo en otro recipiente de plástico identificado 30 – 60 cm. En cualquier caso, debe evitarse que el suelo de la capa 0 – 30 cm se mezcle con la capa del subsuelo 30 – 60 cm.

Al terminar de reunir las submuestras de cada profundidad se mezclan cuidadosamente en su respectivo recipiente, y se obtiene una muestra compuesta de 2 kg de suelo o subsuelo, la cual se coloca en doble bolsa de polietileno, asegurándose que la muestra no se vaya a salir de la bolsa. Se debe usar marcador de preferencia negro y resistente al agua.

No olvidar etiquetar debidamente las muestras. Si no se dispone de marcador, se puede anotar en un papel y colocarlo entre las dos bolsas. No deben colocarse identificaciones en papel junto con el suelo, sobre todo si éste está húmedo.

Es posible que por una economía mal entendida, el usuario decida muestrear sólo la capa superficial de 0–30 cm, sin comprender que el conocimiento de las condiciones del subsuelo es útil para determinar si es conveniente realizar una labranza más intensa y profunda. El análisis de una muestra representativa de 10 ha, cuesta alrededor de \$ 400.00. El uso de cincel profundo y barbecho pudieran no ser necesarios en un suelo que puede prepararse sólo con rastreo.

Uvalle-Bueno (1993) menciona que el deterioro de las propiedades físicas (compactación) del subsuelo que genera mal drenaje y aireación deficiente, influye sobre el comportamiento químico de la capa arable, pues en suelos alcalinos ricos en carbonatos y fósforo en esta capa arable, la compactación del subsuelo fomenta la clorosis férrica, situación a la que no escapan las plantas de agave en algunos suelos alcalinos de la región de Autlán y del sur de Jalisco.

La mejor época de muestreo es la que se adapta más al calendario de trabajo de campo, y se debe procurar siempre disponer con oportunidad de los resultados de los análisis para programar adecuadamente las adquisiciones y aplicaciones de fertilizantes, abonos o mejoradores de acuerdo con las recomendaciones.

En los suelos ubicados geográficamente dentro de la región con denominación de origen para la elaboración del tequila, tradicionalmente las prácticas de encalado y fertilización se realizan al año de establecida la plantación de agave y se efectúan en el período de marzo a junio, antes de la temporada de lluvias.

El período con clima frío y seco, de octubre a febrero, es el más adecuado para realizar con oportunidad el muestreo de suelos en plantaciones de agave. Sin embargo, este período de muestreo puede ampliarse, obviamente hasta que la temporada de lluvias lo permita.

Datos para identificación de la muestra

El esfuerzo realizado y el tiempo consumido en el muestreo puede perderse totalmente por no identificar adecuadamente las muestras de suelo. A continuación se da un ejemplo de identificación de muestras.

Se requiere anotar:

Nombre del propietario: Jorge Soto
 Ubicación del predio: Zapotlán del Rey, Jalisco
 Nombre del predio: El Coyote
 Edad de la plantación: lote 3 años, 2002
 No. de muestra: M – 4
 Profundidad, cm: 0 – 30
 Fecha de muestreo: 4 de abril de 2005

Al enviar las muestras al laboratorio, se debe hacer una relación.
 Ejemplo:

No. Muestra	Prof., cm	Fecha	Edad o Lote	Nombre del Predio	Ubicación del Predio	Propietario del Predio
M - 1	0 - 30	04/04/05	2002	Coyote	Zapotlán, Jal.	Jorge Soto
M - 1	30 – 60	“	“	“	“	“
M - 2	0 - 30	10/04/05	2004	El Cuervo	Acatic, Jal.	Jesús Cuen
M - 2	30 - 60	“	“	“	“	“

También debe comunicarse al laboratorio la dirección, Fax o correo electrónico de la persona interesada en recibir los resultados, así como los datos de facturación.

En el caso de varias fracciones o lotes se debe hacer un croquis de muestreo para su posterior localización y facilitar la aplicación de las recomendaciones de labranza, fertilización, encalado, etc.

ANALISIS DE SUELO PARA EVALUAR SU FERTILIDAD

La fertilidad de un suelo es la habilidad natural que posee para producir altos rendimientos de los cultivos agrícolas. Sin embargo, hoy en día prácticamente no existen tales condiciones de suelo, por lo que es indispensable recurrir a la fertilización de cuya aplicación el agricultor espera obtener un mayor beneficio económico.

El mejor beneficio económico se logra si se conocen las necesidades nutricionales del cultivo en sus diferentes etapas de desarrollo, la capacidad del suelo para satisfacerlas y se determinan racionalmente las fuentes de fertilización, las fórmulas, las dosis, el momento y la técnica de aplicación, para cuyo establecimiento el análisis de suelo es una gran herramienta.

El análisis de suelo se realiza en una muestra representativa para evaluar su fertilidad y generar recomendaciones de fertilización y manejo integral del cultivo, en apoyo a la toma de decisiones del productor agrícola. El análisis no puede ser mejor que la muestra. El análisis de suelo, después del muestreo, comprende las etapas de preparación de la muestra, análisis, interpretación y recomendación.

Preparación de la muestra

Las muestras de suelo se secan al aire, a la sombra sobre papel de estraza, no papel periódico; se muelen con un mazo de madera o en molino para suelo; y se tamizan por malla No. 10 y malla No. 20, para los análisis físicos y químicos, respectivamente.

Análisis de suelos

Un análisis completo de rutina para evaluar la fertilidad del suelo contempla cuatro grupos, con un total de 20 determinaciones:

Análisis básico.- Comprende textura, materia orgánica y reacción del suelo o pH.

Análisis del extracto de saturación.- Informa sobre el porcentaje de saturación, pH de pasta saturada y conductividad eléctrica.

Análisis físico.- Reporta la densidad aparente, el espacio poroso y la conductividad hidráulica o permeabilidad.

Análisis de fertilidad.- Incluye las determinaciones de nitrógeno (nitrógeno), fósforo disponible, potasio, calcio, magnesio y sodio intercambiables. Así como la disponibilidad de micronutrientes: B, Cu, Fe, Mn y Zn.

Los análisis de laboratorio los realiza personal calificado, y con instrumentos de alta tecnología como plasma, absorción atómica, espectrofotometría UV-Vis, horno de microondas, potenciómetros, conductímetros, balanzas analíticas, etc.

Dado que el presente documento no pretende ser un manual de técnicas analíticas, a continuación, más bien, se describe brevemente la función de las propiedades del suelo:

Propiedades del suelo

Textura.- Se refiere a la proporción de las partículas fundamentales del suelo: arena, limo y arcilla, para establecer el tipo de suelo. Influye en la capacidad de aireación y drenaje. La nomenclatura o nombre de la textura se expresa con un sustantivo y uno o dos adjetivos. El sustantivo señala la partícula en mayor proporción, seguido por los adjetivos correspondientes. Ejemplo: arcilla limo arenosa es una textura donde predomina la arcilla, seguida de limo y después de arena; migajón ligeramente arenoso en este suelo están balanceadas las proporciones de las tres partículas, con una ligeramente mayor cantidad de arena. Cuando aparece solamente el sustantivo, es decir, arena, limo o arcilla, es porque la proporción de esa partícula está presente en más de 45 por ciento.

Materia orgánica.- Es la sustancia vegetal o animal muerta cuya continua transformación depende del pH, humedad, temperatura, relación C/N y otros factores. Aumenta la capacidad amortiguadora del suelo, favorece la retención de humedad aprovechable y la aireación del suelo. Promueve la penetración de las raíces, incrementa la capacidad de intercambio garantizando la liberación lenta y constante de nutrientes. Además, protege al suelo de la erosión, por lo tanto, debe fomentarse su conservación y mejoramiento.

pH.- Indica el grado de acidez o alcalinidad del suelo. Influye esencialmente en la disponibilidad de nutrientes. El pH muy ácido provoca deficiencia de fósforo y molibdeno, así como toxicidad por aluminio y/o manganeso. En pH muy alcalino puede darse toxicidad por sodio o boro. El pH extremo, ya sea ácido o alcalino, altera el crecimiento de las raíces, la actividad microbológica, la estructura del suelo y la efectividad de los plaguicidas. Es importante regularlo mediante la aplicación de cal o yeso agrícolas, entre otros.

Porcentaje de saturación.- Señala la máxima capacidad de retención de humedad de un suelo, es influenciada por el contenido y tipo de arcilla, así como por el nivel de contenido de materia orgánica. En suelo arenoso, el porcentaje de saturación es bajo y fomenta la pérdida de nutrimentos por lavado. En suelo rico en limo y arcilla es alto, denota falta de aireación, provoca pérdidas de nitrógeno por volatilización, y puede promover enfermedades de la raíz. Un buen contenido de materia orgánica ayuda a mitigar los efectos de valores extremos de saturación.

Conductividad eléctrica.- Se expresa en mmhos/cm o dS/m, y sirve para saber si hay o no acumulación de sales solubles. En suelos para agave, es conveniente realizar análisis de aniones y cationes si el valor es superior a 4.0. Una alta conductividad eléctrica eleva la presión osmótica en la solución del suelo, con lo que se dificulta la toma de agua y nutrimentos. También puede haber efectos fitotóxicos por una elevada concentración de cloruros, sodio o boro.

Densidad aparente.- Manifiesta el peso específico del suelo en g cm^{-3} . En los suelos orgánicos o andosoles (suelos derivados de cenizas volcánicas) es baja, en los arcillosos es media, y alta en los arenosos. Un valor alto en un suelo arcilloso indica compactación. Es útil para el cálculo de la dosis de fertilización por unidad de superficie.

Espacio poroso.- Se relaciona con la capacidad de aireación y drenaje del suelo, es un efecto de la proporción de macro y micro poros. En suelo arenoso es más bajo que en un suelo arcilloso, pero su mayor proporción de macroporos facilita el movimiento del aire y del agua. En suelo arcilloso la alta presencia de microporos favorece la retención de agua, pero dificulta la aireación.

Permeabilidad.- Se conoce también como conductividad hidráulica, y se expresa en cm h^{-1} . Indica la velocidad del movimiento del agua en el suelo. Si es lenta, provoca falta de aireación por estancamiento de agua y si es muy rápida, fomenta la pérdida de nutrimentos por lavado.

Nutrimentos

Se clasifican éstos en primarios (N, P y K), secundarios (Ca, Mg y S), y micronutrimentos (B, Cu, Fe, Mn, y Zn).

Nitrógeno.- En el suelo se encuentra en la materia orgánica y se libera por la mineralización primero como ión amonio y luego se transforma en nitrato. Mientras que el amonio puede ser fijado en el suelo, el nitrato puede perderse por lavado. También hay pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco en suelos alcalinos, y por denitrificación en suelos con exceso de humedad.

Fósforo.- Se origina esencialmente del mineral apatita de donde se liberan iones fosfato por intemperización. Su disponibilidad es fuertemente dependiente del pH del suelo. En suelos ácidos se fija como fosfato de hierro o de aluminio; mientras que en suelos alcalinos se precipita como fosfato de calcio.

Potasio.- En los suelos generalmente se encuentra adsorbido o retenido en los minerales arcillosos como illita o montmorillonita, y en menor proporción en kaolinita. Mientras mayor es el contenido de arcilla, mayor es el abasto de potasio. A un mismo contenido de arcilla; a más humedad en el suelo mayor disponibilidad de potasio. Los suelos se empobrecen en potasio debido a pérdidas por lavado, así como por la extracción o consumo por las plantas, cuando esto sucede los suelos “tragan” potasio, es decir, el potasio de los fertilizantes primero va a satisfacer el desabasto del suelo y después las necesidades de las plantas, por eso hay suelos muy pobres en potasio que no responden en rendimiento vegetal a su aplicación.

Calcio y magnesio.- Estos elementos se encuentran en minerales primarios y secundarios. Mientras que en suelos alcalinos su contenido es alto; en suelos ácidos llega a ser bajo debido a las considerables pérdidas por lixiviación o lavado. Los antagonismos de las relaciones K/Ca, K/Mg, Ca/Mg, K/ Ca + Mg llegan a ser más importantes que las cantidades absolutas de ellos y se pueden manipular a través de la fertilización en beneficio de las plantas.

Azufre.- Proviene tanto de la materia orgánica, como de minerales secundarios. Se libera como ión sulfato por mineralización o intemperización. Es componente común de los fertilizantes como sulfato de amonio, sulfato de potasio, etc. En el superfosfato de calcio está presente como sulfato de calcio. El azufre es también un nutrimento esencial y no debe subestimarse su importancia.

Boro, cobre y zinc.- En el suelo también se encuentran minerales primarios y secundarios que se liberan por intemperización. El encalado reduce la

disponibilidad de boro y zinc, pero tiene poca influencia en la de cobre, este último es afectado principalmente por una alta proporción de materia orgánica. Los límites entre una deficiencia y una toxicidad nutricional son muy estrechos, de ahí la importancia de evaluar su disponibilidad mediante el análisis de suelo.

Fierro, manganeso y molibdeno.- Su disponibilidad en el suelo es influida por el pH. En suelo alcalino se reduce la asimilación de fierro y manganeso. La disponibilidad de manganeso es la más seriamente afectada en caso de la aplicación de una sobredosis de cal. La disponibilidad de molibdeno se ve afectada en suelos ácidos.

En el Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la División Agrícola de Casa Cuervo, S.A. de C.V. (2002), se generaron los valores de referencia para evaluar la fertilidad de los suelos con plantaciones de *Agave tequilana Weber, var. azul*, sustentados en la metodología del Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI).

En el Cuadro 1 se muestran los valores de referencia para las propiedades del suelo.

Cuadro 1. VALORES DE REFERENCIA DDI PARA EL ANALISIS DE SUELO, Agave tequilana Weber var. azul.

CATEGORIAS	D	B	MB	S	MA	A	E
PARAMETROS	Deficiente	Bajo	Medianamente Bajo	Suficiente	Medianamente Alto	Alto	Excesivo
Arcilla %	< 11.34	11.34 - 22.68	22.69 - 31.99	32.00 - 43.66	43.67 - 53.62	53.63 - 63.98	> 63.98
Materia Organica %	< 0.65	0.645 - 1.290	1.291 - 2.132	2.133 - 3.024	3.025 - 3.636	3.637 - 5.158	> 5.158
pH CaCl ₂	< 3.50	3.50 - 4.97	4.98 - 5.88	5.89 - 7.00	7.01 - 8.33	8.34 - 9.87	> 9.87
Saturación %	< 11.08	11.09 - 22.16	22.17 - 31.46	31.47 - 44.30	44.31 - 52.72	52.73 - 62.47	> 62.47
C.E. dS/m	< 0.71	0.71 - 0.84	0.85 - 1.19	1.20 - 1.41	1.42 - 2.00	2.01 - 4.00	> 4.00
pH Pasta %	< 4.00	4.01 - 5.50	5.51 - 6.50	6.51 - 7.50	7.51 - 8.50	8.51 - 9.50	> 9.50
Densidad Aparente g/cm ³	< 0.30	0.30 - 0.60	0.61 - 1.00	1.01 - 1.43	1.44 - 1.65	1.66 - 2.40	> 2.40
Espacio Poroso Ligeros %	< 12.50	12.5 - 25.0	25.1 - 35.5	35.6 - 42.0	42.0 - 50.0	50.1 - 59.5	> 59.5
Espacio Poroso Pesados %	< 35.50	35.5 - 44.9	45.0 - 49.0	50.0 - 55.0	55.1 - 60.0	60.1 - 70.0	> 70.0
C.H. cm/hr.	< 1.50	1.5 - 3.0	3.1 - 5.0	5.1 - 7.0	7.1 - 8.5	8.6 - 12.0	> 12.0
Nitrógeno, (N-NH ₃) ppm	< 8.21	8.21 - 16.41	16.42 - 27.57	27.58 - 39.06	39.07 - 46.28	46.29 - 65.65	> 65.65
Fósforo, (P) ppm	< 7.55	7.55 - 15.10	15.11 - 25.38	25.39 - 35.95	35.96 - 42.60	42.61 - 60.42	> 60.42
Potasio, (K) ppm	< 84.6	84.6 - 169.2	169.3 - 284.3	284.4 - 402.8	402.9 - 477.3	477.4 - 677.0	> 677.0
Calcio, (Ca) ppm	< 744.0	744 - 1488	1489 - 2500	2500.01 - 3541.3	3541.4 - 4196.0	4196.1 - 5951.8	> 5951.8
Magnesio, (Mg) ppm	< 80.9	80.9 - 161.8	161.9 - 271.9	272.00 - 385.2	385.3 - 456.4	456.5 - 647.4	> 647.4
Boro, (B) ppm	< 0.29	0.29 - 0.56	0.59 - 0.97	0.98 - 1.37	1.38 - 2.30	2.31 - 4.60	> 4.60
Cobre, (Cu) ppm	< 0.81	0.81 - 1.62	1.63 - 3.22	3.23 - 3.85	3.86 - 4.56	4.57 - 6.47	> 6.47
Hierro, (Fe) ppm	< 9.6	9.6 - 19.2	19.3 - 32.3	32.4 - 45.8	45.9 - 54.3	54.4 - 77.0	> 77.0
Manganeso, (Mn) ppm	< 9.11	9.11 - 18.22	18.23 - 30.6	30.1 - 43.35	43.36 - 51.37	51.38 - 72.86	> 72.86
Zinc, (Zn) ppm	< 0.50	0.50 - 1.00	1.01 - 1.67	1.68 - 2.37	2.38 - 2.81	2.82 - 3.99	> 3.99

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELOS

La interpretación de los resultados del análisis de suelo tiene como finalidad conocer la disponibilidad nutrimental, así como los factores que la limitan y debe complementarse con la información acerca del manejo del cultivo, las características de la planta y de las condiciones ambientales. La respuesta a la fertilización, encalado o aplicación de composta es más probable en zonas con suficiente precipitación que en aquéllas donde es escasa y errática.

Las categorías de los valores de referencia permiten realizar una interpretación hasta cierto punto detallada del nivel de fertilidad del suelo; enseguida se define cada una de las siete categorías generadas a través de la implementación del Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI), Cope y Rouse (1973), propusieron índices de fertilidad similares a los propuestos por Uvalle-Bueno (1996).

Deficiente (D).- Indica una grave escasez del elemento en cuestión. Es el intervalo de concentración de los nutrimentos o propiedad de suelo relacionado con claros síntomas visibles de deficiencia nutricional en las plantas y una severa reducción del crecimiento y producción vegetal. La planta sobrevive y en caso extremo muere.

Si se encuentran valores en este intervalo el índice DDI de fertilidad es < 0.5 , es decir, el rendimiento que se obtiene es cuando mucho de 50 por ciento del rendimiento óptimo, por tanto, es necesario tomar medidas inmediatas de fertilización, y mejoramiento del suelo. La respuesta del cultivo es definitiva.

Bajo (B).- Es la condición de las propiedades del suelo, donde se aprecian los primeros síntomas visibles de deficiencia en las plantas. Sin embargo, se asocia ya con una reducción del crecimiento, rendimiento y calidad de las cosechas.

Cuando se registran valores bajos, el índice DDI de fertilidad es 0.50- 0.71, es decir, el rendimiento que se obtiene es de 50 a 71 por ciento del rendimiento óptimo y es preciso atender con más detalle la fertilización y mejoramiento del suelo; a estas prácticas es probable una respuesta favorable del cultivo.

Medianamente Bajo (MB).- Señala escasez moderada o latente. Es el intervalo de las propiedades del suelo en el cual no se manifiestan síntomas visibles de deficiencia en las plantas (“hambre oculta”). Sin embargo, el crecimiento vegetal, rendimiento y calidad de la producción se ven afectados ligeramente.

En este intervalo el índice DDI de fertilidad es 0.71-0.84, es decir, el rendimiento que se obtiene es de 71 a 84 por ciento del rendimiento óptimo. Si los valores se registraron en suelo fertilizado y rehabilitado, significa que debe hacerse un poco más de ello, por ejemplo: la fertilización debe realizarse de acuerdo a la extracción de nutrimentos.

Suficiente (S).- En este intervalo las propiedades del suelo son óptimas, también llamadas adecuadas, normales, medias o satisfactorias, para el crecimiento vegetal.

El índice DDI de fertilidad es 0.84-1.19, es decir, el rendimiento que se obtiene es de 84 a 100 por ciento del rendimiento máximo previsto. El rendimiento y la calidad no son influenciados por cambios dentro de este intervalo, de ahí que no es necesario hacer cambios importantes en el programa de fertilización y mejoramiento del suelo.

Medianamente alto (MA).- Las propiedades del suelo están por encima del valor óptimo. No se observan síntomas visibles de toxicidad nutricional o deficiencia fisiológica en las plantas.

El índice DDI de fertilidad es 1.19–1.41, es decir, el nivel de fertilidad del suelo es más alto que la condición óptima; el crecimiento vegetal con frecuencia es vigoroso, pero el rendimiento no es más alto, inclusive puede ser 15 por ciento menor y existe la posibilidad que la calidad de la cosecha sea mala. Es improbable la respuesta favorable del cultivo a un programa de fertilización, pero una positiva a las medidas de rehabilitación física.

Alto (A).- Es el intervalo donde las propiedades del suelo registran valores en exceso para el crecimiento normal de las plantas. Hay síntomas visibles de toxicidad nutricional o deficiencia fisiológica. Excepto por excesos de potasio y molibdeno, de los cuales es común el “consumo de lujo”.

El índice DDI de fertilidad es 1.4 –2.00, es decir, el nivel de fertilidad del suelo es elevado, se dan interacciones antagónicas entre las propiedades del suelo que afectan el crecimiento vegetal. El rendimiento puede reducirse en 25 por ciento del rendimiento óptimo previsto y la calidad de la cosecha es mala. Deben restringirse o suspenderse aquéllas prácticas culturales que eleven aún más el valor de cierta propiedad del suelo, hasta que regrese a un intervalo normal.

Exceso (E).-Indica un valor extremadamente alto de las propiedades del suelo. La muy alta concentración de nutrimentos provoca síntomas claramente visibles de toxicidad nutricional o de deficiencia fisiológica.

El índice DDI de fertilidad es 2.00–4.00, es decir, el nivel de fertilidad llega a ser de dos a cuatro veces el valor óptimo, el rendimiento se reduce en 50 por ciento o más y es notable el deterioro de la calidad de la cosecha. Es indispensable mejorar inmediatamente las condiciones físicas del suelo.

RECOMENDACIONES

La responsabilidad de las recomendaciones debe recaer en un técnico con conocimiento y experiencia en el manejo de la nutrición integral del agave y depende de muchas circunstancias. Por ejemplo; si un suelo es deficiente en nitrógeno, es obvio que la decisión sea aplicar nitrógeno, pero... ¿qué fuente, dosis, época y técnica de aplicación? La serie de interrogantes puede ser aún mayor: ¿fertilización química u orgánica; sólida o líquida; rápida o lenta liberación; sólo NPK o con secundarios y/o micronutrimentos: ¿mezcla física o química; total o fraccionada; total o en banda? y otras interrogantes.

En la interpretación de los resultados de los análisis de suelo no deben considerarse valores únicos; en realidad, la interpretación consiste en combinar diferentes factores, con su importancia relativa, según menciona Cottenie (1984).

En esencia, la recomendación para la fertilización del cultivo de agave debe de considerar: determinadas condiciones ecológicas como el tipo de suelo, ácido o alcalino; necesidades de la planta de acuerdo con la edad de la plantación y su tasa de crecimiento. Además, la fertilización debe ser eficiente, práctica, económica y sustentable.

LITERATURA CITADA

- Casa Cuervo, S. A. de C. V. 2002. Valores de referencia para evaluar la fertilidad del suelo en plantaciones de *Agave tequilana* Weber, var. azul. Documento interno del Laboratorio de Investigación y Desarrollo de la División Agrícola.
- Cope, J. T., and R. D. Rouse. 1973. Interpretation of soil test results in: Soil Testing and Plant Analysis: 35 – 54, Soil Sci. Soc. Am. Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Cottenie, A. 1984. Los análisis de suelos y de plantas como base para formular recomendaciones sobre fertilizantes. Boletín de suelos de la FAO 38/2 Roma, Italia.
- Mückenhausen, E. 1982. Die Bodenkunde. Und ihre geologischen, geomorphologischen, mineralogischen und petrologischen Grundlagen. DLG – Verlag Frankfurt am Main Alemania.
- Peck, T. R., and P. N. Melsted. 1973. Field sampling for soil testing. pp. 67 – 75. In Walsh, and Beaton (eds.). Soil Testing and Plant Analysis. SSSA. ASA. Madison, Wisconsin USA.
- Rodríguez, F. y F. Burguete. 1987. Muestreo de suelos. In: A. Aguilar, J. Etchevers y J.Z. Castellanos (eds.). Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Publicación especial No.1. SMCS. México.
- Uvalle-Bueno, J. .X. 1993. Identificación de las propiedades del suelo asociadas con la clorosis en soya. Agricultura Técnica en México. Vol.19. Número 1.
- Uvalle-Bueno, J. .X. 1996. Fundamento fisiológico del Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI). Memorias del Congreso anual de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas. México.
- Uvalle-Bueno, J. .X. 2000. Proyecto: Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI), para identificar los factores limitantes de la producción y productividad en *Agave tequilana* Weber, var. azul. División Agrícola. Casa Cuervo, S.A. de C.V.
- Uvalle-Bueno, J.X. y R. Osorio-Alatorre. 2000. Análisis de agua, suelo y planta, su interpretación y utilidad agrícola. Memoria Primer Curso Regional de Capacitación Agrotecnológica. Cd. Obregón, Sonora. México.

**Conocimiento y prácticas
agronómicas para la producción
de *Agave tequilana* Weber
en la zona de denominación
de origen del tequila**

**METODOS DE PROPAGACION DEL
Agave tequilana Weber, var. azul.**

Páginas 57-67

Ismael Vicente Ramírez
José Ignacio del Real Laborde

CAPÍTULO III

Cita correcta:

Vicente R., I., y J. I. Del Real L. 2007. Métodos de propagación del Agave tequilana Weber var. Azul. p. 57-67 *In* Rulfo V., F. O. *et al.* (ed.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro.

MÉTODOS DE PROPAGACION DEL *Agave tequilana* Weber, var. azul.

Ismael Vicente Ramírez¹
José Ignacio del Real Laborde²

RESUMEN

La propagación del *Agave tequilana*, Weber var. Azul, se efectúa principalmente de manera asexual cuidando que se mantenga la variedad autorizada dentro de la Norma del Tequila. El procedimiento más utilizado es la recolección de hijuelos de rizoma para su transplante a los nuevos predios. La colecta de hijuelos se hace en plantaciones de tres a cinco años de establecidas seleccionando plantas sanas y vigorosas. Los hijuelos se clasifican por tamaño antes de ser enviados a la plantación.

Palabras clave: *Agave tequilana*, reproducción vegetativa, rizoma, hijuelo, bulbillo, micropropagación,

Agave tequilana Weber var. Azul REPRODUCTION METHODS ABSTRACT

Reproduction of *Agave tequilana* Weber var. Azul, is done mainly through asexual means, monitoring that the status of the cultivar mandated by the official Tequila Norm is maintained. The most common procedure is the gathering of rhizome plantlets to be transplanted into new fields. Plantlet collection is done in three to five year old plantings, selecting healthy and vigorous individuals. Plantlets are classified by size before shipment to the new planting plots.

Keywords: *Agave tequilana*, vegetative reproduction, rhizome, suckers, bulbs, microreproduction.

1. Consejo Regulador del Tequila (CRT).

2. Tequila Sauza S. A. de C.V.

Ismael Vicente Ramírez <ismael.vicente@crt.org.mx>

José Ignacio del Real Laborde <ignacio.delreal@beamglobal.com>

INTRODUCCION

La selección del *Agave tequilana* Weber var. azul, dentro de los agaves mezcaleros se inició durante el siglo XIX, con base en la preferencia por la menor duración de su ciclo para madurar; por el gusto de los tequileros hacía el producto obtenido a partir de su procesamiento; por su mayor producción de azúcar e hijuelos; así como por su menor contenido de fibra, lo que facilita el proceso. El uso de esta variedad se hizo obligatorio durante el siglo pasado, al emitirse la Norma Oficial Mexicana para la producción de tequila. Dicha norma especifica la variedad azul de *Agave tequilana* como la única autorizada para elaborar tequila. Por esta razón, en los métodos para su propagación se debe de vigilar el cumplimiento de este requisito.

La planta de *Agave tequilana* Weber var. azul se reproduce por las vías sexual y asexual:

Por semilla, reproducción sexual

En el ciclo sexual se realiza la propagación por semilla, para obtener nuevas plantas individuales con las características que presentan los genes propios de los gametos masculinos y femeninos. En la reproducción por semillas puede esperarse que se presente variación genética o segregación entre las plantas hijas.

La floración de agave ocurre cuando se presenta la emisión del escapo floral o quiote, indicando el final de su ciclo de crecimiento, al ser ésta una especie con crecimiento determinado y un solo punto de emisión de hojas. Dentro del cultivo del agave para la producción de tequila, normalmente se elimina el escapo floral cuando inicia su crecimiento, para evitar que la planta consuma los azúcares acumulados en el tallo o piña.

El empleo del método de propagación por semilla en el género *Agave* implicaría problemas por variación genética al estar sujeto a polinización cruzada y por dificultades para mantener un abasto ordenado, debido a lo prolongado del ciclo de crecimiento, que toma de 6 a 8 años para alcanzar la etapa de floración y producción de semilla. Los estudios realizados con semillas muestran también una viabilidad baja de las mismas.

Reproducción asexual

La reproducción asexual es aquella que no involucra el proceso sexual, la reproducción vegetativa de varios tipos de plantas ocurre tanto a partir de hojas como de tallos y raíces, obteniéndose con mayor frecuencia resultados positivos con los tallos. Los individuos obtenidos mediante este tipo de reproducción constituyen un clon y estos clones, a excepción de mutaciones naturales, son genéticamente idénticos a la planta madre. La selección y mantenimiento de cultivares en cultivos frutales se realiza por este método, transfiriendo los tejidos por medio de injertos. Entre las diferentes formas de reproducción asexual se encuentran: La reproducción por bulbillos, rizomas (hijuelos); el empleo de esquejes, acodos e injertos; y los métodos de propagación masiva en laboratorios de cultivo de tejidos.

Para la propagación de *Agave tequilana* Weber, var. Azul, existen los siguientes métodos de multiplicación asexual:

Bulbillos

Son plántulas producidas a partir de meristemos de la planta madre, por lo cual son clones de la misma, que al completar su desarrollo caen al suelo, donde desarrollan raíces y crecen como plantas independientes. Este fenómeno se presenta en algunos agaves que desarrollan bulbillos a partir de los meristemos axilares de la inflorescencia, en la base de las flores. El agave azul posee esta característica.

Este método de propagación presenta desventajas por ocurrir después de la floración, tras el ciclo completo de producción del agave. También puede ocurrir que al desarrollarse los bulbillos se propaguen las enfermedades que pudieran existir en la planta madre. Aunado a estos problemas, el costo es mayor que cuando se propaga por hijuelos rizomatosos. Por estas razones no es un método utilizado con frecuencia.

Rizomas (Hijuelos)

Los rizomas son tallos subterráneos que crecen generalmente en un plano horizontal, paralelo a la superficie del terreno. A diferencia de las raíces,

los rizomas poseen yemas en la cara superior de donde se originan hojas y partes aéreas que conformarán una nueva planta y por la cara inferior generan raíces adventicias. Cada año los rizomas emiten yemas que originan nuevos órganos aéreos.

La propagación por rizomas es la más utilizada en agaves, no sólo porque conserva las características genéticas de la planta madre, sino porque el desarrollo de las plantas es más rápido y vigoroso que por bulbillos.

Plantas producidas por micropropagación

Las técnicas de micropropagación o propagación *in vitro* tienen la ventaja de producir grandes cantidades de plantas en espacios relativamente reducidos durante todo el año. Para la propagación *in vitro* es necesario que las plantas sean capaces de regenerar. La habilidad de regeneración está determinada por el genotipo, las condiciones ambientales (fuente de nutrimentos, reguladores y condiciones físicas) y el estado de desarrollo de la planta. Las técnicas más comunes de micropropagación son la proliferación de yemas axilares, la organogénesis y la embriogénesis somática.

La propagación *in vitro* permite controlar la condición sanitaria de las plantas a lo largo de su producción y constituir grupos de plantas de la misma edad para su manejo agrícola. Este procedimiento permite reproducir en gran número plantas provenientes de individuos seleccionados con base en características fenotípicas y realizar un programa de mejoramiento genético a través de propagación clonal.

Sistema de propagación del Agave tequilero mediante hijuelos

El manejo común de la propagación del agave en la DOT corresponde a un manejo tradicional basado en conocimiento empírico aplicado para optimizar la producción de hijuelos y consiste en las siguientes prácticas:

1. Preparación y producción de hijuelos.
2. Elección de planta madre.
3. Selección del hijuelo.
4. Transporte de hijuelos.

La tecnificación del cultivo de agave sigue un patrón hacia la homogeneidad de las plantaciones, que en la actualidad se controla solamente con la selección de tamaño de la “cabeza” del hijuelo.

1. Preparación y producción de hijuelos

Los intensos laboreos de preparación de los suelos para las plantaciones realizados con maquinaria agrícola en los predios o plantaciones que lo permiten, favorecen la creación de una estructura que aumenta la captación y almacenamiento de humedad y facilita el crecimiento de rizomas y la brotación de “hijuelos” hacia la superficie del suelo. Algunos agricultores o productores repiten la práctica del subsoleo antes de la época de lluvias con la intención de producir más “hijuelos”. Si el objetivo es desarrollar “hijuelos” de buena calidad (peso y volumen), se suspenden las labores al suelo en cuanto éstos han emergido. Si la demanda de hijuelos desciende, los productores “desbotan” (deshijan) mecánicamente las plántulas en cualquier edad de la plantación. La diferencia fundamental entre el “arranque” y el “desbote” es el interés sobre los “hijuelos”, si se van a plantar o a destruir.

La mejor edad de las plantas para generar hijuelos es entre los 3 y 5 años cuando se obtienen hijuelos más viables para las nuevas plantaciones.

2. Elección de las plantas madre

En la elección de las plantas madres se tiene que considerar:

- a. **Edad de la planta madre:** que la planta tenga entre 3 y 5 años de establecida en el predio, etapa en la cual la planta madre está en pleno desarrollo vegetativo y en mejores condiciones de poder alimentar a los hijuelos que emergen.
- b. **El estado sanitario de la planta madre:** debe mostrar apariencia visual sana, vigorosa, y sin la presencia de insectos nocivos tanto en el follaje, como en raíces y piña.

c. Cantidad y calidad de los hijuelos: dado que los hijuelos se forman de los rizomas emergidos en fechas diferentes, el tamaño de los hijuelos alrededor de la madre es variable. Este aspecto es importante al decidir cuál es el destino de los hijuelos, si son para plantaciones comerciales, o para viveros o replantes, y conocer la cantidad disponible de cada tipo, así como la calidad de los mismos, resultado de las condiciones ambientales, como heladas o secías; los daños físicos como quemas, daños por insectos y enfermedades; los daños mecánicos y las condiciones de manejo del terreno bajo las cuales han crecido.

3. Selección de hijuelos

La selección de los hijuelos es una de las etapas más importantes para el establecimiento de la plantación ya que de esto depende en gran medida la calidad de la misma.

En la selección de los hijuelos son varias las etapas a realizar:

3.1 Arranque de los hijuelos.

3.2 Selección y clasificación de los hijuelos arrancados.

3.3 Desinfección de hijuelos arrancados y herramientas.

3.1 Arranque de los hijuelos

a. Condiciones del terreno: es importante conocer las condiciones en que se encuentra el terreno donde se va a realizar el arranque del hijuelo, ya que esto determinará las dificultades de la práctica y el tiempo y cantidad de arrancadores necesarios para llevarla a cabo. Dentro de los aspectos a considerar está la topografía del terreno, si es plano, ladera, suelto o compacto, con pedregosidad superficial o interna, presencia de maleza o sin ella, si la densidad de plantación es alta o baja.

b. Arranque del hijuelo: debe realizarse con un implemento conocido como barretón, que es una placa metálica, que sirve para cortar el rizoma que une al hijuelo con la planta madre. Este corte se realiza de un solo golpe mediante un corte limpio y transversal al rizoma. Al

hijuelo una vez arrancado de la planta madre, se le cortan las raíces, con un corte transversal a la piña llamado “tostoneo”, y se eliminan las hojas y las puntas de la misma, con la finalidad de facilitar el manejo y evitar daños a los trabajadores.

3.2 Selección y clasificación de los hijuelos arrancados

La selección de los hijuelos afectará la calidad de la plantación y por consiguiente, la producción de la materia prima para el tequila y el beneficio económico que se obtenga de la cosecha.

Una planta puede producir durante su vida hasta 15 plántulas o hijuelos de diferentes calidades. Bajo un buen manejo agrícola una plantación de 4 años, puede producir en promedio 3 hijuelos de primera, (1.5 a 3 kg) y 6 de segunda (0.5 a 1.5 kg) por cada planta madre.

a. Selección de los hijuelos: Esta acción la debe realizar un técnico o agricultor capacitado ya que de esta acción depende el éxito o el fracaso de las plantaciones. Se deben considerar los hijuelos más vigorosos, sanos, de color azul intenso, los que están más retirados de la planta madre, y que no muestran rastros de insectos.

b. Clasificación de los hijuelos. Se debe hacer con base en los siguientes puntos.

- Verificar que la planta madre sea de la variedad azul.
- Verificar que la plantación esté dentro de la DOT.
- Verificar que la plantación esté registrada ante el CRT.
- Verificar que los hijuelos provengan de plantas madres de la misma edad.
- Conocer el historial de manejo de la plantación y origen del material de la plantación original.
- Determinar el tamaño del hijuelo (que sea uniforme). Para medir este aspecto el agricultor se basa en el tamaño de las hojas, que puede ser de media vara a vara completa (de 0.40 a 0.85 m). Para estimar el tamaño de la piña se toma como referencia los tamaños de frutas, limón, mandarina, naranja, toronja y piña (cuadro 1).

3.3 Desinfección de hijuelos arrancados y herramientas.

- a) Los hijuelos preparados deben de bañarse con una solución desinfectante inmediatamente después del tostoneo y antes de ser clasificados. Se puede utilizar una solución de hipoclorito de sodio al 10 por ciento aplicada por aspersión a las zonas de corte en la base de la planta y en las hojas.
- b) Toda la herramienta utilizada para el arranque y la preparación de los hijuelos (coas, barretones, machetes y talaches) debe ser desinfectada con una solución de Cloralex al 10 por ciento, posterior al arranque de 100 hijuelos, al menos cada vez que se cambia de predio de trabajo y/o cuando se esté trabajando en plantaciones de dudosa sanidad, ya que existe la posibilidad de trasladar fuente de inóculo (bacterias, hongos y nematodos).

Cuadro 1. Parámetros de longitud, tamaño de la piña o cabeza y peso del hijuelo.

Parámetros: Longitud de planta y volumen de cabeza

Longitud de planta:	Tamaño de cabeza	Diámetro estimado de cabeza
Una vara (0.85m)	Toronja Primera	0.15 m
Media vara (0.40 m)	Naranja regular	0.12 m
Vivero	Lima-Limón pequeña	0.08 m

Parámetros: Peso de cabeza:

	Peso	Tamaño
Máxima calidad	3.0 kg	Para replante
Regular	1.5 a 2 kg	Toronja naranja
Desperdicio	< 1.0 kg	Lima

4. Transporte de hijuelos

Es necesario evitar el daño a los hijuelos durante las labores de transporte entre los predios de arranque, centros de acopio y predios de nueva plantación. Para ello se deben de tomar las medidas siguientes:

- a) Desinfectar la caja del camión antes y después de cada carga de hijuelos, así como desinfectar las llantas con Hipoclorito de sodio antes y después de entrar a una plantación de agave.
- b) No pisotear los hijuelos ya cargados en el camión.
- c) No provocar demasiadas heridas a los hijuelos.
- d) Si el hijuelo presenta heridas originadas por la poda, insectos, no se recomienda someter al hijuelo a la presión del herbicida glifosato, una vez establecido en el predio.

**Conocimiento y prácticas
agronómicas para la producción
de *Agave tequilana* Weber
en la zona de denominación
de origen del tequila**

**NUTRICION DEL AGAVE TEQUILERO
(*Agave tequilana* Weber var. azul)**

Páginas 69-88

Jaime Xavier Uvalle Bueno
Cecilia Vélez Gutiérrez

CAPÍTULO IV

Cita correcta:

Uvalle B., J. X. y C. Vélez G. 2007. Nutrición del Agave tequilero (*Agave tequilana* Weber var. azul) p. 69-88 *In* Rulfo V., F. O. *et al.* (ed.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro.

NUTRICION DEL AGAVE TEQUILERO (*Agave tequilana* Weber, var. azul)

Jaime Xavier Uvalle Bueno¹
Cecilia Vélez Gutiérrez¹

RESUMEN

El objetivo del estudio de la nutrición en agave, es comprender que factores asociados con ella limitan el desarrollo del cultivo, para corregirlos y estabilizar los rendimientos en el tiempo y en el espacio, es decir, la producción de un año a otro. Para identificar y jerarquizar estos factores limitantes de la producción y/o productividad del *Agave tequilana* Weber, var. azul, se aplica una metodología conocida como diagnóstico diferencial integrado (DDI). Con esto es posible conocer las deficiencias nutricionales y fisiológicas del cultivo de agave. El DDI esta fundamentado en: el diagnóstico visual, el análisis de tejido vegetal y el análisis de suelo. El diagnóstico visual tiene tres aspectos: a) el patrón de campo b) el patrón de planta y c) el patrón diferencial, que involucra especies o variedades, fechas de siembra, densidades de población y arreglo topológico. También se presenta la descripción de síntomas visuales, síntomas de deficiencias y de toxicidad de los siguientes elementos: N, P, K, Mg, S, Ca, Bo, Cu, Fe, Mo, Mn y Zn. Se discute además la importancia del análisis vegetal y la utilidad del análisis de suelo.

Palabras clave: diagnóstico, deficiencias nutricionales, análisis de tejido vegetal, análisis de suelo, toxicidad de elementos.

1. Casa Cuervo S. A. de C. V. División Agrícola. Laboratorio de Investigación y Desarrollo.

Jaime Xavier Uvalle Bueno <juvalle@cuervo.com.mx>

Cecilia Veléz Gutiérrez <cvelez@cuervo.com.mx>

***Agave tequilana* Weber, var. azul NUTRITION**

ABSTRACT

The objective of agave nutrition is to understand what factors associated to nutrition limit it in order to modify them and to stabilize production through years. In order to identify agave production and productivity limiting factors, and determine their grade of importance a method known as Integrated Differential Diagnosis (IDD) is applied to make possible to learn about the agave crop nutritional and physiological deficiencies. The IDD is based on: visual diagnosis, vegetal tissue analysis, and soil analysis. The visual analysis has three aspects: a) field pattern, b) plant pattern, and c) differential pattern composed by species or varieties, sowing dates, plant population density, and topological arrangement. Also visual symptoms are described, and deficiency and toxicity symptoms of the following elements are described: N, P, K, Mg, S, Ca, Bo, Cu, Fe, Mo, Mn, and Zn. The plant analysis importance, and the usefulness of soil analysis are discussed.

Keywords: diagnosis, nutritional deficiencies, plant tissue analysis, soil analysis, element toxicity.

INTRODUCCION

La nutrición vegetal del agave debe tener la finalidad de mejorar su rendimiento y calidad, con un enfoque económico y en armonía con el medio ambiente.

La mejora en rendimiento y calidad requiere un proceso de incrementos sistemáticos a través de un manejo integrado del cultivo, específico para cada condición de suelo y clima, pues las diferencias en desarrollo de las plantaciones de agave se manifiestan esencialmente como resultado de esta interacción.

Así, en la nutrición vegetal del agave, el objetivo es comprender que factores asociados con ella limitan el desarrollo del cultivo, para corregirlos y estabilizar los rendimientos en el tiempo y en el espacio, es decir, que la producción de un año a otro, en todas y cada una de las zonas no varíe drásticamente.

DIAGNOSTICO DIFERENCIAL INTEGRADO (DDI)

El Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI) es la metodología implementada para identificar y jerarquizar los factores limitantes de la producción y/o productividad del *Agave tequilana* Weber, var. azul, en el contexto de la relación Agua-Suelo-Planta-Atmósfera, y establecer estrategias de solución con un enfoque económico y sostenido.

El diagnóstico visual, el análisis de tejido vegetal y el análisis de suelo son los medios que permiten al DDI conocer las deficiencias nutricionales y fisiológicas, y en consecuencia desarrollar un programa de manejo integrado de la nutrición del agave.

Sintomatología visual

La sintomatología visual es la primera herramienta disponible para conocer la situación nutricional de una planta y la identificación de los signos de hambre de nutrimentos. Esto es un arte que puede llegar a dominarse con la práctica. Se debe recordar que los síntomas visuales son el resultado... se debe buscar la causa.

Los síntomas de deficiencias y toxicidades nutricionales resultan de un desbalance metabólico, asociado con la función de un determinado nutrimento que ha sido perturbada por muy diversos factores.

La localización del síntoma está estrechamente relacionada con la movilidad de los nutrimentos en la planta, de las hojas viejas a las jóvenes o puntos de crecimiento.

Para apoyar la identificación de deficiencias nutricionales, a continuación se presenta una guía para el diagnóstico visual (Cuadro 1). El diagnosticador experimentado encontrará excepciones a los lineamientos generales o bien, tendrá la capacidad de atribuir los síntomas a otros agentes distintos de la carencia nutricional. Se sugiere confirmar la causa de los síntomas por medio de análisis de laboratorio.

Técnica de diagnóstico visual DDI

El diagnóstico visual se inicia con el reconocimiento de campo, y debe cubrir tres aspectos fundamentales: a) el patrón de campo, que consiste en observar la distribución homogénea o heterogénea de los síntomas de deficiencia o daño; b) el patrón de planta, que consiste en ubicar en que parte de la planta se encuentra el síntoma; y c) el patrón diferencial, que involucra especies o variedades, fechas de siembra, densidades de población y arreglo topológico, etapas de desarrollo y órganos, etc. para establecer tanto el patrón de campo, como el patrón de planta, de la localización de los síntomas visuales.

Patrón de campo. Primero se observa la distribución de los síntomas en el campo. Si el desarrollo de los síntomas es homogéneo, es decir, en franjas; la deficiencia se atribuye a la carencia de macronutrientos N, P, K, o Mg. Si el patrón de campo también es homogéneo pero en círculos, los daños pueden estar relacionados con la toxicidad por salinidad. Si el patrón se ubica en esquinas, orillas o bordos del terreno, el daño puede ser por inundación o exceso de humedad. Si el daño se aprecia con mayor intensidad en la vecindad con otros cultivos, puede tratarse de plagas.

Cuando la distribución de los síntomas es muy heterogénea, y su presencia varía no sólo de un surco a otro, sino entre plantas de una misma hilera o incluso de una planta a otra, entonces se dice que la distribución de los síntomas es binomial negativa (Figura 1) y se atribuye, desde el punto de vista nutricional, a la deficiencia de micronutrientos. Esta caprichosa distribución de los síntomas se relaciona con la heterogeneidad de las propiedades del suelo. Es conveniente señalar que este mismo patrón se presenta con la incidencia de plagas y enfermedades. El análisis de laboratorio permitirá saber la naturaleza biótica o abiótica de los síntomas.

Patrón de planta. La identificación de este patrón demanda la observación minuciosa de la localización del síntoma en la planta. A grandes rasgos, si el síntoma se observa en las hojas viejas o en la parte baja de la planta, la deficiencia es de N, P, K, o Mg. Si el síntoma se ve en las hojas nuevas o en la parte superior de la planta, la deficiencia es de Ca o de micronutrientos. Para más detalles se recomienda consultar el cuadro sinóptico de los síntomas de deficiencia nutricional (Cuadro 1).

Cuadro 1. Sintomatología visual de deficiencias nutricionales de acuerdo con el DDI.

TIPO DE HOJA	CARACTERÍSTICAS RELEVANTES	NUTRIMENTO		
Vieja o Inferior	Síntoma generalizado	Decoloración verde pálido	{ Nitrógeno	
		Tonalidades moradas	{ Fósforo	
	Síntoma localizado	Clorosis marginal	{ Potasio	
		Clorosis intervenal	{ Magnesio	
Joven o Superior	Yema terminal muerta		{ Calcio { Boro	
	Yema terminal viva	Hojas jóvenes no marchitas	Clorosis y necrosis	{ Manganeso
			Clorosis sin necrosis	{ Hierro { Azufre
		Hojas jóvenes marchitas		{ Cobre
Vieja y/o Joven	Generalmente hoja joven		{ Molibdeno	
	Generalmente hoja vieja		{ Zinc	

Patrón diferencial. Es la observación de otras especies vegetales o variedades, v. gr. las plantas de higuera en las plantaciones de agave (Figura 1) que no fructifican sus inflorescencias, denotan carencia de calcio y/o boro. Hay plantas de maleza indicadoras de salinidad, buen drenaje o compactación, como los pastos. Hay deficiencias que se agudizan en determinada época del año, como las de N, K, Ca o Mg que se pierden por lavado en la temporada de lluvias; o bien las de P y de micronutrientes en períodos fríos-secos o calientes-secos. Las altas o bajas densidades de población, o la proliferación de hijuelos en el caso del agave, influyen en la asimilación de nutrientes. También hay deficiencias que son más críticas en determinadas etapas de desarrollo fenológico del cultivo, como el llamado “anillo rojo” del agave (Figura 2), asociado con la alta acidez y baja fertilidad del suelo.

Herramientas para el diagnóstico de campo

En principio se requiere conocimiento y experiencia, hay muchas pistas falsas.

Las herramientas físicas indispensables son:

* Una varilla o penetrómetro	Para evaluar compactación.
* Una pala recta	Para observar las raíces y el suelo.
* Una navaja	Para cortes de material vegetal.
* Una lupa	Para observar de cerca daños de patógenos.
* Una libreta	Para hacer anotaciones.
* Una “mente abierta”	Para evitar prejuicios y desviaciones.

Un buen diagnosticador además de conocer el medio ambiente de la planta en estudio, debe mirar que hay atrás de los problemas de fertilidad, y de los análisis de suelo y planta. Debe realizar el mayor acopio de información posible, entre las que destaca la entrevista con el productor o responsable de la plantación.



Figura 1. Planta de higuera con deficiencia de K en hojas viejas y muestra además, deficiencia de Ca y B en las inflorescencias.



Figura 2. Apariencia de una planta que presenta anillo rojo.

La plática con el productor o con el Jefe de Area debe dar respuesta a las preguntas siguientes:

- * ¿Cuál es la fecha de plantación, densidad de población y arreglo topológico?
- * ¿Qué condiciones estacionales han sido extremas o anormales, como heladas o inundaciones?
- * ¿Qué rotación de cultivo e intensidad de labranza se utilizó?
- * ¿Qué tipo de plagas o enfermedades ha observado o considera que están presentes?

- * ¿Qué abonos o mejoradores ha aplicado, su dosis y frecuencia?
- * ¿Qué fuentes, dosis, épocas y técnicas de fertilización ha empleado?
- * ¿Qué agroquímicos ha aplicado, cuándo, cuánto y como?
- * ¿Qué tipo de riego aplica y si dispone de información sobre lámina, momento, frecuencia o duración, así como de la calidad del agua?
- * ¿Han ocurrido los mismos síntomas en otras ocasiones y bajo que condiciones?
- * ¿Se asocian los síntomas con ciertas características del suelo o del terreno?
- * ¿Ha usado el análisis de suelo y planta, y qué fue lo más relevante?

Descripción de Síntomas Visuales

El síntoma más característico de una deficiencia nutricional o fisiológica es la clorosis, la cual se define como: la inhibición o incapacidad vegetal para la síntesis de clorofila por factores de naturaleza genética, parasitaria, nutricional o fisiológica que se manifiestan visualmente con pérdida del color verde como primer síntoma de enfermedad.

A continuación se describen los síntomas de deficiencia nutricional y sus posibles causas, así como los síntomas de toxicidad nutricional:

Nitrógeno

Deficiencia. Las plantas afectadas son de color verde pálido (7.5 GY 5/3), en contraste con el color verde azulado (5 BG 6/2) de las plantas sanas. Las hojas viejas se tornan amarillas de la punta a la base (Figura 3). No se encorrujan. Las plantas detienen su crecimiento. Las causas probables son: bajo contenido de nitrógeno en el suelo; escaso desarrollo o daño de raíces; desbalances nutricionales; mal drenaje o falta de humedad.

Toxicidad. Se necrosan los márgenes de las hojas viejas de la punta hacia la base y se encorvan hacia abajo. Las plantas presentan hiperclorofilia y se retrasa la floración. Se incrementa la síntesis de putrescina y se aumenta la susceptibilidad de la planta al daño por plagas, enfermedades y bajas temperaturas.

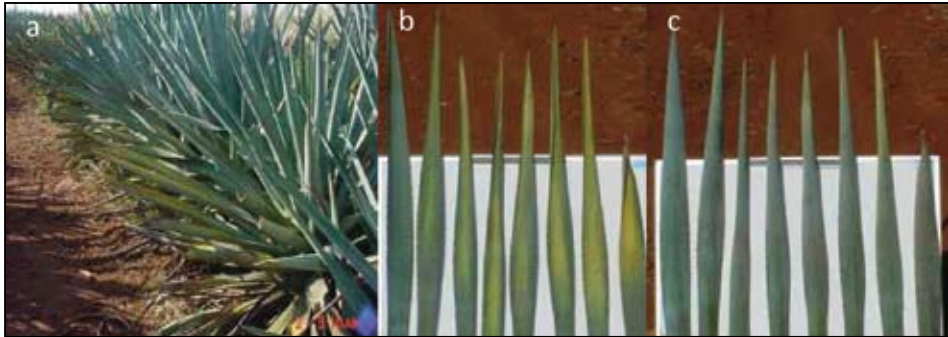


Figura 3. Deficiencia foliar de nitrógeno en *Agave tequilana* Weber (a) síntomas foliares en hojas viejas; (b) se muestra el haz de hojas con diferentes niveles de deficiencia de nitrógeno, la primera hoja de izquierda a derecha muestra el estado saludable de las mismas; (c) vista del envés de las mismas hojas de la Figura 3b.

Fósforo

Deficiencia. Las plantas de agave desarrollan un color verde grisáceo que avanza a tonalidades violáceas (5 GV 6/2) en el haz de las hojas viejas. El envés de las hojas viejas es completamente amarillo. Las hojas son pequeñas y delgadas. Se necrosan en el ápice y se encarrujan cuando el daño es muy severo (Figura 4). La producción de raíces es muy débil y se retrasa la floración. El tamaño de la piña es pequeño.

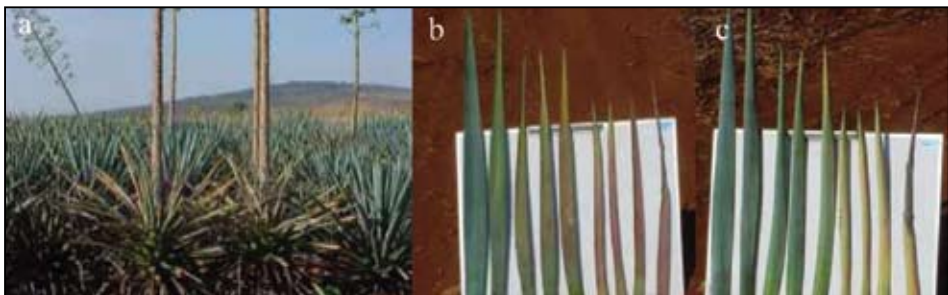


Figura 4. Deficiencia foliar de fósforo en *Agave tequilana* Weber (a) síntomas foliares; (b) se muestra el haz de hojas con diferentes niveles de deficiencia de fósforo, la primera hoja de izquierda a derecha muestra el estado saludable de las mismas; (c) vista del envés de las mismas hojas de la Figura 4b.

Las causas probables son: bajo contenido de fósforo en el suelo; indisponibilidad de fósforo por precipitación con aluminio en suelos ácidos, o con calcio en suelos alcalinos; compactación del suelo; baja temperatura en el mismo.

Toxicidad. No se conocen síntomas por exceso de fósforo, induce deficiencia de otros nutrimentos como el zinc.

Potasio

Deficiencia. Las plantas de agave afectadas por deficiencias de potasio desarrollan clorosis marginal que avanza rápidamente a necrosis de la punta hacia la base de las hojas viejas. Un síntoma general y característico es la nítida delimitación que guardan las áreas amarillas o necróticas, y el tejido foliar sano. Las hojas se encarrujan en forma similar al daño por herbicidas (Figura 5). Su manifestación en años de sequía o en repentinos períodos de aridez, es mayor que en períodos lluviosos. Las causas probables son: bajo nivel de potasio en el suelo; compactación del mismo; antagonismo iónico con excesos de amonio, calcio y magnesio.

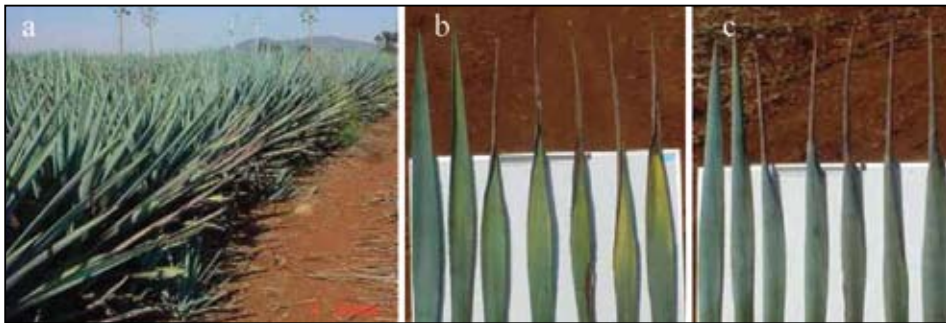


Figura 5. Deficiencia foliar de potasio en *Agave tequilana* Weber (a) síntomas foliares; (b) se muestra el haz de hojas con diferentes niveles de deficiencia de potasio, la primera hoja de izquierda a derecha muestra el estado saludable de las mismas; (c) vista del envés de las mismas hojas de la Figura 5 b.

Toxicidad. No se registran síntomas de toxicidad por exceso de potasio. Se menciona que en la planta puede haber un consumo de “lujo”. Sin embargo, esto no está exento de provocar desbalances nutricionales.

Magnesio

Deficiencia. La disponibilidad de magnesio en los suelos con plantaciones de agave es de suficiente a alta, e incluso excesiva. Por lo tanto no se han desarrollado síntomas de carencia de Mg. En todo caso, se registra con clorosis intervenal en las hojas viejas.

Toxicidad. No se reportan síntomas de toxicidad. Al igual que sucede con el fósforo, su exceso induce deficiencia de otros nutrimentos, en este caso de potasio o calcio por antagonismo iónico.

Azufre

Deficiencia. Por mucho tiempo se fertilizaron las plantaciones de agave con sulfato de amonio para abastecerlas de nitrógeno, y el aporte indirecto de azufre es suficiente para satisfacer la demanda de este nutrimento. La aplicación de sulfato de potasio, superfosfato de calcio, y de micronutrimentos en forma de sulfatos provee indirectamente el azufre. La falta de azufre se manifiesta con clorosis sin necrosis, en hojas jóvenes no marchitas y con la yema terminal viva.

Toxicidad. Las experiencias sobre toxicidad por azufre en las plantaciones agrícolas indican que en las monocotiledóneas se afecta la fracción apical de las hojas fotosintéticamente activas. El agave tequilero es monocotiledónea, y la parte afectada es precisamente la parte apical de las hojas intermedias, las más activas en la fotosíntesis.

Calcio-Boro

Deficiencia. En el agave la deficiencia de calcio se aprecia asociada con la carencia nutricional de boro (Figura 6). Se inicia con la presencia de exudados que escurren notablemente a partir de la base de las espinas de las hojas jóvenes, donde se localiza una glándula de secreción. En casos de carencia extrema, se observa la secreción de un jarabe café rojizo en la base de las espinas de hojas muy jóvenes aún no desenvueltas en el cogollo. También se ha tipificado popularmente como “anillo rojo”. La base del cogollo se pudre y alcanza el interior de la piña donde se encuentra el meristemo apical o punto de crecimiento, el cual muere. Las plantas detienen su crecimiento, en algunos

casos las hojas son pequeñas robustas y ovaladas, y se observa el desarrollo de uno o varios cogollos, por la pérdida de la dominancia apical.

Toxicidad. Bajo las condiciones de acidez extrema y baja concentración de sales solubles en la solución del suelo, difícilmente se desarrollarán síntomas de toxicidad nativa, en todo caso, sería inducida por prácticas de fertilización excesivas con estos nutrientes.



Figura 6. Deficiencia de Ca-B en Agave tequilana Weber, var. azul.

Cobre

Deficiencia. En la deficiencia de cobre en agave también hay presencia de exudados a partir de la base de las espinas, de un jarabe café rojizo pero además gomoso. Las hojas jóvenes más cercanas al cogollo se enrollan y adquieren una coloración gris-violácea, es decir, hay síntomas de marchitez. La yema de crecimiento se mantiene viva, pero se restringe el crecimiento de la planta (Figura 7).



Figura 7. Parte apical de hojas jóvenes de agave tequilero con deficiencia de Cu.

Toxicidad. Por naturaleza los suelos con plantaciones de agave en los estados de Jalisco, Nayarit y Michoacán son pobres en cobre. La toxicidad puede ser inducida por el uso indiscriminado de fungicidas o fertilizantes ricos en este micronutriente.

Fierro-Molibdeno

Deficiencia. No obstante el alto contenido de fierro total, la disponibilidad de fierro puede verse limitada por múltiples factores, entre ellos destaca el pH en los suelos alcalinos de la Zona Sur y Zona Autlán del Estado de Jalisco. O bien el pH ácido en las zonas de Altos, Acatic, Nayarit, Sur y Tequila. La falta de fierro y molibdeno se nota por una clorosis sin necrosis, en hojas jóvenes no marchitas. Fierro y molibdeno forman parte de la estructura funcional de la enzima nitrato reductasa, de ahí que en plantas enfermas puede darse la acumulación de nitratos.

Toxicidad. No se han observado síntomas de toxicidad, pues no hay condiciones extremas de $\text{pH} < 3.5$ para el caso del fierro. El molibdeno puede alcanzar consumo de "lujo" y no se presentan síntomas de toxicidad, según se reporta en la literatura.

Manganeso

Deficiencia. No obstante el pH ácido del suelo, la disponibilidad de manganeso es de medianamente baja a baja, excepto en los suelos alcalinos de la Zona Sur, donde el nivel de manganeso en el suelo es deficiente. La deficiencia nutricional de manganeso desarrolla manchas cloróticas y necróticas (Figura 8), principalmente en hojas intermedias que a menudo pueden confundirse con el daño por enfermedades. El daño por enfermedades ataca hojas de todo tipo y no claramente las hojas intermedias. Las hojas afectadas no se marchitan, y la yema de crecimiento se mantiene viva. El crecimiento de la planta no se detiene.

Toxicidad. El contenido alto de manganeso disponible provoca toxicidad en $\text{pH} < 5.5$ pero se reduce considerablemente con la práctica de encalado. No se ha registrado toxicidad por manganeso.



Figura 8. Deficiencia de Mn en *Agave tequilana* Weber, var. azul.

Zinc

Deficiencia. Después de la deficiencia de cobre y de boro, la carencia de zinc les sigue en importancia, especialmente en los suelos con pH alcalino de la Zona Sur. La falta de zinc se presenta generalmente en las hojas viejas, asociada con la carencia de potasio. Las hojas sufren clorosis que rápidamente pasa a necrosis y avanza uniformemente de la punta de la hoja hacia la base (Figura 9). En la deficiencia de potasio la clorosis avanza por los márgenes de la hoja. En la Zona Atlán se da más intensamente la deficiencia de potasio-zinc en las plantaciones maduras.

Toxicidad. Los niveles de zinc en el suelo son bajos, sólo el exceso de zinc por la aplicación de fertilizantes podría generar toxicidad con este nutrimento.



Figura 9. Hojas de agave tequilero que muestran diferentes estadios de deficiencia de Zn, la primera de izquierda a derecha muestra una hoja sana.

IMPORTANCIA DEL ANALISIS VEGETAL

El análisis vegetal es importante en primera instancia, porque permite confirmar los síntomas visuales de deficiencias o toxicidades nutricionales. También hace posible verificar si el síntoma es atribuible a otro agente como helada o baja temperatura, herbicida o daño por plagas y enfermedades.

En la literatura mundial no existen valores de referencia o escalas para clasificar la situación de los nutrimentos esenciales en el *Agave tequilana* Weber, Var. azul, de ahí la importancia de los valores de referencia generados por el Laboratorio de Investigación de la División Agrícola de Casa Cuervo (Cuadro 2).

Para su desarrollo se recolectaron muestras representativas de material vegetal de plantas “sanas” y enfermas, en un radio no mayor de 25 metros, en plantaciones de 1 a 7 años, en las seis zonas de producción de agave de Casa Cuervo.

Se tomaron muestras de cuatro plantas; de hojas viejas, intermedias y jóvenes, las que a su vez se fraccionaron en parte basal, central y apical.

Para cada nutrimento se tuvo una base de datos de 3024 valores, que fueron procesados estadísticamente con los índices DDI para obtener siete categorías: Deficiente, Bajo, Medianamente Bajo, Suficiente, Medianamente Alto, Alto y Exceso.

Se estableció que la fracción central de seis hojas intermedias, corresponden al punto y cantidad de muestra adecuado para evaluar la situación nutricional de las plantaciones de agave de 1 a 7 años de edad cronológica.

Estudios preliminares señalan que no hay variación significativa por fecha de muestreo.

En el Cuadro 2 se presentan los valores de referencia para el contenido total de 10 de los 16 nutrimentos esenciales en *Agave tequilana* Weber, Var. azul.

Cuadro 2. Valores de referencia DDI para tejido vegetal de *Agave tequilana* Weber, var. Azul. Expresados en ppm.

Elemento	D	B	MB	S	MA	A	E
Nitrógeno, (N-NO ₃)	< 62.5	62.5 - 125.0	125. - 210.	210. - 297.5	297.5 - 352.5	352.5 - 500.	> 500.0
Fósforo, (P)	< 0.08	0.08 - 0.15	0.15 - 0.25	0.25 - 0.36	0.36 - 0.42	0.42 - 0.60	> 0.60
Potasio, (K)	< 0.75	0.75 - 1.50	1.50 - 2.52	2.52 - 3.57	3.57 - 4.23	4.23 - 6.00	> 6.00
Calcio, (Ca)	< 0.81	0.81 - 1.63	1.63 - 2.73	2.73 - 3.87	3.87 - 4.58	4.58 - 6.50	> 6.50
Magnesio, (Mg)	< 0.26	0.26 - 0.51	0.51 - 0.86	0.86 - 1.22	1.22 - 1.44	1.44 - 2.05	> 2.05
Boro, (B)	< 12.2	12.2 - 24.3	24.3 - 40.9	40.9 - 57.9	57.9 - 68.6	68.6 - 97.3	> 97.3
Cobre, (Cu)	< 7.5	7.5 - 15.0	15.0 - 25.2	25.2 - 35.7	35.7 - 42.3	42.3 - 60.0	> 60.0
Hierro, (Fe)	< 37.5	37.5 - 75.0	75.0 - 126.0	126. - 178.5	178.5 - 211.5	211.5 - 300.	> 300.0
Manganeso, (Mn)	< 25.0	25.0 - 50.0	50.0 - 84.0	84.0 - 119.0	119.0 - 141.0	141. - 200.0	> 200.0
Zinc, (Zn)	< 12.5	12.5 - 25.0	25.0 - 42.0	42.0 - 59.5	59.5 - 70.5	70.5 - 100.0	> 100.0

D, deficiente; B, bajo; MB, medianamente bajo; S, suficiente; MA, medianamente alto; A, alto; E, excesivo.

Utilidad del análisis de suelo

El análisis de suelo es muy útil porque permite complementar el diagnóstico visual y el análisis vegetal, para apoyar la toma de decisiones en la elaboración del programa de fertilización para corregir desórdenes nutricionales o fisiológicos en las plantaciones de agave.

Al momento de iniciar el estudio de la fertilidad del suelo, no existían valores de referencia en la literatura mundial para suelos con plantaciones de *Agave tequilana* Weber, Var. azul.

Para generar valores de referencia mediante la técnica DDI, se recolectaron muestras representativas compuestas de seis submuestras, de sitios con plantas “sanas” y de sitios con plantas enfermas, en un radio no mayor de 25 metros, con cuatro repeticiones. Se tomaron muestras de dos profundidades: 0–30 y 30–60 cm.; en dos posiciones: inmediatamente subyacente a las plantas sanas o enfermas y a un metro de distancia hacia la calle entre la hilera de plantas. En plantaciones de 1 a 7 años de edad en las seis zonas de producción de Casa Cuervo se generó una base de datos de 2 688 valores, se procesaron estadísticamente mediante los índices DDI, para obtener siete categorías: Deficiente, Bajo, Medianamente Bajo, Suficiente, Medianamente Alto, Alto y Exceso.

Se estableció que no hay diferencia significativa en las propiedades del suelo, tanto en profundidad como en distancia de la planta. De manera que al momento de realizar un levantamiento de fertilidad del suelo es suficiente con tomar muestras representativas de suelo a la profundidad de 0–30 cm.; a 30, 60 ó 90 cm. de distancia de la base de la planta de agave, según su edad. En el Cuadro 3, se presentan los valores de referencia para las propiedades del suelo agrupadas en: Análisis básico; Análisis del extracto de saturación, Análisis físico y Análisis de fertilidad. En su conjunto se determinaron de 24 a 26 parámetros.

Cuadro 3. Valores de referencia DDI para análisis de suelo donde se cultiva Agave tequilana Weber, var. Azul. Expresados en ppm.

Elemento	D	B	MB	S	MA	A	E
Nitrógeno, (N-NO ₃)	< 8.21	8.21-16.41	16.41-27.57	27.57-39.06	39.06-46.28	46.28-65.65	> 65.65
Fósforo, (P)	< 7.55	7.55-15.10	15.10-25.38	25.38-35.95	35.95-42.60	42.60-60.42	> 60.42
Potasio, (K)	< 84.6	84.6-169.2	169.2-284.3	284.3-402.8	402.8-477.3	477.3-677.0	> 677.0
Calcio, (Ca)	< 744.0	744.-1488.	1488.-2500.	2500.-3541.	3541.-4196.	4196.-5952	> 5952
Magnesio, (Mg)	< 161.8	161.8-323.7	323.7-543.8	543.8-770.4	770.4-912.8	912.8-1294.7	> 1294.7
Boro, (B)	< 0.18	0.18-0.37	0.37-0.62	0.62-0.88	0.88-1.04	1.04-1.47	> 1.47
Cobre, (Cu)	< 0.81	0.81-1.62	1.62-2.72	2.72-3.85	3.85-4.56	4.56-6.47	> 6.47
Hierro, (Fe)	< 9.6	9.6 - 19.2	19.2-32.3	32.3-45.8	45.8-54.3	54.3-77.0	> 77.0
Manganeso, (Mn)	< 18.22	18.2-36.4	36.4-61.2	61.2-86.7	86.7-102.7	102.7-145.7	> 145.7
Zinc, (Zn)	< 0.50	0.50-1.00	1.00-1.67	1.67-2.37	2.37-2.81	2.81-3.99	> 3.99

D, deficiente; B, bajo; MB, medianamente bajo; S, suficiente; MA, medianamente alto; A, alto; E, excesivo.

**Conocimiento y prácticas
agronómicas para la producción
de *Agave tequilana* Weber
en la zona de denominación
de origen del tequila**

**DEFICIENCIA INDUCIDA DE ELEMENTOS
NUTRITIVOS
EN EL CULTIVO DE AGAVE**

Páginas 89-116

Velitchka B. Nikolaeva
Víctor Niño de la Cruz

CAPÍTULO V

Cita correcta:

Nikolaeva V., B., V. Niño de la C. 2007. Deficiencia inducida de elementos nutritivos en el cultivo de agave. p. 89-116 *In* Rulfo V., F. O. *et al.* (ed.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro.

DEFICIENCIA INDUCIDA DE ELEMENTOS NUTRITIVOS EN EL CULTIVO DE AGAVE

Velitchka B. Nikolaeva¹

Víctor Niño de la Cruz²

RESUMEN

Las deficiencias de nutrimentos causan síntomas específicos de daño en los tejidos de las plantas, los cuales pueden ser identificados antes de que ocurra un daño permanente. Para analizar los patrones de estos síntomas se indujeron deficiencias a plantas bajo condiciones de hidroponía. Las deficiencias de los elementos mayores: nitrógeno, fósforo y potasio son detectables visualmente después de 60 días de tratamiento, mientras que las de elementos menores sólo fueron detectables a través de análisis químico.

Palabras clave: *Agave tequilana*, elementos nutritivos, análisis, síntomas de deficiencia.

NUTRITIONAL ELEMENT INDUCED DEFICIENCY IN AGAVE CROP

ABSTRACT

Nutritional deficiencies induce specific symptoms in plant tissues, which might be readily detected before permanent damage occurs. In order to observe the patterns of such deficiencies in agave, plants were subjected to nutritional deficits under hydroponics conditions. Lack of nitrogen, phosphorus and potassium visual symptoms for the lack of were detectable after 60 days of being treated, while minor element deficiency symptoms were detectable only by chemical analysis.

Keywords: *Agave tequilana*, nutritional elements, analysis, deficiency symptoms.

Contacto: lcnavarr@agromod.com.mx

INTRODUCCION

La planta de *Agave tequilana*. Weber es una planta muy resistente a la exposición a deficiencia de elementos nutritivos, lo cual se confirmó cuando al cultivarla en agua destilada pura continuó produciendo tejidos vivos. En esta prueba se cultivaron plantas micropropagadas de agave en hidroponía con soluciones deficientes en diferentes elementos.

Los síntomas visuales de deficiencias aparecen tras un tiempo relativamente largo en comparación con hortalizas y otros cultivos. Los primeros síntomas en aparecer fueron las deficiencias de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), los cuales se manifestaron como:

- Achaparramiento y clorosis de la planta.
- Reducción del tamaño de las hojas.
- Necrosis marginal y apical de las hojas.
- Disminución de la tasa de crecimiento de la planta.
- Efectos negativos en el crecimiento y desarrollo de las raíces.

No se presentaron síntomas visuales de deficiencia para los macro elementos: calcio (Ca) y magnesio (Mg); pero sí se detectó la presencia de deficiencia de acuerdo con los resultados de los análisis químicos de tejido vegetal. Lo mismo sucedió con las deficiencias de micro elementos: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), boro (B) y cobre (Cu) en las cuales no aparecieron síntomas visuales, sin embargo, se corroboró mediante el análisis químico de laboratorio la baja concentración en el tejido vegetal de los elementos nutritivos manganeso (Mn), zinc (Zn) y boro (B).

Para el caso del hierro, éste se inició con bajas concentraciones en el tejido vegetal a 60 días de endurecimiento (DE) y a 120 DE por arriba de la concentración del testigo, esto por el abastecimiento gradual de hierro por parte de la lana de roca utilizada como sustrato de crecimiento (Cadhia López, C. 2000).

El Laboratorio de Nutrición Vegetal reportó concentraciones de cobre por encima de las presentes en el testigo para el tratamiento de deficiencia de este elemento; este efecto es debido a que el nivel de cobre en la solución de

riego (0.02 ppm/L) en relación con los rangos de suficiencia (0.03-0.05 ppm/L solución de riego) es muy estrecho.

Los resultados del análisis presentado corresponden a 120 días de exposición a las deficiencias.

Características generales de diagnóstico de deficiencias nutricionales en las plantas

Nitrógeno

Todas las formas del nitrógeno son móviles dentro de la planta. Sin embargo, los primeros síntomas de deficiencia se manifiestan como una palidez gradual o clorosis de las hojas maduras o viejas, que llegan a tornarse amarillentas y a desprenderse del tallo.

En las etapas fenológicas iniciales de las plantas con deficiencia de nitrógeno, el crecimiento es lento y los agaves son de porte bajo y débiles. La clorosis se extiende de las hojas maduras a las jóvenes las que usualmente no muestran los síntomas característicos de la deficiencia solamente hasta que están muy avanzados los síntomas de deficiencias en las hojas más maduras.

Por lo general no se presentan necrosis en el tejido; pero de presentarse sería en estados avanzados de crecimiento y desarrollo expuestos a condiciones extremas de la deficiencia de nitrógeno. Además, se incrementa la producción de antocianinas en tallos, nervaduras foliares y pecíolos los cuales pueden volverse rojos o púrpuras.

En las raíces se reducen las ramificaciones; pero por otra parte, hay usualmente un incremento en la emisión de nuevas raíces. Estas raíces son alargadas y con pocas ramificaciones. (Bidwell, 1987; Uvalle-Bueno, 1987; Mills *et al.*, 1996).

Fósforo

Los primeros síntomas de deficiencia de fósforo aparecen en las hojas maduras debido a la gran movilidad de este elemento, tendiendo a tornarse las hojas de un color verde oscura o bien la clorosis extendida en las nervaduras foliares.

La deficiencia del fósforo afecta todos los aspectos del metabolismo vegetal y el crecimiento. Existe pérdida de hojas maduras, se desarrolla antocianinas en tallos y nervaduras foliares y en casos extremos de deficiencia, el desarrollo de áreas necróticas en diversas partes de la planta como en los ápices y a lo largo de los márgenes de las hojas.

Las plantas son de lento crecimiento y desarrollo, a menudo achaparradas y con baja emisión (diferenciación) de raíces. En condiciones extremas de deficiencia el punto de crecimiento podría verse afectado. Las raíces pueden tener una coloración café claro. (Bidwell, 1987; Uvalle-Bueno, 1987; Mills y Benton Jones Jr., 1996).

Potasio

Debido a su movilidad en la planta, los primeros síntomas de deficiencia aparecen en los tejidos más maduros. Generalmente, se empieza a manifestar clorosis típicamente moteada o sobre los bordes de las hojas maduras, que posteriormente se distribuye a las jóvenes. Se producen áreas necróticas a lo largo de los márgenes y en las puntas de la hojas, las que se enroscan de una manera característica y puede producirse un ennegrecimiento de las hojas.

Esta deficiencia se manifiesta como crecimientos en roseta, achaparramiento de las plantas, reducción de crecimiento caulinar, debilitamiento de tallo y baja resistencia a las enfermedades. Las raíces presentan una reducción en su crecimiento. (Bidwell, 1987; Uvalle-Bueno, 1987; Mills y Benton Jones Jr., 1996).

Calcio

Las primeras partes de la planta afectadas por una deficiencia de calcio son las meristemáticas, porque una reducción de este elemento impide la formación de las nuevas paredes celulares, lo que a su vez imposibilita la división celular. La división celular incompleta o mitosis, sin formación de nuevas paredes celulares se traduce en la producción de células plurinucleadas, típica en las plantas con deficiencia de este elemento.

Las plantas reducen su crecimiento apical debido a la inmovilidad del elemento. En casos severos de deficiencia hay clorosis de las márgenes de hojas jóvenes, encorvamiento de las puntas foliares (puntas marchitas), secamiento, necrosis, ondulaciones en el limbo foliar en sentido longitudinal y la formación de raíces atrofiadas e incoloras. (Bidwell, 1987; Uvalle-Bueno, 1987; Mills y Benton Jones Jr., 1996).

Magnesio

El magnesio es relativamente móvil en la planta, por lo que los primeros síntomas de deficiencia se desarrollan en las hojas más viejas, presentándose clorosis entre las nervaduras foliares (clorosis intervenal) o pueden aparecer pigmentos brillantes de color rojizo, naranja, amarillo o púrpura. En grados más avanzados de deficiencia se pueden presentar los síntomas en las hojas más jóvenes. Esta clorosis intervenal progresa desde los bordes hacia el centro de la hoja. (Bidwell, 1987; Uvalle-Bueno, 1987; Mills y Benton Jones Jr., 1996).

Hierro

Los síntomas de deficiencia de hierro son fácilmente reconocibles y muy específicos. La clorosis que se produce está restringida estrictamente a las hojas más jóvenes de las plantas en crecimiento, sin evidente achaparramiento o necrosis. La clorosis es de tipo intervenal y se presenta de manera muy similar a lo expresado por la deficiencia de magnesio, debido a que ambos elementos intervienen en la producción de la clorofila. Para diferenciar la deficiencia de hierro de la de magnesio, simplemente basta con saber que la deficiencia de hierro se inicia en las hojas jóvenes, mientras que la de magnesio da comienzo en las hojas maduras o viejas. En condiciones severas

de deficiencia, la clorosis se distribuye hacia las hojas más maduras, las cuales podrán adquirir coloraciones hacia el blanco. Las plantas deficientes tienden a acumular en el tejido aminoácidos y nitratos. (Bidwell, 1987; Uvalle-Bueno, 1987; Mills y Benton Jones Jr., 1996).

Manganeso

Los síntomas de deficiencias de manganeso varían entre las diferentes especies vegetales y generalmente son similares a las deficiencias de hierro y zinc. Existe clorosis intervenal en las hojas viejas. Puede existir formación de manchas necróticas sobre las hojas. (Bidwell, 1987; Uvalle-Bueno, 1987; Mills y J. Benton Jones Jr., 1996).

Zinc

Los síntomas de deficiencia de zinc incluyen atrofiamiento y reducción de la hoja, clorosis intervenal en la superficie de la hoja, adquiriendo tonalidades de verde opaco, amarillo o eventualmente coloración hacia el blanco. La deficiencia de este elemento resulta en un sustancial incremento de compuestos nitrogenados solubles en el tejido vegetal.

Boro

El síntoma de deficiencia de boro puede describirse como una elongación anormal o retardada de los puntos de crecimiento y/o del meristemo apical. Las hojas jóvenes son deformes, manchadas, con franjas blancas a lo largo de las hojas, más gruesas de lo normal y de color más oscuro. Existe acortamiento de entrenudos y un menor crecimiento radicular. Eventualmente, los puntos de crecimiento mueren. Las hojas y tallos pueden ser frágiles por efectos sobre la formación de las paredes celulares o acumulación de auxinas y fenoles, induciendo con esto necrosis en hojas y en otras partes de la planta. Las raíces son pobres, gruesas, deformes y con puntos necróticos. (Bidwell, 1987; Uvalle-Bueno, 1987; Mills y Benton Jones Jr., 1996).

Cobre

El cobre es inmóvil en la planta, por lo que sus órganos jóvenes son la primera parte de la planta en manifestar los síntomas de deficiencia.

Esta deficiencia causa necrosis en las hojas, dando una apariencia de estar marchitas y oscuras. Hay reducción del crecimiento de la planta (achaparramiento) con distorsión de las hojas jóvenes, enrollándose entre sí y tornando blancas las puntas. También existe necrosis del meristemo apical. La deficiencia de cobre incrementa los índices de acame, especialmente cuando simultáneamente hay crecimiento por respuesta a la fertilización nitrogenada. (Bidwell, 1987; Uvalle-Bueno, 1987; Mills y Benton Jones Jr., 1996).

Materiales y Métodos

Se llevó a cabo un experimento con plantas de *Agave tequilana* propagadas *in vitro* con uniformidad de tamaño y calidad (Figura 1). Se establecieron 11 tratamientos con 4 repeticiones de 50 plantas cada una. El sustrato para la inducción de deficiencias fue Lana de Roca tipo Grodan en mini bloques de 4x4x4 cm, inerte y estéril, sin disponibilidad de elementos nutritivos. Este material no retiene prácticamente agua de reserva ni agua difícilmente disponible. Presenta inicialmente una reacción débil a moderadamente alcalina (pH = 7.0 a 8.5), que se neutraliza rápidamente por la solución nutritiva.

La inducción de los síntomas de deficiencias fue a través del método de la hidroponía, empleando soluciones nutritivas concentradas x100, las cuales se prepararon a base de agua desmineralizada o destilada, suministrándose los mismos niveles por tratamiento y eliminando cada uno de los elementos nutritivos a determinar la deficiencia. Los niveles de nutrientes utilizados en la solución testigo para el desarrollo de *Agave tequilana* (Testigo) se presentan en el Cuadro 1.

Para la inducción de deficiencia de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y calcio (Ca); así como de los micro nutrientes hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu) y boro (B), en *Agave tequilana*, se prepararon 10 L de solución concentrada x100 de stock A y B.

Para el testigo se preparó la solución concentrada stock A y B, sin deficiencia alguna de elementos nutritivos. Se incluyó también un tratamiento regado exclusivamente con agua destilada (Testigo cero).



Figura 1. Plantas de agave en charolas con lana mineral, manejo utilizado para este experimento.

Cuadro 1. Niveles de elementos nutritivos

Elemento nutritivo	Concentración en ppm
N – NH ₄ ⁺	14.00 – 28.00
N – NO ₃ ⁻	90.00 – 100.00
P	30.00 – 40.00
K ⁺	160.00 – 180.00
Ca ²⁺	60.00 – 80.00
Mg ²⁺	20.00 – 30.00
S – SO ₄ ²⁻	40.00 – 50.00
Fe ²⁺	0.80 – 1.00
Mn ²⁺	0.15 – 0.20
B	0.20 – 0.30
Zn ²⁺	0.15 – 0.25
Cu ²⁺	0.03 – 0.05

Las soluciones nutritivas concentradas x100 stock A y B a base de agua destilada se describen en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Soluciones nutritivas concentradas x100 de A y B a base de agua destilada CE = 0.02 mS / cm; pH = 5.5 para el ensayo de deficiencias en *Agave tequilana*.

Solución concentrada "A"

Gramos de producto comercial en 10 L de agua destilada					
Tratamiento	(NO ₃) ₂ Ca	NO ₃ NH ₄	NO ₃ K	Hidróxido de Ca al 95 %	Quelato DTPAFe al 10%
Testigo	324.0	58.0	142.0	0.000	9.0
Def. N	0.0	0.0	0.0	65.684	9.0
Def. P	324.0	58.0	142.0	0.000	9.0
Def. K	357.0	38.0	0.0	0.000	9.0
Def. Ca	0.0	165.0	284.0	0.000	9.0
Def. Mg	324.0	58.0	142.0	0.000	9.0
Def. Fe	324.0	58.0	142.0	0.000	0.0
Def. Mn	324.0	58.0	142.0	0.000	9.0
Def. Zn	324.0	58.0	142.0	0.000	9.0
Def. B	324.0	58.0	142.0	0.000	9.0
Def. Cu	324.0	58.0	142.0	0.000	9.0

Solución concentrada “B”

Gramos de producto comercial en 10 litros de agua destilada.										
	NH ₄ NO ₃	KNO ₃	MKP	MAP	K ₂ SO ₄	MgSO ₄	MnSO ₄	ZnSO ₄	Ac. bórico	CuSO ₄
Testigo	0.0	110.0	136.0	0.0	88.0	246.0	0.9	0.8	1.164	0.12
Def. N	0.0	0.0	136.0	0.0	90.9	246.0	0.9	0.8	1.164	0.12
Def. P	0.0	110.0	0.0	0.0	175.0	246.0	0.9	0.8	1.164	0.12
Def. K	107.0	0.0	0.0	114.0	0.0	246.0	0.9	0.8	1.164	0.12
Def. Ca	0.0	76.0	136.0	0.0	0.0	246.0	0.9	0.8	1.164	0.12
Def. Mg	0.0	110.0	136.0	0.0	88.0	0.0	0.9	0.8	1.164	0.12
Def. Fe	0.0	110.0	136.0	0.0	88.0	246.0	0.9	0.8	1.1640.12	0.12
Def. Mn	0.0	110.0	136.0	0.0	88.0	246.0	0.0	0.8	1.164	0.12
Def. Zn	0.0	110.0	136.0	0.0	88.0	246.0	0.9	0.0	1.164	0.12
Def. B	0.0	110.0	136.0	0.0	88.0	246.0	0.9	0.8	0.000	0.12
Def. Cu	0.0	110.0	136.0	0.0	88.0	246.0	0.9	0.8	1.164	0.00

La solución de riego para cada tratamiento evaluado se preparó por separado, en disolución en agua destilada (CE = 0.02 mS/ cm; pH = 5.5) suministrando las soluciones concentradas A y B hasta alcanzar una conductividad de entre 1.0 – 1.2 mS / cm Cuadro 3.

Cuadro 3. Dilución de las soluciones stock A + B en el ensayo de deficiencias en *Agave tequilana*.

Tratamiento	ml de solución concentrada A y B litro de agua	
Testigo	(T1)	10
Def. de Nitrógeno - N	(T2)	11
Def. de Fósforo - P	(T3)	10
Def. de Potasio - K	(T4)	11
Def. de Calcio; - Ca	(T5)	10
Def. de Magnesio - Mg	(T6)	10
Def. de Hierro - Fe	(T7)	10
Def. de Manganeseo - Mn	(T8)	10
Def. de Zinc - Zn	(T9)	10
Def. de Boro - B	(T10)	10
Def. de Cobre - Cu	(T11)	10

Para un riego uniforme se utilizó el sistema modificado de marea con un volumen de 2.0 a 4.0 L/ m² cada 5 - 9 días, con los intervalos más largos para las plantas iniciales y el intervalo corto para las plantas más desarrolladas. (Muckle, 1993; Reed, 1996; Coras, 1999; Howard, 1995).

Como registros preliminares y de referencia se analizó químicamente a las plantas en diferentes estados de crecimiento y desarrollo:

- Plantas propagadas *in vitro*.
- Plantas adaptadas o endurecidas entre 60 – 70 días.
- Plantas desarrolladas en campo entre 5 – 6 años.

Con base en los análisis químico de tejido vegetal se definió el nivel nutritivo para *Agave tequilana*, utilizando los niveles críticos, óptimos y tóxicos en las plantas superiores (Cuadro 4).

Cuadro 4. Datos básicos para análisis de tejido vegetal (William F. Bennett, 1996).

Elemento nutritivo		Nivel crítico	Nivel óptimo	Nivel tóxico
Nitrógeno	(% N)	< 2.0	2.1 – 5.0	No tóxico
Fósforo	(% P)	< 0.2	0.3 – 0.5	No tóxico
Potasio	(% K)	< 1.0	1.1 – 5.0	No tóxico
Calcio	(% Ca)	< 0.1	0.11 – 1.0	No tóxico
Magnesio	(% Mg)	< 0.1	0.11 - 0.4	No tóxico
Azufre	(% S)	< 0.1.	0.11 – 0.3	No tóxico
Hierro	(ppm Fe)	< 50	51 – 250	No tóxico
Zinc	(ppm Zn)	15 – 20	21 – 100	> 400
Manganeso	(ppm Mn)	10 – 20	21 – 300	> 300
Cobre	(ppm Cu)	3 – 5	5 – 20	> 20
Boro	(ppm B)	< 10 ppm	11 – 100	> 100

Se evaluaron sistemáticamente a 60 días de endurecimiento (DE) en invernadero, 90 DE y 120 DE, las concentraciones de los elementos nutritivos presentes en el tejido vegetal de *Agave tequilana* para cada tratamiento. Las siguientes variables de las plantas se analizaron agrónomicamente:

- Número de hojas in vitro.
- Número de hojas ex vitro (nuevas).
- Diámetro de “tallo” en su parte más angosta (cm).
- Diámetro de “tallo” en su parte más larga (cm).
- Extrapolación a grosor del “tallo” (cm²): Estimado por la fórmula de $3.14159 \times (\text{Largo "tallo"}/2) \times (\text{ancho de "tallo"}/2)$.
- Altura de la planta: medido de manera perpendicular a la superficie del sustrato al extremo de la punta de la hoja más alta (cm).
- Largo de la hoja más desarrollada: medido en forma extendida desde la base del tallo (limitado por la superficie del sustrato) hasta el extremo apical de la hoja (cm).
- Ancho de la hoja más desarrollada: Se midió en la parte media de la hoja.

- Peso fresco de follaje: Es el peso del total de la planta sin raíz (g).
- Peso fresco de raíz: Es el pesado de las raíces recuperadas después de retirar el sustrato (g).
- Peso seco de follaje y raíces: Peso del tallo y las raíces después de ser deshidratado los tejidos a una temperatura constante de 70 ° C.

RESULTADOS

A continuación se presentan las características de las plantas de agave antes de la realización del experimento: plantas *in vitro*; y de las plantas testigo, las cuales recibieron una nutrición sin deficiencias y aquellas sometidas a deficiencia total siendo cultivadas en agua destilada (Figuras 2, 3 y 4), con el objeto de establecer los parámetros de comparación para las plantas sujetas a los diferentes tratamientos de deficiencia inducida.

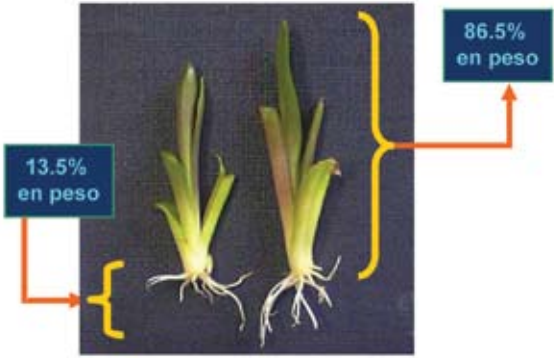

• Altura promedio	7.53 cm	
• Grosor de tallo	0.41 cm ²	
• Número de hojas in vitro	4.08	
• Peso total fresco	1.95 g	
• Peso de follaje fresco	1.75 g	
• % Materia seca	6.60 %	
• % de humedad	93.40 %	
• Número de raíces	6.06	

Figura 2. Características de las plantas *in vitro*, sometidas a deficiencia total..

• Altura promedio	19.98 cm	 <p>Figura 3. Tratamiento testigo (sin deficiencia de elementos nutritivos) a los 120 DE.</p>
• Grosor de tallo	1.65 cm ²	
• Número de hojas in vitro	3.21	
• Número de hojas ex vitro	4.33	
• Peso total fresco	36.86 g	
• Peso de follaje fresco	34.06 g	
• % Materia sec	7.19 %	
• % de humedad	92.81 %	

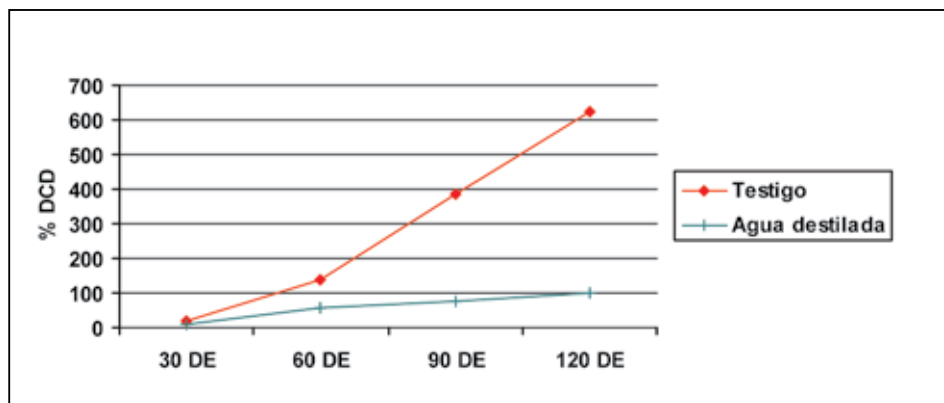


Figura 4. Dinámica de crecimiento y desarrollo (DCD%) para el testigo sin deficiencia y el tratamiento con agua destilada en *Agave tequilana*.

La concentración de los macro elementos para el testigo completo, manifiesta con relación a los valores para las plantas adultas analizadas por el Laboratorio de AL que el porcentaje de nitrógeno y magnesio están dentro de los rangos establecidos; fósforo y potasio por encima de los rangos definidos por este laboratorio y el calcio por abajo del rango de las plantas adultas.

Para el caso del tratamiento con agua destilada los valores de los macro elementos están muy por debajo de los rangos establecidos para una planta adulta.

Los valores de las plantas con > 60 DE en los invernaderos son similares a las concentraciones obtenidas por el testigo establecido bajo el sistema de hidroponía (Cuadros 5 y 6). Las plantas fueron endurecidas acorde al proceso establecido por el área de invernaderos *In vitro* pasando en el invernadero de “cristal” las primeras tres semanas de endurecimiento y finalizando el endurecimiento en los invernaderos tipo “Carolino”. Las condiciones ambientales en las cuales se desarrolló el experimento se aprecian en la Figura 5.

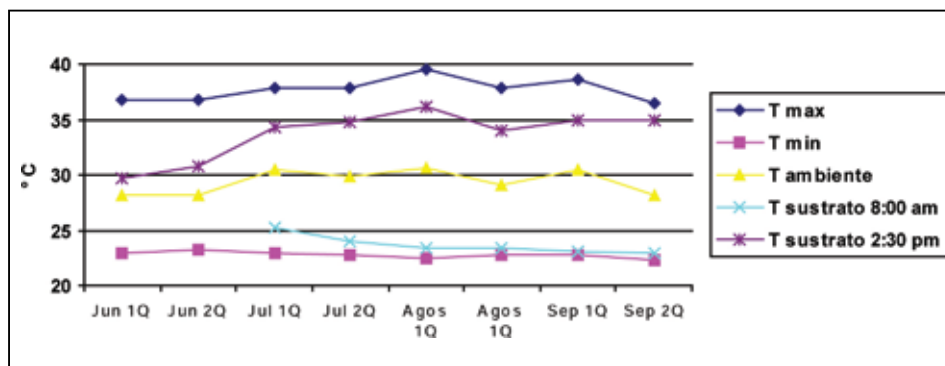


Figura 5. Datos ambientales de temperatura en invernadero y sustrato durante el desarrollo de la evaluación de deficiencias en *Agave tequilana*.

Diagnóstico de deficiencia en macro elementos

Los síntomas de deficiencia visual para los macro elementos sólo se manifestaron para el nitrógeno, fósforo y potasio a los 60 días después del trasplante; y no para el calcio ni para el magnesio.

Cuadro 5. Concentración de los macro elementos (%) en diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del *Agave tequilana*.

Nitrógeno (N) Tratamiento	Fósforo (P)			Potasio (K)			Calcio (Ca)			Magnesio (Mg)					
	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120			
Testigo	2.76	2.85	2.67	0.49	0.44	0.42	5.85	5.05	4.00	1.37	1.58	1.95	0.88	0.85	0.96
Agua dest.	1.23	0.68	0.61	0.15	0.07	0.07	1.00	0.67	0.47	1.85	1.00	1.20	0.77	0.55	0.64
Ex agar	1.80			0.35			3.00			0.40			0.14		
Invernadero	2.50			0.45			4.80			1.90			1.07		
63 DE															
Lab. AL con	1.5	3.5		0.10	0.20		1.80	3.00		3.0	4.0		0.50	1.00	
5 a 6 años															

Cuadro 6. Concentración de los micro elementos (ppm) en diferentes etapas de crecimiento y desarrollo del *Agave tequilana*.

Tratamiento	Hierro (Fe)			Manganeso (Mn)			Zinc (Zn)			Cobre (Cu)			Boro (B)		
	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120	60	90	120
Testigo	155.5	162.1	124.75	64.8	53.25	63.45	50.0	46.55	38.45	10.16	8.4	7.98	39.9	18.75	28.9
Agua dest.	164.0	173.6	142.4	67.4	39.2	35.02	32.7	22.9	20.8	13.72	26.32	22.96	23.0	10.30	8.8
Ex agar	72.1			88.4			40.50			2.50			21.9		
Invernadero	50.0			17.4			31.70			1.40			14.4		
63 DE															
Lab. AL con	50	200		30	100		15	50		8	20		20	80	
5 a 6 años															

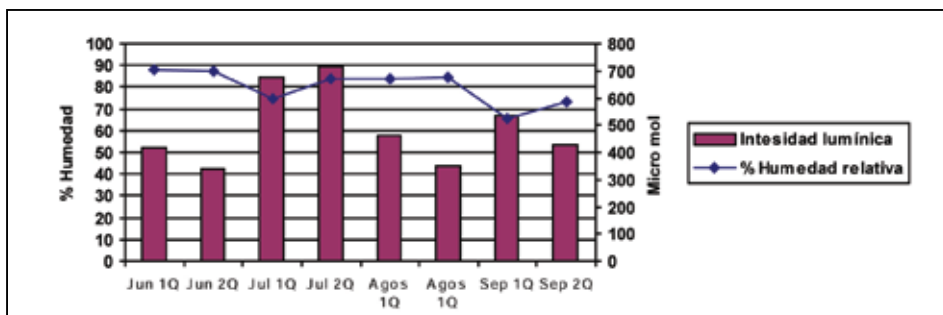


Figura 6. Datos del porcentaje de humedad relativa e intensidad lumínica durante el desarrollo de la evaluación de deficiencias en *Agave tequilana*.

Deficiencia de nitrógeno

El primer síntoma de deficiencia observado para el nitrógeno (N) fue una reducción de la coloración verde de las hojas *in vitro*, que posteriormente se tornaron amarillo limón. Posteriormente, se observó una coloración rojiza en la base del tallo y en las márgenes de las hojas más viejas, sin presentar necrosis del tejido vegetal.

Hubo una reducción significativa en la emisión de hojas nuevas, las cuales presentaron coloración verde pálido; son pequeñas las hojas a lo largo y ancho de estas. El porte de la planta fue inferior al ser comparado con todos los parámetros agronómicos del Testigo (Figura 7).



Figura 7. Aspecto de plantas sometidas a deficiencia de nitrógeno después de 120 días de tratamiento.

Las raíces fueron numerosas, alargadas y con poca ramificación, algunas presentan coloraciones rojizas probablemente por la acumulación de antocianinas (Figura 8).



Figura 8. Aspecto de las raíces de plantas sometidas a deficiencia de nitrógeno durante 120 días.

Los resultados de análisis de tejido vegetal revelan una baja concentración del nitrógeno (Figura 9) comparable a la concentración presente en el tejido vegetal del tratamiento con agua destilada. Además, presentaron menor concentración que el testigo completo para los elementos nutritivos fósforo, potasio, calcio y hierro.

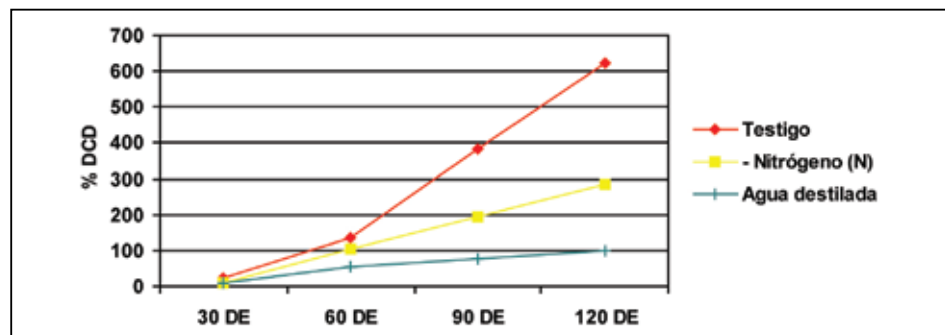


Figura 9. Dinámica de crecimiento y desarrollo (DCD%) para el Testigo vs. deficiencia de nitrógeno en *Agave tequilana*.

Deficiencia de fósforo

Dentro de las deficiencias de los macro elementos en *Agave tequilana*, la deficiencia de fósforo fue la que más afectó los procesos metabólicos de crecimiento y desarrollo. Los daños en la planta son similares a los presentados en el tratamiento con agua destilada, es decir, que toda la planta fue muy afectada.

Los síntomas visuales de deficiencia de fósforo dieron inicio en las hojas más maduras, manifestando un secamiento de las puntas de las hojas y algunas manchas necróticas sobre las márgenes de estas, sin clorosis sobre la superficie laminar. Conforme se expuso por más tiempo a la deficiencia de fósforo, el *Agave* no presentó un crecimiento y desarrollo normal. Las hojas más viejas se marchitaron y murieron con lo que se redujo la presencia de hojas *in vitro*. La emisión de las nuevas hojas fue significativamente menor a las del testigo.

En los márgenes de las hojas recientemente maduras hubo clorosis desde la base hasta la parte apical de la hoja, hojas de tamaño reducido a lo largo y ancho.

En el sustrato hay acumulación de sales, indicativo de una baja tasa de nutrición por parte de la planta deficiente en fósforo.



Figura 10. Aspecto de las plantas de *Agave tequilana* sometidas a deficiencia de fósforo durante 120 días.

Las raíces de las plantas fueron pocas, delgadas y con coloraciones de color café claro, existiendo necrosis y muerte. La emisión de las nuevas raíces fue reducida en comparación con el Testigo.



Figura 11. Aspecto de las raíces de plantas sometidas a deficiencia de fósforo durante 120 días.

Al comparar la dinámica de crecimiento de una planta con deficiencia de fósforo vs. una planta testigo, nutrida normalmente, se observó una franca disminución del porte de la planta de agave, con menor número de hojas, afectación en las hojas maduras y un lento crecimiento (Figura 12).

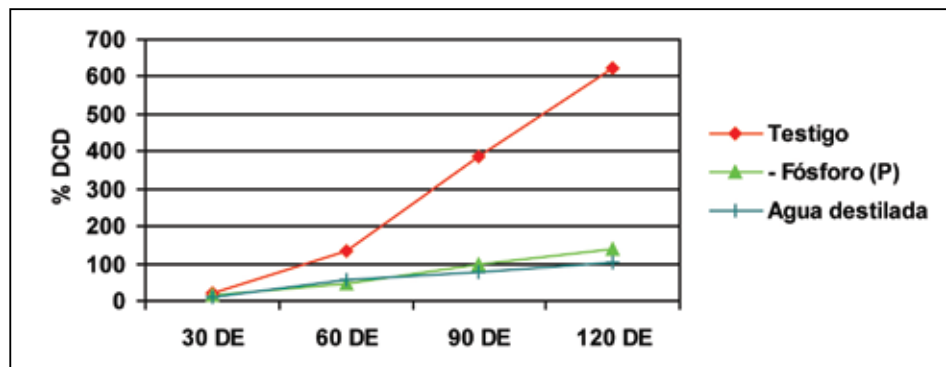


Figura 12. Dinámica de crecimiento y desarrollo (DCD%) para el testigo vs. deficiencia de fósforo en *Agave tequilana*.

Los resultados de análisis de tejido vegetal indican una baja concentración del fósforo comparado con la concentración del testigo sin deficiencia y una concentración muy similar a la reportada para el tratamiento regado con agua destilada. También se detectaron bajas concentraciones de nitrógeno y boro; de igual forma, para el potasio, calcio y magnesio en los primeros 90 días DE, presentando normalidad para los 120 DE.

Hubo una concentración mayor de los micro elementos hierro, manganeso, zinc y cobre con relación a lo reportado para el testigo sin deficiencia.

Deficiencia de potasio

La deficiencia de potasio se expresa inicialmente como un cambio estructural de la superficie de la lámina foliar, al aparecer un acanalado de las hojas recientemente maduras, con clorosis y necrosis apical reducidas.

Conforme la planta de *Agave tequilana* es expuesta por más tiempo a la deficiencia de potasio las hojas jóvenes empiezan a presentar también la forma acanalada de la superficie laminar y las hojas recientemente maduras presentan una reducción son reducidas, de apariencia angosta, con clorosis y necrosis en la parte apical. Se presenta un halo de coloración amarillo claro que va del ápice hacia la parte basal de las hojas, llegando más allá de la parte media de la superficie laminar. Estas hojas son más arqueadas de lo normal.

No hay muerte de las hojas más viejas, pero sí una reducción en la emisión de hojas en comparación con el testigo sin deficiencia. La planta tiene apariencia achaparrada y aspecto enfermizo y débil.

Las raíces parecen numerosas, pero en la realidad las raíces primarias son pocas y cortas, muy ramificadas y delgadas. Algunas presentan una coloración café claro y otras necrosis.

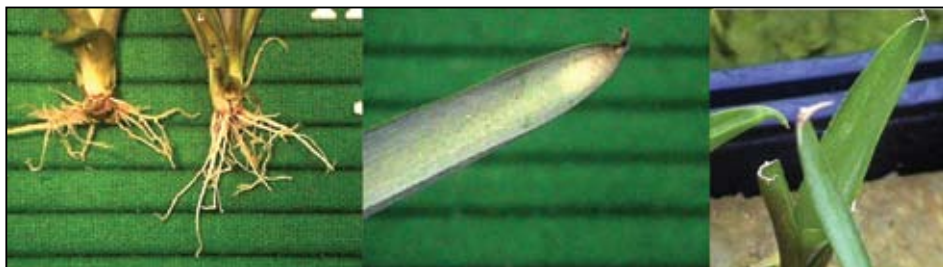


Figura 13. Plantas de *Agave tequilana* presentando síntomas de deficiencia de potasio.

La comparación entre el testigo y la deficiencia de potasio con relación a la dinámica de crecimiento y desarrollo indican una afectación significativa de la planta de *Agave tequilana* por la falta de este elemento nutritivo (Figura 14).

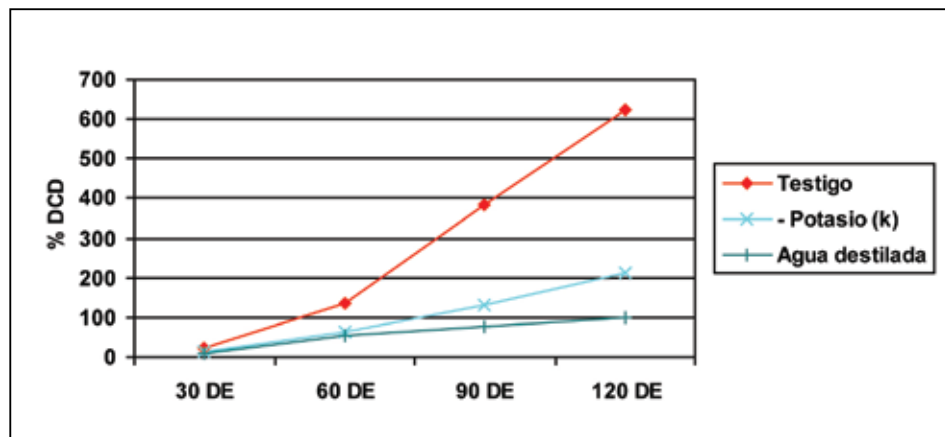


Figura 14. Dinámica de crecimiento y desarrollo (DCD%) para el testigo y deficiencia de potasio en *Agave tequilana*.

Los resultados del análisis de laboratorio revelan que en las plantas de *Agave tequilana* con deficiencia de potasio aumentan las concentraciones de los macro elementos fósforo, calcio y nitrógeno, así como en menor proporción el magnesio. La misma tendencia fue observada para los micro elementos con excepción del hierro y el boro, los cuales tienden a quedar normales con relación al testigo. Las mayores concentraciones de micro elementos en el tejido vegetal a 120 DE fueron las de manganeso, hierro, cobre y zinc.

Deficiencia de calcio y magnesio

La dinámica de crecimiento y desarrollo de las plantas de *Agave tequilana* expuestas a la deficiencia de calcio y magnesio, con relación al testigo sin deficiencia son de repuesta agronómica similar (Figura 15).

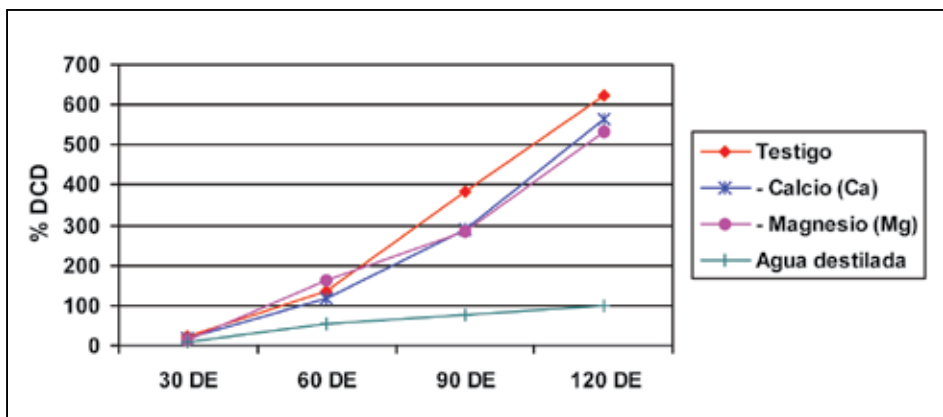


Figura 15. Dinámica de crecimiento y desarrollo (DCD%) para el testigo y deficiencia de calcio y magnesio en *Agave tequilana*.

No se detectaron síntomas visuales de deficiencia para los macro elementos calcio y magnesio a los 120 DE.

Diagnóstico de deficiencia en micro elementos

La dinámica de crecimiento y desarrollo de las plantas de *Agave tequilana* para los tratamientos con deficiencia de micro elementos fueron muy similares a lo logrado por el testigo sin deficiencia nutricional.

No se detectó síntoma visual alguno de deficiencia a 120 DE para ninguno de los tratamientos con deficiencia de hierro, manganeso, zinc, boro y cobre.

Conclusiones

Las deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio en *Agave tequilana* causaron síntomas visuales que permiten el diagnóstico.

La deficiencia de fósforo presentó el mayor impacto negativo sobre el crecimiento y desarrollo de *Agave tequilana*.

Las deficiencias de nitrógeno y potasio en las plantas de *Agave tequilana* presentaron un efecto similar sobre el crecimiento y desarrollo.

En las deficiencias de fósforo y potasio se presentaron los efectos mayores sobre el desarrollo del sistema radicular.

Las deficiencias de nitrógeno, fósforo y potasio redujeron significativamente la tasa de emisión de hojas nuevas.

Los macro elementos nutritivos calcio y magnesio no causaron síntomas visuales de deficiencia tras 120 días de endurecimiento.

Las bajas concentraciones para cada uno de los elementos nutritivos nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio con relación al testigo fueron confirmadas a través de análisis químicos tras 120 de endurecimiento.

Las deficiencias de hierro, manganeso, zinc, boro y cobre no causaron síntomas visuales tras 120 de endurecimiento.

LITERATURA CITADA

- Ansorena Miner, J. 1994. Sustratos "Propiedades y caracterización". Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.
- Bennett, William F. 1998. Nutrient Deficiencies & Toxicities In Crop Plants.
- Bidwell, R.G.S. 1987. Fisiología Vegetal. 1a. Ed. en Español. AGT Editor S.A. México, D.F.
- Bould, C., E. J. Hewitt, and P. Needham. 1984. Diagnosis of Mineral Disorders in Plants.
- Cadhia López C. 2000. Fertirrigación "Cultivos hortícolas y ornamentales" 2a. Edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.
- Coras Marino, P. M. 1999. Calidad Química del Agua para Riego. Universidad Autónoma de Chapingo, Departamento de Fitotecnia. México, D.F.
- Cultivos Hidropónicos #10, Ed. Culturales Ver. LTDA, Bogotá, Colombia.
- Edward, Muckle M. 1993. Hydroponic Nutrients "Easy ways to make your own". 3rd. Edition. Growers Press Inc. Princeton, British Columbia. Canada.
- Franzen, Dave (2000). Nutrient Deficiency Symptoms.
- Fertilizers and Their Use. IFA, 2000
- Castellanos, J. Z. *et.al.* 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas, 2a. Ed. Colección INCAPA.
- Mills, Harry P., and J. Benton Jones, Jr. 1996. Plant Analysis Handbook II. MicroMacro Publishing Inc. USA.
- Reed, David Wm. 1996. Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops. Ball Publishing. USA.
- Resh, Howard M. 1995. Hydroponic Food Production, 5th Edition. Woodbridge Press Publishing Co. Santa Barbara, CA, USA.

Roorda van Eysing, Ir. J.P,N.N. Voedingselemente. Proefstation Voor Blomemisterij en Glasgroente.

Uvalle–Bueno, J. X. 1987. Memoria-Diagnosis. Primer Curso Regional de Capacitación Agrotecnológica. Análisis de Agua, Suelo y Planta. SEFERSSA. México.

Willace, Tomas. The Diagnosis of Mineral Deficiencies in Plants by Visual Symptoms. University of Bristol, Agriculture Research Station, Long Ashton, Bristol.

**Conocimiento y prácticas
agronómicas para la producción
de *Agave tequilana* Weber
en la zona de denominación
de origen del tequila**

**MANEJO DE LA MALEZA EN
PLANTACIONES
DE AGAVE TEQUILERO**

Páginas 117-134

**Mario Salamanca Camacho
Santiago Medina Ocegueda**

CAPÍTULO VI

Cita correcta:

Salamanca C., M. y Medina O., S. 2007. Manejo de la maleza en plantaciones de agave tequilero. p. 117-134 *In* Rulfo V., F. O. *et al.* (ed.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro.

MANEJO DE LA MALEZA EN PLANTACIONES DE AGAVE TEQUILERO

Mario Salamanca Camacho¹
Santiago Medina Ocegueda²

RESUMEN

En este capítulo se presenta información sobre las malas hierbas presentes en el cultivo de agave en Jalisco, así como diversos métodos para su control. Se proporciona información sobre inventario de especies arvenses presentes en la Ciénega de Chapala, descripción de las malas hierbas, importancia económica, método de control mecánico, biológico y químico. Se hace énfasis en este último y se clasifican herbicidas de acuerdo con diferentes características como: momento de aplicación, forma de acción, fototoxicidad en el cultivo y forma en que son aplicados. Se presentan los principales productos químicos para el control de la maleza en plantaciones de agave azul propuestos para las regiones productoras de agave tequilero.

Palabras clave: maleza, agave tequilero, descripción de arvenses, herbicidas, control químico.

WEED MANAGEMENT IN AGAVE TEQUILERO PLANTATIONS ABSTRACT

Information on weeds present in the tequila denomination of origin region and methods for controlling them is presented in this chapter, to enable the producer to take the most convenient decisions to control weeds in specific cases. Also information is provided on different aspects related to weeds such as: weed population dynamics, classification, economic importance,

1. Tequila Sauza S. A. de C.V.

Mario Salamanca Camacho <mario.salamanca@beamglobal.com>

2. INIFAP-Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. C.E. Centro-Altos de Jalisco.

Santiago Medina Ocegueda <medina.santiago@inifap.gob.mx>

mechanical, biological, and chemical control methods. Emphasis is done on chemical weed control method, and herbicides are classified according to different characteristics as: application date, way of action, effect on the crop, and application way. Main chemical products for weed control in blue agave plantations of the tequila denomination of origin region, and specific weeds they control are presented.

Keywords: weeds, plants growing in sown fields, agave tequilero, chemical weed control, herbicides.

INTRODUCCION

En la región con denominación de origen del tequila, la maleza constituye uno de los principales factores que limitan el crecimiento y desarrollo de las plantaciones de agave debido a la competencia que se genera con el cultivo por humedad, nutrientes, luz y espacio; así mismo, a que su presencia permite condiciones que favorecen la incidencia de plagas y enfermedades (Valenzuela, 1997).

La información documentada sobre el control de maleza en agave es limitada, por lo que en la mayoría de los casos el productor desconoce cuales son los herbicidas a utilizar (Alemán y Flores, 2002; Flores *et al.*, 2002), ocasionando que se apliquen dosis o productos inadecuados. El exceso o el uso de productos no propios para el cultivo incrementan su costo de producción y puede ocasionar daños a las plantas del agave, así como al entorno (Uvalle y Vélez, 2002).

Debido a la diversidad de ambientes y sistemas de producción en que se desarrolla el cultivo de agave, es necesario que el productor cuente con alternativas que le permitan hacer un manejo adecuado de la maleza y la conservación del suelo en áreas con pendiente pronunciada.

El objetivo de este capítulo es proporcionar información sobre la maleza que se presenta en plantaciones de agave y métodos para su control, a fin de orientar al productor en la toma de decisiones.

Conceptos generales

Definición de maleza: El término maleza se ha utilizado para definir aquellas plantas que crecen en lugares y momentos no deseados por el hombre en sus cultivos (Marcico, 1980).

Dinámica de las poblaciones de maleza: En espacios en los que la vegetación nativa ha sido alterada y dedicados al cultivo, la sustitución de una especie vegetal por otra o por varias es frecuente. La labranza, los deshierbes, el uso de herbicidas, la quema de residuos y la rotación de cultivos provocan desplazamientos de especies, de manera tal, que las plantas no deseadas dominantes o más problemáticas son aquellas que están mejor adaptadas a las condiciones particulares de manejo que se dan en las parcelas (Urzúa, 2000; Donahue *et al.*, 1981).

Como respuesta a los cambios que ocurren en las poblaciones de maleza, se debe buscar un manejo integrado que permita desplazar especies difíciles de controlar por otras menos problemáticas o reducir las poblaciones de plantas nocivas a niveles que no causen daño al cultivo objetivo (Urzúa, 2001).

Clasificación de maleza: La maleza, en términos prácticos, se puede clasificar en dos tipos:

a) Maleza de hoja angosta

Este grupo de malas hierbas, conocidas usualmente como zacates, pertenecen a la familia de las gramíneas en su mayoría. En el cultivo de agave, se presentan como plantas herbáceas de tallos erectos o tendidos, los cuales tienen nudos (protuberancias a lo largo del tallo). De los nudos salen las hojas, las cuales se sostienen del tallo por medio de la vaina o envoltura foliar. La parte de la hoja extendida está dividida a la mitad por su nervadura central. Sus flores son pequeñas y se encuentran agrupadas en espiguillas (Urzúa, 2000; Marcico, 1980).

b) Maleza de hoja ancha

En plantaciones de agave, la maleza de hoja ancha se presenta como plantas herbáceas o semileñosas, con hojas anchas de diferente forma y

tamaño. Los tallos se ramifican y las hojas no están unidas todas ellas al tallo principal. Las flores generalmente se distinguen a simple vista y son de colores vistosos y variados.

Manejo integrado de la maleza

El manejo integrado de la maleza es la selección, integración e implementación razonada y anticipada de todas las acciones encaminadas a manipular o incidir sobre la densidad de las poblaciones de maleza, incorporándolas al agroecosistema como un elemento más de sus componentes mediante la aplicación de una serie de principios y medidas para su manejo, favoreciendo especialmente el control natural y recurriendo al artificial solamente en caso estrictamente necesario dentro de una estrategia integral que tome en cuenta las consecuencias, ecológicas y sociales (Vega 1998).

Importancia económica de la maleza

La maleza constituye uno de los principales factores que limitan el crecimiento y desarrollo de las plantaciones de agave azul, debido a que compiten por nutrientes, agua, luz y espacio; también su presencia puede favorecer condiciones que permitan la incidencia de plagas y enfermedades. Con esto se disminuye la cantidad y calidad de las cosechas y se incrementa el costo de producción al hacerse necesario las labores de deshierbe y de control de enfermedades.

Principales malas hierbas en el cultivo del agave en la Ciénega de Chapala

Para tener un buen control de maleza, es necesario que el productor de agave conozca que es lo que va a controlar y de esa manera usar el método cultural o químico más conveniente para cada caso. Estudios de investigación han mostrado que en el cultivo de agave existen gran cantidad de malas hierbas que difieren en su hábito de crecimiento y características (Cuadro 1).

Cuadro 1. Principales plantas de maleza encontradas en áreas productoras de agave de jalisco.

HOJA ANGOSTA		
Familia	Nombre Técnico	Nombre Común
Gramineae	<i>Ixophorus unisetus</i>	Zacate pitillo
Graminea	<i>Brachiaria sp</i>	Zacate brillante
Gramineae	<i>Panicum miliaceum</i>	Zacate triguillo
Gramineae	<i>Echinochloa colonum</i>	Z. pinto o de agua
Cyperaceae	<i>Cyperus esculentus</i>	Coquillo
Gramineae	<i>Chloris chloridae</i>	Zacate burro
Gramineae	<i>Braquiaria plantaginea</i>	Zacate sabana
Gramineae	<i>Leptochla filiformis</i>	Zacate salado
Gramineae	<i>Eragrostis mexicana</i>	Zacate liendrilla
Gramineae	<i>Cenchrus equinnatus</i>	Zacate timbuque
Gramineae	<i>Sorghum halepense</i>	Zacate Johnson
Gramineae	<i>Digitaria sanguinalis</i>	Zacate cuatro dedos
Gramineae	<i>Bouteloua curtipendula</i>	Zacate navajita
Graminea	<i>Eleusine indica</i>	Zacate pata de gallo
Graminea	<i>Setaria sp,</i>	Zacate cola de zorra
Graminea	<i>Digitaria sp,</i>	Z. pata de gallina
Graminea	<i>Paspalum sp,</i>	Zacate peludo
HOJA ANCHA		
Convolvulaceae	<i>Ipomea purpura</i>	Quiebra platos
Compuesta	<i>Perymenium berlandieri</i>	Fresadilla
Compuesta	<i>Tithonia tubaeformis</i>	Lampote o chotol
Solanaceae	<i>Solanum rostratum</i>	Mala mujer
Solanaceae	<i>Physallis costomati</i>	Tomatillo
Amarantaceae	<i>Amaranthus palmeri</i>	Quelite
Cucurbitaceae	<i>Sechiopsis triquetum</i>	Chayotillo
Cucurbitaceae	<i>Echinopepon sp</i>	Chayotillo
Malvaceae	<i>Anoda cristata</i>	Quesillo
Compuesta	<i>Xanthium pensylvanicum</i>	Chayotillo de mata
Polygonaceae	<i>Rumex crispus</i>	Lengua de vaca
Compuesta	<i>Bidens pilosa</i>	Aceitilla
Compuesta	<i>Tithonia tubaeformis,</i>	Andan o tacote

En recorridos realizados en cultivos de agave de la Ciénega de Chapala, en Jalisco y Michoacán, los zacates constituyen el mayor problema en la región. Son tres los zacates más abundantes y los cuales el productor debe conocer un poco más, ellos son: Zacate pitillo *Ixophorus unisetus*, Zacate triguillo *Panicum miliaceum* y Zacate pinto o de agua *Echinochloa colonum* (Flores y Arévalo, 1985).

Zacate pitillo *Ixophorus unisetus*

El zacate pitillo se encuentra distribuido en toda el área productora de agave y en la mayoría de los casos el grado de infestación es del 90 por ciento. Esto quiere decir que el zacate pitillo es el principal problema de maleza en las plantaciones de agave.

En fase temprana, próximo a la etapa de amacollamiento, el zacate pitillo se puede distinguir del zacate triguillo y del zacate pinto en que adquiere una coloración rojiza o morada en la base de la roseta; y además, los tallos están basalmente aplanados. En su desarrollo completo, esta maleza alcanza alturas que van de 60 a 100 cm, llegando a en algunos casos hasta 150 cm.

La inflorescencia es una panícula, llevando muchas espiguillas en dos hileras a lo largo de un lado del eje. En el campo, al ver una parcela infestada con zacate pitillo se observa una coloración rosada debido a las inflorescencias que sobresalen del cultivo de agave.

Zacate triguillo *Panicum miliaceum*

El zacate triguillo como maleza también se encuentra distribuido por toda el área productora de agave, aunque su dominancia no es tan alta como la del zacate pitillo. Las infestaciones fluctúan de 20 a 60 por ciento. Sin embargo, el productor debe de tener cuidado, cuando en su parcela detecte este zacate, debido a que el control químico tradicional que se usa en la región, a base de terbutrina (Gesaprim combi®) no controla este zacate y en un futuro puede llegar a ser el problema número uno en la región.

Este zacate es una planta anual con tallos erectos de 50 a 150 cm de altura. Las hojas son generalmente anchas teniendo hasta 2 cm desde épocas

muy tempranas. La inflorescencia es una panícula más o menos contraída de 5 a 20 cm de largo y de una tercera a una cuarta parte de anchura.

Zacate pinto o zacate de agua *Echinochloa colonum*

El zacate pinto también es una mala hierba de las más predominantes en el área productora de agave. Las infestaciones a nivel parcela se presentan alrededor del 40 por ciento.

Este zacate puede confundirse con el zacate pitillo a simple vista en fases tempranas de su desarrollo, sin embargo una característica del zacate pinto o zacate de agua es que carece de lígula. La lígula es una delgada membrana que se prolonga de la envoltura foliar en el punto de encuentro con la parte libre de la hoja. Además, en las hojas se encuentran unas franjas de color morado que atraviesan la parte ancha de la hoja, razón por la cual recibe el nombre de zacate pinto.

El zacate pinto es una planta anual característica de suelos húmedos, razón por la que lleva el nombre de zacate de agua. Esta planta se ramifica bastante llegando a tener tallos de 70 a 80 cm de longitud. Su inflorescencia paniculada mide de 9 a 15 cm de largo y con espiguillas de pedicelo corto. La semilla aovada y blanquecina, mide de 1 a 2 mm de largo.

Métodos de control de la maleza

Control mecánico: Un método antiguo pero eficaz para el control de la maleza ha sido el deshierbe manual y/o el uso de cultivadoras. Sin embargo, las labores manuales se han ido dejando de ejecutar debido al alto costo de estas prácticas. Por otro lado, las cultivadoras hoy en día son un auxilio aconsejable para el control de maleza. En muchos de los terrenos de la Ciénega el uso de maquinaria para este fin no es una práctica acostumbrada, debido a que una vez que llueve es difícil que el tractor entre a la parcela. No obstante, en ocasiones que existen períodos de ausencia de lluvias el agricultor puede cultivar, aunque esto estaría condicionado por el estado del clima (Marcico, 1980; Urzúa, 2000).

Control biológico: Consiste en el uso de insectos u otros organismos enemigos naturales para el control de maleza específica. Tienen la limitante de que sólo deben actuar sobre la maleza para la cual se introdujo, ya que de lo contrario pueden convertirse en plaga de los cultivos. En la actualidad, se está haciendo énfasis en el estudio de la alelopatía, como una forma para lograr el control de ciertas poblaciones de maleza.

Control químico: Debido a que el uso de labores culturales no es una práctica común en la región para el control de malas hierbas por estar condicionado al temporal, el uso de químicos juega un papel importante en la región.

Existe en el mercado un sinnúmero de productos químicos herbicidas. En el Cuadro 2 se presentan las recomendaciones de tratamientos y dosis herbicidas. En el mercado existen productos herbicidas llamados selectivos, los cuales matan las malas hierbas sin afectar el cultivo. Sin embargo, es importante manejarlos adecuadamente y no abusar de ellos con el fin de no tener problemas más graves en años subsecuentes; ya que en el caso del agave, aunque los productos sean considerados selectivos pueden causar un nivel de fototoxicidad variable.

Al tratar de combatir malas hierbas, el agricultor debe saber antes cuáles va a controlar; para esto es importante el conocimiento que el productor tenga de su parcela o la observación de ella un año anterior le dirá qué malas hierbas existen.

Debido a que en la región, en el cultivo del agave generalmente se usan herbicidas en preemergencia, es decir, productos que se aplican antes de que la maleza emerja a la superficie, es necesario y con anterioridad a la siembra, saber cuales malas hierbas se presentan; este conocimiento permitirá la elección del herbicida más adecuado.

En la región, el agricultor planta el agave de temporal en seco y enseguida puede aplicar el Combine o el Krovar que funcionarán en cuanto lleguen las lluvias. Cualquier otro herbicida debe aplicarse en suelo húmedo. Para lograr un mejor resultado, se sugiere trasplantar en seco y aplicar el herbicida después de la primera lluvia para que su aplicación sea más eficiente.

En el caso de agave en la región mencionada, la maleza se presenta asociada, es decir, de hoja ancha y de hoja angosta.

El uso de herbicidas debe hacerse de acuerdo con recomendaciones técnicas, basadas en resultados de investigación que consideren seguridad al personal de campo y al cultivo, efectividad en el control de la maleza, bajo impacto al ambiente y a la economía del productor.

Clasificación de los herbicidas por el tipo de maleza que controlan

De acuerdo con el tipo de maleza que controlan los herbicidas se clasifican en aquellos que actúan sobre plantas de hoja ancha o angosta.

Clasificación por su momento de aplicación

Presiembra: Antes de la siembra o transplante; generalmente se trata de herbicidas que deben ser incorporados al suelo.

Preemergencia: Antes de que emerja la maleza.

Postemergencia: Después de que ya emergió la maleza.

Clasificación de los herbicidas por su forma de acción

De contacto: Son de efecto quemante o secante, tienen una nula movilidad por el sistema vascular de la planta y su efecto es casi inmediato. Se utilizan generalmente para maleza de tipo anual. Un herbicida ampliamente conocido de este tipo es el Paraquat.

Sistémicos: Tienen movilidad a través del sistema vascular de las plantas y su efecto es retardado. La aplicación de herbicidas sistémicos se realiza sobre maleza de tipo anual y perenne, sobre todo en especies que se reproducen por rizomas, esquejes o estolones. Algunas moléculas de este grupo son el Glifosato, Fluazifop, Quizalofop, etc.

Clasificación de los herbicidas por su efecto sobre el cultivo

Pueden ser selectivos y no selectivos, los primeros se aplican sin restricción ya que no dañan al cultivo, los no selectivos deben aplicarse con precaución evitando en lo posible que el producto tenga contacto con las plantas cultivadas, ya que les pueden ocasionar daños como clorosis, necrosis, malformaciones y retraso en el crecimiento.

Clasificación de los herbicidas por la forma en que se aplican

Se clasifican en aplicación total, en bandas laterales a las líneas del cultivo y en manchoneo.

Total: Consiste en aplicar el herbicida en todo el predio, evitando en lo posible que el producto entre en contacto con el cultivo.

En banda: La aplicación se realiza en forma lateral a la línea del cultivo cubriendo una franja de 60 a 120 centímetros de ancho. Esta práctica se realiza con herbicidas preemergentes o postemergentes. Con este tipo de aplicación se obtienen algunas ventajas como mayor rendimiento de aplicación, ahorro de producto, disminución de la erosión, menor incidencia de plagas, menor impacto ambiental, así como incorporación de materia orgánica.

Manchoneo: Consiste en la aplicación de herbicidas sistémicos o de contacto en aquellas áreas, sitios específicos o lunares de terreno con escapes de maleza que no fueron controladas con nuestra aplicación inicial; se hacen de manera manual.

En el Cuadro 2 se indican algunos de los herbicidas que pueden ser utilizados en el cultivo de agave.

Cuadro 2. Principales productos químicos para el control de la maleza en plantaciones de agave azul en la zona de denominación de origen.

Herbicida	Ingrediente activo	Dosis/ha	Maleza que controla	Momento de la aplicación	Observaciones
Krovar I DF	Bromacil + Diuron	2.0 a 3.0 kg	Hoja ancha y angosta	En pre-emergencia a la maleza	La dosis alta es para parcelas muy infestadas. A partir del tercer año reducir la dosis. No aplicarlo en suelos arenosos. No asperjar la parte media superior de la planta.
Combine 500 SC	Tebuthiuron	1.5 a 2.5 L	Hoja ancha y angosta	En pre-emergencia a la maleza. En banda. Puede aplicarse antes de las lluvias	La dosis alta es para parcelas muy infestadas. No asperjar el follaje del agave porque puede retrasar el crecimiento. A partir del segundo año reducir la dosis. No aplicarlo en plantaciones de más de tres años. Tiene acción limitada sobre <i>Chloris</i> sp.

Cuadro 2. Principales productos químicos para el control de la maleza en plantaciones de agave azul en la zona de denominación de origen. (Cont.)

Herbicida	Ingrediente activo	Dosis/ha	Maleza que controla	Momento de la aplicación	Observaciones
Harness + Karmex 80	Acetoclor + Diuron	1.5L+1.5kg 2.0L+1.75kg	Hoja ancha y angosta	En pre-emergencia a la maleza.	La dosis alta es para parcelas muy infestadas. No asperjar las plantas de agave para evitar daños. El periodo efectivo de protección del Harness no es mayor de 30 días.
Primagram Gold	S-metolaclor + atrazina	4.0-5.0 L	Hoja ancha y angosta	En pre-emergencia a la maleza. Aplicación total o en banda.	La dosis alta es para parcelas muy infestadas. No asperjar las plantas de agave para evitar daños. El periodo de protección del Primagram Gold no es mayor de 30 días.

Cuadro 2. Principales productos químicos para el control de la maleza en plantaciones de agave azul en la zona de denominación de origen. (cont. 2)

Herbicida	Ingrediente activo	Dosis/ha	Maleza que controla	Momento de la aplicación	Observaciones
Frontier 2 X + Gesaprim calibre 90	Dimetedamida + atrazina	1.0 L + 1.0 kg 1.5 L + 1.5 kg	Hoja ancha y angosta	En pre-emergencia a la maleza. Aplicación total o en banda.	La dosis alta es para parcelas muy infestadas. No asperjar la parte media superior de la planta, para evitar daños.
Faena, coloso extra y glifos	Glifosato	2.0 L	Hoja ancha y angosta	Postemergente	Evitar contacto directo con el agave. Aplicar cuando la maleza tenga de 15 a 20 cm de altura. En mezcla con herbicidas pre-emergentes puede reducir su efectividad. Faena tiene control deficiente sobre coquillo y enredaderas.

Cuadro 2. Principales productos químicos para el control de la maleza en plantaciones de agave azul en la zona de denominación de origen. (cont. 3)

Herbicida	Ingrediente activo	Dosis/ha	Maleza que controla	Momento de la aplicación	Observaciones
Asure II	Quizalofop-p-e	0.569 L.- 0.700 L.	Hoja ancha y angosta	Postemergente	Evitar contacto directo del producto con el agave. Aplicar cuando la maleza tenga de 15 a 20 cm de altura. Mezclar con su Aditivo Cuarte, en proporción 1: 1.
Veloz + Poast	Carfentrazone + Sethoxidium	0.5 a 2.0 L	Hoja ancha y angosta Aplicación total o en banda	Postemergente	No asperjar agaves para evitar daños. Aplicar cuando la maleza tenga de 15 a 20 cm de altura. Mezclar Poast con su aditivo en proporción 1:1. Su influencia sobre el coquillo es limitada. Si no hay maleza de hoja ancha, aplicar sólo la dosis de Poast y su aditivo.
Sempre	Halosulfuron	100 a 150 g	Coquillo	Postemergente	No asperjar agaves para evitar daños.

LITERATURA CITADA

- Alemán P. y H.E. Flores. 2002. Periodos Críticos de Competencia entre Agave Tequilero y maleza. *In*: Flores-López, H.E. (ed). 2002. Análisis Agroecológicos del *Agave tequilana* Weber var. Azul con énfasis en Problemas Fitosanitarios en Jalisco. INIFAP. CIRPAC, C. E. Altos de Jalisco. Tepatitlán, Jalisco, México. Publicación especial No. 1. 141-148 p.
- Donahue L. R., W. R. Millar, y C. J. Shickluna. 1981. Introducción a los Suelos y al Crecimiento de las Plantas. Editorial Prentice Hall Internacional. New York.
- Flores L., H. E., K. F. Byerly, R. J. Aceves, C. J. A. de J. Ruiz. 2002. Diagnóstico del sistema de producción de agave con énfasis en problemas fitosanitarios. *In*: Flores-López, H.E. (ed). 2002., Análisis Agroecológicos del *Agave tequilana* Weber var. Azul con énfasis en Problemas Fitosanitarios en Jalisco.. INIFAP. CIRPAC, C. E. Altos de Jalisco. Tepatitlán, Jalisco, México. Publicación especial No. 1. 63-96 p.
- Flores L., M. y A. Arévalo, V. 1985. Guía para controlar malas hierbas en sorgo en la Ciénega de Chapala. Folleto para productores No. 12 . Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. Campo Experimental Altos de Jalisco. Tepatitlán, Jal. 18 p.
- Marcico, J. B. O. 1980. Herbicidas y fundamentos del control de malezas. Editorial, Hemisferio Sur. México, D.F.
- Urzúa, S. F. 1996. Predicción de infestaciones y estrategias de control de malezas. XVII Congreso nacional de la ciencia de la maleza. Ixtapa Zihuatanejo.
- Urzúa, S. F. 2000. Manejo de maleza en cultivos bajo labranza de conservación. Revista mexicana de la ciencia de la maleza. Vol. 1. No. 1. Dirección general de difusión cultural. Universidad Autónoma Chapingo.
- Urzúa, S. F. 2001. Manejo sustentable de la maleza en los cultivos agrícolas. Revista Mexicana de la ciencia de la maleza. Vol. I Número 2. Universidad Autónoma Chapingo.

Valenzuela, A. G. 1997. El agave tequilero, su cultivo e industria. Segunda edición Editorial LITTERIS. Jalisco, México.

Uvalle-Bueno, J. X., C. Vélez-Gutiérrez, (2003), Selectividad fisiológica de herbicidas en *Agave tequilana* Weber, Memoria del XVI Congreso Latinoamericano de Malezas y XXIV Congreso Nacional de la Asociación Mexicana de la Ciencia de la Maleza. Manzanillo, Colima, México.

Vega, G. K. (1998). Caracterización molecular de *Agave Tequilana* W. var. Azul. *In: Memorias del XXV Congreso Nacional de Fitopatología*. Guanajuato, Gto. p. 2.

**Conocimiento y prácticas
agronómicas para la producción
de *Agave tequilana* Weber
en la zona de denominación
de origen del tequila**

**TECNOLOGIA DE MANEJO Y
CONTROL DE
PLAGAS DEL AGAVE**

Páginas 135-168

Juan Francisco Pérez Domínguez
Ramón Rubio Cortés

CAPÍTULO VII

Cita correcta:

Pérez D., J. F. y R. Rubio C. 2007. Tecnología de manejo y control de plagas del agave. p. 135-168 *In* Rulfo V., F. O. *et al.* (ed.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro.

TECNOLOGIA DE MANEJO Y CONTROL DE PLAGAS DEL AGAVE

Juan Francisco Pérez Domínguez¹
Ramón Rubio Cortés²

RESUMEN

Se presenta información sobre insectos plaga que causan daño económico en el cultivo del agave de la región con denominación de origen del tequila. Los insectos plaga mencionados son: gallina ciega *Phyllophaga* spp, *Cyclocephala* spp.; escarabajo rinoceronte *Strategus aloeus*; picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus*; cerambícido *Acanthoderes funerarius*; piojo harinoso *Pseudococcus* spp.; escama armada *Acutaspis agavis*; chinche del agave *Caulatops agavis*; chapulines *Sphenarium* spp., *Melanoplus* spp., *Schistocerca* spp. Para cada uno de ellos se describe sus diferentes estados de desarrollo, importancia, biología, localización de daños, ya sea en la raíz, la piña, o el follaje. Algunos aspectos del manejo integrado de estos insectos plaga, que comprende el control natural, cultural, físico, biológico y químico. Se presenta un cuadro con insecticidas de síntesis química recomendados, dosis y especificaciones de manejo para ser aplicados en la forma específica para el control de cada especie plaga, en caso de ataque.

Palabras clave: agave azul, insectos plaga, daños, importancia, control integrado.

-
1. INIFAP-Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro.
C. E. Centro-Altos de Jalisco.
 2. Tequila Sauza S. A. de C. V.
Juan Francisco Pérez Domínguez <perez.juanfrancisco@inifap.gob.mx>
Ramón Rubio Cortés <ramon.rubio@beamglobal.com>

TECHNOLOGY FOR INSECT PESTS MANAGEMENT AND CONTROL IN BLUE AGAVE

ABSTRACT

Information on insect pests that occur and cause economic damages to agave plantations in the tequila denomination of origin region is presented. The insect pests are: white grub (*Phyllophaga* spp, and *Cyclocephala* spp); rhinoceros scarab (*Strategus aloeus*); agave weevil (*Scyphophorus acupunctatus*); *Acanthoderes funerarius*; *Pseudococcus* spp.; *Acutaspis agavis*; *Caulatops agavis*; *Sphenarium* spp.; *Melanoplus* spp.; and *Schistocerca* spp. For each species are described: development stages, importance, biology, place of damage either root, bulb, or leaves. Also some aspects of those insect pests integrated control: natural, cultural, biologic, and chemical. A table with doses, and management specifications of chemical synthesis recommended insecticides to be applied to control each insect pest is presented.

Keywords: blue agave, insect pests, damages, importance, integrated control.

INTRODUCCION

En la región de denominación de origen del tequila, algunas plagas de insectos atacan a las plantas de agave azul y causan diversos daños a esta planta, tanto directos como indirectos al permitir que se presenten enfermedades. En muchos casos, el ataque de plagas puede causar pérdidas económicas muy elevadas (CRT, 1997; Hernández *et al.* 2005).

Existe alguna información en la literatura técnica y científica sobre un número de insectos que pueden constituirse en plaga, pero en la mayor parte de los casos los productores no cuentan con la información adecuada para seleccionar los métodos de control más adecuados para el caso de la presencia de alguna plaga (Hernández *et al.* 2003).

El objetivo de este capítulo es proporcionar información sobre los insectos plaga que se presentan en el agave, así como una descripción de los métodos para controlarlos.

PLAGAS DE LA RAÍZ

Gallina ciega (*Phyllophaga* spp.; *Cyclocephala* spp.)

Importancia

Se le llama gallina ciega a las larvas de diversas especies de coleópteros de los géneros *Phyllophaga*, *Cyclocephala*, *Anomala*, *Macroductylus*, *Euethola* y otras (Morón, *et al.* 1998; Morón y Morón, 2001) que causan serios daños a la raíz del agave. En la zona de denominación de origen, se han calculado pérdidas fuertes durante el primero y segundo año de la plantación, ocasionadas por el complejo de gallinas ciegas. La distribución de estos insectos plaga abarca prácticamente todas las zonas productoras de agave de la llamada zona de denominación de origen: Nayarit, Jalisco, Michoacán, Guanajuato y Tamaulipas. En muchas de estas entidades la gallina ciega es una plaga de importancia económica. Algunas de las especies de gallina ciega que afectan al agave, atacan también al maíz, sorgo, caña de azúcar, papa, espárrago, tomate, pastos y otros cultivos hortícolas y ornamentales (Morón, M. A. 2001).

Descripción y biología

Por considerar que el género *Phyllophaga* tiene una mayor distribución que el resto de los mencionados, la descripción que aquí se menciona corresponde a éste.

Huevecillo.- Los huevecillos son puestos en suelos húmedos, distribuidos indistintamente en el suelo, durante mayo y hasta la primera mitad de julio. A nivel poblacional, la incubación dura aproximadamente de 15 a 20 días (Morón, 1986).

Larva.- Las larvas son de tipo escarabiforme con tendencia a enrollarse, de coloración blanca o cremosa, con la cabeza en colores que van desde café oscuro y café rojizo hasta amarillo, con mandíbulas fuertes y patas torácicas bien desarrolladas (Morón, 1986) y miden de 0.4 hasta 4 cm de longitud. (Figura 1) Pasan por tres instares, la duración aproximada de los dos primeros es de aproximadamente 40 a 45 días (durante la segunda mitad de junio o julio están en primer instar, el segundo instar lo pasan desde mediados de julio

hasta los primeros días de agosto) (Pérez-Domínguez y Alvarez, 2002). El tercer instar dura de 45 a 90 días, alimentándose activamente y es durante este período cuando causan mayores daños a la planta al alimentarse de raíces. Esto ocurre desde primeros de agosto hasta mediados de octubre (Pérez-Domínguez y Alvarez, 2002). Algunas especies plaga de gallina ciega, por ser de hábitos rizófagos facultativos se pueden alimentar de materia orgánica además de las raíces. Cuando el cultivo está en madurez fisiológica, ha dejado de llover, el suelo esta seco y las temperaturas descienden, las larvas se internan más profundamente en el suelo donde forman una celda y se preparan para pupar.

Pupa.- La pupa tiene una duración de 15 hasta 28 días aproximadamente. En algunas localidades, comienza desde abril hasta mayo y en otras localidades durante todo el mes de mayo (Morón, 1986).

Adulto.- Los adultos son conocidos como mayates de junio y son escarabajos de color café que varía de amarillento a café-rojizo y café-oscuro; miden de 9 a 29 mm, según la especie. Los adultos pueden permanecer en las celdas hasta que existan las condiciones adecuadas de humedad del suelo para que emerjan los mayates, lo cual ocurre durante mayo y junio. Los adultos son activos durante las mañanas al salir el sol y en los atardeceres, siendo en este tiempo cuando realizan la cópula y la ovipostura. Los datos de biología



Figura 1. Larva de gallina ciega (*Phyllophaga* spp).

presentados en este reporte corresponden a las gallinas ciegas de ciclo de un año, como es el caso de *Phyllophaga ravida*, *Phyllophaga misteca*, *Cyclocephala lunulata* (Figura 2), que están en la Ciénega de Chapala o de *Phyllophaga crinita* especie que ocurre en el Estado de Tamaulipas. En el caso de especies de gallinas ciegas de ciclo de vida de dos años, su biología es similar pero al terminar su segundo instar, la larva entra en fase de dormancia en una celda en el suelo y hasta que inician las lluvias de nuevo, muda y en el tercer instar se alimenta de las raíces, lo que ocurre durante todo el ciclo de lluvias y al terminar éste, se inicia el período pupal y los adultos emergen a la superficie hasta mayo o junio.

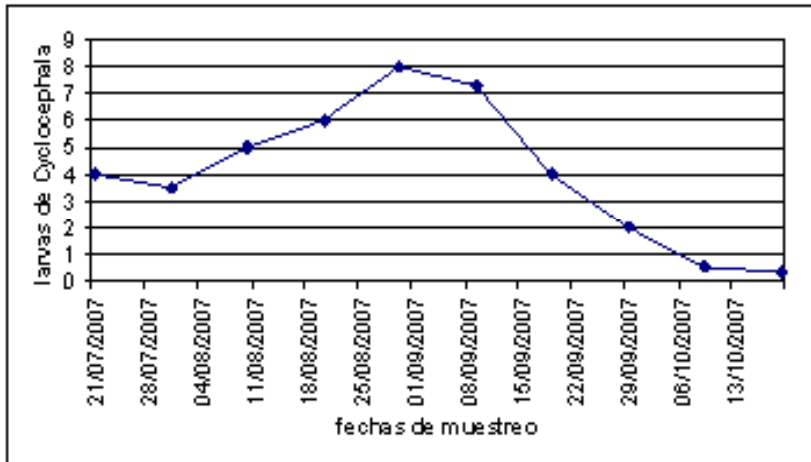


Figura 2. Fluctuación poblacional de gallina ciega *Cyclocephala* sp. en Milpillas, Atotonilco, Jalisco, 2002.

Daños

Los principales daños que ocasionan las larvas son: destrucción de raíces, lo que trae como consecuencia que se detenga el desarrollo de la planta recién establecida o incluso muerte de plantas pequeñas cuando el ataque de gallina ciega es temprano, se presenta marchitamiento y en casos extremos y/o muerte de las plantas.

Muestreo

Para detectar la presencia de larvas de gallina ciega, se deben tomar al menos 11 puntos distribuidos uniformemente en lotes de una a 10 hectáreas de superficie. En cada punto se tomarán una, dos o más muestras, a medida que se incremente el número de muestras se incrementa la certeza en el resultado del muestreo. Cada muestra consistirá en escarbar alrededor de la planta hasta una profundidad aproximada de 15-20 cm y de ancho 15-20 cm (Figura 3). El suelo obtenido de cada muestra se vacía sobre un trozo de plástico o tela negra y se cuenta el número de larvas por muestra.

Si se realiza un muestreo antes de hacer la fertilización y se cuentan más de dos larvas por planta de primero o segundo año, o cuando haya este mismo número de larvas pero el cultivo esta recién establecido, será necesario llevar a cabo una medida de combate químico al momento de hacer la fertilización, para evitar el incremento de poblaciones de los insectos plaga.



Figura 3. Muestreo para detección de larvas de gallina ciega.

Medidas de control

Control natural.- Las larvas pueden ser atacadas por Hymenopteros ectoparásitos de las familias *Tiphidae* y *Scoliidae*, (Clausen, 1972); así como por diversos mamíferos y aves depredadoras. Larvas de gallina ciega de primer ínstar son atacadas por larvas del cantarido llamado “arlogo” *Chauliognathus limbicollis*.

Control cultural.- Este tipo de control se limita a la preparación del suelo con un barbecho profundo al finalizar la cosecha. Este tipo de control es

más efectivo cuando las larvas están más cerca de la superficie del suelo, las cuales quedarán expuestas tanto a ser devoradas por pájaros como a las condiciones desfavorables del medio ambiente. Una buena fertilización estimulará el desarrollo vigoroso de las raíces, lo que puede compensar en parte el daño de estos insectos.

Control físico.- Las trampas de luz negra y/o amarilla son excelentes para capturar adultos de gallina ciega, aprovechando el fototropismo que presentan éstos; este trapeo puede servir para el control de adultos y para monitoreo del inicio de las poblaciones de estados inmaduros (Marín-Jarillo y Bujanos, 2003).

Control biológico.- Un método efectivo aunque lento es la utilización de entomopatógenos para el control de plagas, el uso de este método de control no está generalizado. Lo más común es la aplicación de *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* contra gallina ciega. Sin embargo, aún falta mucha investigación para conocer las causas de la baja efectividad de estos hongos en algunos suelos de la zona de denominación de origen, falta diseñar un paquete tecnológico para incorporar los insecticidas microbianos al manejo cotidiano de un agricultor común. La dosis que se ha probado actualmente es 1×10^{12} esporas viables por hectárea.

En cuanto a nematodos, se puede usar *Steinernema sp*, *Heterorhabditis sp* y *H. bacteriophora* contra gallina ciega. El uso de nematodos contra gallina ciega no está generalizado, pero es una opción muy efectiva que deberá ser considerada en el futuro.

Control químico.- El control químico de la gallina ciega es el más comúnmente usado y consiste en la aplicación de insecticidas al suelo durante la plantación. Para el caso en que sean detectadas infestaciones tardías de gallina ciega, y que éstas causen daño al cultivo, se sugiere efectuar un segundo tratamiento de insecticidas al momento de la fertilización. Es conveniente también la aplicación de insecticidas al inicio del temporal de lluvias durante el segundo año del cultivo, cuando hay poblaciones de gallina ciega (Pérez-Domínguez 2003; Aguilar y Pérez, 2004). Cuando las poblaciones de gallina ciega están ocasionando daño de importancia económica al cultivo y éste muestra los efectos de ese daño, es común que los agricultores realicen aplicaciones de insecticidas líquidos a la base de cada planta. Algunos de esos resultados generados fueron recopilados de Pérez-Domínguez (2003) y de Aguilar y Pérez (2004).

Criterios para la toma de decisiones. - Antes de decidir si se llevan a cabo o no aplicaciones de insecticidas contra gallina ciega u otros insectos rizófagos, es necesario hacer muestreo después de considerar los antecedentes de la parcela; cuando el terreno ha presentado infestaciones severas en años anteriores y en terrenos nuevos, recién desmontados que hayan sido pastizales, es obligado el muestreo.

PLAGAS DE LA PIÑA

Escarabajo rinoceronte ***Strategus aloeus* (L.)**

Importancia

Este insecto es una de las principales plagas del agave. Sólo los adultos son considerados plaga, ya que las larvas generalmente no se alimentan del cultivo ni viven en él. Un solo individuo puede dañar severamente, interrumpiendo su desarrollo o causándole muerte, a varias plantas de agave. En una sola noche un adulto puede afectar dos o más plantas (Pérez-Domínguez, 2006).

Descripción

Los escarabajos rinoceronte o rondones pertenecen a la familia Scarabeidae Subfamilia dynastinae tribu Oryctini. Longitud del adulto, 31.5 a 40.9 mm, color café oscuro a negro. Antena de 10 segmentos con mazo antenal de 3 segmentos, clipeo trapezoidal a triangular (Figura 4). El escarabajo rinoceronte puede ser diferenciado de otros escarabajos por la siguiente combinación de características: tiene el ápice de las tibias anteriores con dientes o protuberancias anguladas, mandíbulas expuestas y tridentadas, pronotum usualmente angulado del borde anterior (Morón, 1998; Ratcliffe, 1976).

Distribución

Se encuentra distribuido en toda la zona de denominación de origen en los municipios de Jalisco, Michoacán, Guanajuato, Nayarit y Tamaulipas. Es capaz de ocasionar daño en cualquier parcela de agave, independientemente de la

edad del cultivo, aunque causa alta mortalidad de plantas durante los primeros años de establecida la parcela. Su daño es de mayor importancia económica en parcelas aledañas a áreas de monte o con vegetación de encino.



Figura 4. Escarabajo Rinoceronte, *Strategus aloeus* (L.)

Biología

Los huevecillos son comúnmente depositados en madera muerta o descompuesta (Morón 1998; Morón y Morón, 2001). En los primeros días de emergidas las larvas se ven fuertemente agregadas, formando grupos de decenas de individuos. Las larvas se alimentan de materia orgánica en putrefacción y estiércol, especialmente el vacuno; también se les encuentra en abundancia en medios donde abunda la materia orgánica en proceso de fermentación, como son los silos (Pérez-Domínguez, 2006).

Los adultos machos viven un poco más de seis meses. Las hembras llegan a ovipositar hasta 42 huevecillos, los cuales son depositados en un período de uno a tres meses. La duración máxima de cada estado de desarrollo es: huevecillo, hasta tres semanas; larvas de primer instar dos semanas, larvas segundo instar tres semanas; tercer instar siete meses. Prepupa, dos semanas; pupa, seis semanas; adulto seis meses. Esto da una duración del ciclo de 17 meses aproximadamente. En algunos ambientes el tiempo de pupación puede variar, siendo hasta de 31 a 43 días (Figura 5) (Ratcliffe, 1976).



Figura 5. Larva, pupa y adulto del escarabajo rinoceronte *Strategus aloeus* (L)

Los adultos se alimentan de la parte inferior de la piña y de la raíz de los agaves, las larvas no se alimentan del cultivo ya que no se encuentran ahí, solamente los adultos llegan al cultivo. Debido a lo anterior, los métodos de combate de escarabajo rinoceronte dentro de las parcelas de agave deben ser enfocadas hacia control de adultos.

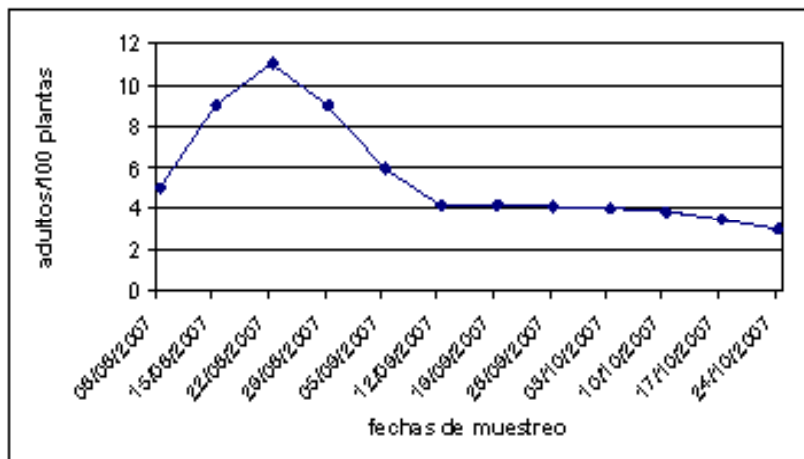


Figura 6. Fluctuación poblacional de adultos de escarabajo rinoceronte en con cultivo de agave. San Fernando, Municipio de Tepic, Nayarit.

En Nayarit empiezan a aparecer los primeros adultos desde la última semana de julio o los primeros días de agosto y en la mayoría de los años, desaparecen las poblaciones en el cultivo desde finales de octubre o principios de noviembre (Figura 6). En Guanajuato, Jalisco y Michoacán las poblaciones de adultos de escarabajo rinoceronte inician en el cultivo desde junio y desaparecen a inicio o mediados de octubre.

En Jalisco y Michoacán, las poblaciones de adultos están en las parcelas desde junio, aunque es común que en los predios, este insecto plaga pueda ser detectado hasta julio. En este período son realizadas las oviposturas, aunque no estén en el cultivo sino en las áreas de vegetación nativa. Esta búsqueda de huevecillos se realizó tanto en el suelo aledaño a la planta, como en los tejidos de la raíz de algunas plantas con daño por escarabajo.

Sobre las aplicaciones de composta con *Metarhizium*, se recomienda que se sigan realizando estas labores, ya que sus efectos sobre el control de plagas se verán en un plazo un poco más largo que que aquél en que los insecticidas muestran su efectividad.

Daños

Se han encontrado parcelas con poblaciones de seis individuos por hectárea por noche y daños en 12 por ciento de la población de agaves (420 plantas de una población de 3 500) al final del ciclo (Pérez-Domínguez, 2003). Esto significa pérdidas del 12 por ciento de la población de agaves por unidad de superficie. Las pérdidas pueden significar desde el daño a la planta, el cual ocasiona detención en el desarrollo, o permite la entrada de enfermedades de la raíz como *Fusarium oxysporum*, hasta la muerte total de la planta. Las plantas afectadas por esta plaga lucen marchitas. En cualquiera de los casos, en plantas de tercer o cuarto año, esto representa una pérdida por el gasto de insumos y tiempo que esas plantas tuvieron durante varios años, independientemente del valor económico de cada planta.

El período crítico durante el cual es necesaria la protección contra esta plaga es de principios de julio a principios de septiembre.

Muestreo

Se recomienda recorrer la totalidad de la parcela, en uno de cada cinco surcos al menos, para ubicar las zonas donde existen infestaciones de escarabajo rinoceronte. Una forma de muestreo consiste en cuantificar la cantidad de plantas que están siendo revisadas. Cuando se aprecie agujeros o plantas dañadas en al menos el cinco por ciento de la población total de plantas, será necesario aplicar medidas de combate en forma inmediata.

Manejo Integrado

Control físico.- Una medida muy importante para el control de estos insectos es la utilización de trampas de luz negra, blanca o amarilla, ya que estos insectos son de hábitos fototrópicos. En los casos en que sea posible, mantener encendida una trampa de este tipo permitirá capturar los adultos que estén arribando al cultivo, o los que ya están ahí al estar cambiando de planta.

Control biológico.- Las aplicaciones de *Metarhizium anisopliae* a una concentración de 1×10^7 esporas por kilogramo de material comercial, aplicándolos en aspersión en cada agujero encontrado o al pie de las plantas, a una dosis de 500 g por hectárea, aplicados en 400 litros de agua.

Otra variante es la utilización de *M. anisopliae* aplicando cuatro dosis (dos kilogramos aproximadamente) a la misma concentración mencionada en cada tonelada de estiércol de cualquier tipo; revolviendo perfectamente los componentes y dejando por un período variable de 12 a 20 días antes de utilizarlo.

Control químico.- En el Cuadro 1 se presenta la relación de insecticidas químicos con mayor efectividad contra este insecto plaga. Algunos de esos resultados generados fueron recopilados de: Pérez-Domínguez (2003) y de Aguilar y Pérez (2004). Se recomienda calcular cuidadosamente y aplicar la dosis adecuada, ya que los errores en la aplicación de la dosis en campo es el principal factor por el cual un insecticida no logra la efectividad deseada.

Picudo del agave
Scyphophorus acupunctatus

Importancia

El Picudo del Agave (Figura 7) es considerado una de las principales plagas de este cultivo. Ataca la piña y el cogollo de la planta; es común encontrar hojas afectadas por esta plaga aunque en baja incidencia (Solís *et al.*, 2001).

Descripción

El adulto oviposita en la parte cercana al ápice del cogollo, emerge la larva y hace una galería perforando las hojas que aún no han abierto. Cuando las pencas van abriendo, se nota un orificio en cada una de ellas. Es posible encontrar los cocones formados por fibra del agave en el cogollo atacado y en ocasiones puede encontrarse al adulto, larva o pupa en el área dañada. También oviposita en la base de las hojas y al emerger las larvas, éstas barrenan hacia el interior de la piña (Solís *et al.*, 2001).



Figura 7. Adulto del Picudo del Agave *Scyphophorus acupunctatus*.

Distribución

Se encuentra distribuido en todas las áreas productoras de agave que componen la zona de denominación de origen, pero ha afectado con mayor intensidad en la región denominada “Altos de Jalisco”(Tepatitlán, Zapotlanejo, Capilla de Guadalupe, Arandas, etc.), aunque también esta en Tequila, Magdalena, Amatitán, Arenal y otros municipios.

Biología

S. acupunctatus se encuentra activo durante todo el año. Los mayores promedios poblacionales registrados han sido de hasta 9.25 larvas por planta en muestras de 25 plantas por hectárea. Los huevecillos miden de 1.3 a 1.7 mm con diámetro de 0.5 a 0.6 mm. El período de incubación es de 3 a 7 días. A medida que van madurando, van tomando un tono amarillento. La larva es de color blanquecino, robusta, ápada, con la cabeza color café oscuro fuertemente esclerosada. En el último segmento abdominal presenta dos prolongaciones ligeramente esclerosadas con tres setas largas cada una; miden 15 mm en su última etapa de desarrollo. La larva se alimenta barrenando la piña y dejando los excrementos en los túneles. La etapa larvaria tiene una duración promedio de 108 días. Pupan en la base de la hoja haciendo un pupario que mide 26 mm aproximadamente y es de fibras de la misma hoja. Esta etapa se extiende de 12 a 14 para hacer un orificio en la base de las hojas jóvenes cercanas a la piña, donde insertan los huevecillos. Los adultos tienen una longitud aproximada de 17 mm. La hembra pone de 25 a 50 huevecillos. El ciclo de vida de huevo a adulto puede durar hasta 125 días dependiendo de las condiciones ambientales (Solís *et al.*, 2001).

Daños

En las piñas, las galerías causadas por el picudo están rodeadas de una pudrición o necrosamiento endurecido de color rojo intenso donde se detectan bacteria y hongos. El daño en las piñas fluctúa de 21 a 30 por ciento. En una muestra de 510 mitades de piñas se encontró que el daño causado por el picudo fue de 24.5 por ciento (Solís *et al.*, 2001).

Es fácil detectar las plantas atacadas en el campo pues se ven plantas con cogollo que presenta zonas de color café oscuro, además se ven los orificios que la larva ha formado al atravesar las hojas. También, es posible ver las fibras de las hojas dentro de los orificios.

Medidas de control

Muestreo.- Cuando se detecten plantas con este daño, es útil colocar trampas atrayentes para este insecto. Las trampas consisten en colocar material en

fermentación (trozos de piña de agave) tratado con algún insecticida de contacto, en un recipiente abierto, y cambiarlas cada ocho o quince días (Solís *et al.* 1999a).

Control químico.- Cuando se detectan picudos alimentándose sobre una o varias plantas dañadas en el cogollo, pueden hacerse aplicaciones de insecticidas de contacto ligeramente tóxicos, para reducir las poblaciones del insecto. En caso de que se sospeche que el insecto ya está barrenando piñas, es recomendable aplicar insecticidas de contacto, los cuales tienen efecto contra larvas y adultos, ya que invaden las entradas de las galerías (Solís *et al.* 1999b).

Cerambicido del agave
Acanthoderes funerarius

Importancia

No existe información sobre la cuantificación de los daños ocasionados por el Cerambicido del Agave; sin embargo se han encontrado algunas parcelas y localidades donde los daños causados por este insecto afectan al cultivo. Una de las razones de su importancia es que al causar heridas en la planta, permite la entrada de fitopatógenos que ocasionan enfermedades y debilitan a las plantas.

Descripción

Tienen el cuerpo alargado y cilíndrico con antenas de longitud mayor a la mitad de su cuerpo. Los ojos generalmente tienen forma arriñonada, parcial o totalmente divididos, estos escarabajos tienen color negro brillante con manchas blancas en la parte anterior y en el tercio posterior de los élitros (Figura 8) (Hernández-García *et al.* 2005).

El insecto mide cerca de 2 cm de longitud y sus antenas miden alrededor de 1.5 cm, tienen 11 segmentos de los cuales el primero y el tercero son los más largos.



Figura 8. Adulto del Cerambicido del Agave *Acanthoderes funerarius*.

Distribución

Esta especie está diseminada en el oeste del Estado de Michoacán, Querétaro y Guanajuato, así como en las áreas productoras de agave de las regiones Centro (Arenal, Zapopan, Ameca, Tequila) y Altos de Jalisco (Atotonilco, Tototlán, Tepatitlán) (González y Rubio 2005. comunicación personal) y en Arandas. También ha sido encontrado en parcelas de Ocotlán, Jamay, La Barca y Tototlán.

Biología

Las poblaciones altas de adultos aparecen al inicio de la época de lluvias, aunque se han encontrado algunos insectos en otras épocas. Estos raspan la base de las hojas para alimentarse y ovipositan en el envés de las mismas (Arnett, 1980; Borrór y White, 1970).

Los huevecillos tienen color blanco cremoso y miden de 2 a 2.5 mm de longitud. Eclosionan hasta que el área donde fueron depositados se necrosa. La eclosión puede darse desde los 15 días posteriores a la oviposición, pero se han encontrado huevecillos viables después de seis meses de haber sido ovipositados.

La larva es alargada, cilíndrica, de color blanco cremoso, con el segmento pronotal significativamente más amplio que el resto de segmentos. (Borrór *et al.*, 1989).

El adulto mide en promedio 2.0 cm de longitud y las antenas alrededor de 1.5 cm. Antena con 11 segmentos, el primero y el tercero son más largos. Cuerpo de color negro, con patrones de manchas blancas en toda el área dorsal.

En condiciones de laboratorio, la hembra puede ovipositar desde tres hasta 45 huevecillos, y en raras ocasiones puede depositar más de un huevecillo por cada lugar de oviposición.

Daños

Al alimentarse, el adulto causa una raspadura próxima a la base de las hojas interiores. Estas heridas pueden permitir la introducción de patógenos al interior de las plantas (Arnett *et al.*, 1980). En plantas que tienen las raspaduras ocasionadas por el insecto, se observan manchas hundidas color café rojizo en la base de las pencas, cerca de la piña.

Las larvas se alimentan haciendo galerías al interior de las hojas; también se alimentan en la zona de la corona, con lo cual destruye el área radical y causa en la planta síntomas de marchitez. Éstas barrenan en la base de las hojas, pero es raro que lleguen al cogollo. Aunque cuando la planta es pequeña, la piña puede ser completamente consumida por las larvas, pero si es grande éstas pueden afectar el desarrollo de las plantas y detener el crecimiento de las mismas. Si la larva se alimenta de la corona, se observa un síntoma de marchitez en las plantas afectadas. Al interior del tejido, en la zona de las manchas, generalmente se encuentra una pequeña larva o un huevecillo del insecto.

Muestreo

El muestreo se debe realizar al inicio de la época de lluvias, pues se ha visto que ocho días después de la primera lluvia comienzan a emerger los adultos. Se recomienda recorrer la totalidad de la parcela, cada cinco surcos, para ubicar las zonas donde existen infestaciones de cerambicidos. Cuando se aprecie plantas dañadas en al menos el cinco por ciento de la población total de plantas, será necesario aplicar medidas de combate en forma inmediata.

Medidas de control

Control biológico.- Se ha observado efectividad del hongo *Beauveria* sp contra larvas del cerambicido que han afectando plantas micropropagadas en vivero, pero aún no se ha determinado si en campo también puede tener cierta efectividad este hongo contra el insecto.

Control químico.- Debido a que la larva se alimenta de tejido muerto y no de tejido vivo, además de que los huevecillos eclosionan en diferentes tiempos, es casi imposible lograr un control efectivo del insecto cuando se encuentra en este estado, así que el control debe ir dirigido al adulto. Este es sumamente susceptible a cualquier insecticida de contacto, por lo que se sugiere iniciar su control con aquellos ubicados en la categoría ligeramente tóxicos.

PLAGAS DEL FOLLAJE

Piojo harinoso.

Pseudococcus sp.

Importancia

El piojo harinoso es conocido también como “algodoncillo”. Generalmente no tiene importancia económica en el cultivo de agave, aunque afecta la capacidad fotosintética de las hojas.

Descripción

El nombre común de estos insectos deriva de la secreción cerosa que cubre su cuerpo. La familia de éstos tiene aproximadamente 300 especies, mismas que atacan una gran cantidad de plantas y pueden localizarse prácticamente en cualquier parte de la planta hospedera. Las hembras adultas son usualmente de forma oval alargada, con patas y antenas bien desarrolladas (Daly *et al.*, 1978) y poseen ostiolos dorsales, círculos ventrales y cerarios marginales (Figura 9).



Figura 9. Adulto del piojo harinoso *Pseudococcus* sp.

Distribución

Este insecto ha sido encontrado en parcelas de todas las regiones productoras de agave en Jalisco, Michoacán y Guanajuato, así como en las de Tamaulipas y sur de Nayarit.

Biología

Son insectos chupadores, sus individuos forman colonias numerosas, cubiertas por un “algodoncillo” se alimentan de la savia de las plantas y las debilitan (Gutiérrez y Salas-Araiza, 2001). Se distribuyen en el campo de manera uniforme. El cuerpo de las hembras es alargado, ovalado y segmentado, con patas bien desarrolladas. Su ciclo biológico es huevo, ninfa y adulto. Cuando son puestos los huevecillos, son colocados en las hojas, sobre una sustancia cerosa y algodonosa que es secretada por la hembra (Daly *et al.* 1978; Borror *et al.*,1989).

Daños

En plantas afectadas, las estructuras algodonosas se aprecian en el cogollo, o en la parte interna de las hojas (axila de la hoja).

El daño directo causado por esta plaga, ocurre principalmente en plantas de vivero o de reciente plantación hasta el tercer año y se debe a la succión de savia. Cuando la infestación es severa debilita al agave y podría retrasar su crecimiento. Los daños indirectos son provocados por la mielecilla de estos insectos sobre la cual crecen abundantemente los hongos que provocan la fumagina, la cual interfiere con la actividad fotosintética de la planta (Solís, *et al.* 1998).

Muestreo

Se realizan recorridos por el predio examinando surcos completos elegidos al azar y revisando 200 o mas plantas, para determinar el porcentaje de plantas atacadas. En caso de que la infestación sea igual o mayor a 20 por ciento, se recomienda realizar la aplicación de insecticida.

Medidas de control

Control cultural.- Se debe tener un equilibrio en las dosis de fertilización aplicadas. En exceso de fertilización nitrogenada favorece la acumulación de algodoncillo.

La aplicación de cal agrícola permite tener en el suelo calcio disponible, además de que regula el pH en suelos ácidos.

Control químico.- Tratar con insecticidas las plantas o hijuelos que vayan a ser plantados o transportados a otras zonas para su plantación. Los insecticidas recomendados aparecen en el Cuadro 1.

Escama armada.
Acutaspis agavis

Importancia

Este insecto cubre parcial o totalmente las hojas y cogollo. En general, provoca un debilitamiento de las plantas causando marchitez y secamiento prematuro de las plantas de las hojas afectadas, llegando a ocasionar la muerte de la planta en casos extremos (Salas-Araiza *et al.*, 2004 b).

Descripción

Las hembras son pequeñas, de cuerpo blando y se ocultan bajo escamas que usualmente están separadas del cuerpo de las hembras debajo de la cubierta. La escama protectora es formada por ceras secretadas por el insecto, junto con las mudas de los primeros instares (Figura 10) (Salas-Araiza, *et al.* 2004 a).

Distribución

Este insecto plaga se encuentra reportado en Tepatitlán, Capilla de Guadalupe, Zapotlanejo, Zapotlan del Rey, Mascota, Mixtlán, Ameca, San Martín de Hidalgo, Tecalitlan, Zapotiltic, Autlán, El Grullo, Tonaya, Tecolotlán y en otras áreas productoras de agave de la zona de denominación de origen.



Figura 10. Planta atacada por escama armada. *Acutaspis agavis*.

Biología

La reproducción del insecto es generalmente ovípara, es decir, los adultos ponen huevecillos en la mayoría de los casos, aún cuando en algunas especies los individuos nacen como ninfas (partenogénesis). Los huevecillos están protegidos por la escama del adulto madre hasta que eclosionan (Borror, *et al.* 1989). En cuanto emergen las ninfas, se movilizan activamente por un tiempo corto hasta que encuentran en la planta un sitio favorable, donde introducen sus partes bucales en forma de hilo a través de la epidermis de la hoja y empiezan a alimentarse succionando la savia. Después de un tiempo corto mudan y pierden sus patas y antenas. El material desechado es incorporado dentro de la escama, la cual ahora se forma sobre el cuerpo del insecto. La hembra muda dos veces durante su vida, pero siempre permanece bajo la escama. Los machos después de la segunda muda presentan un cuerpo alargado y después de pasar por los estados prepupal y pupal adquieren la forma típica de un insecto.

En este estado, los machos son insectos muy pequeños de color amarillento y con dos alas, (Borror y White, 1970), antenas, ojos, tres pares de patas y un apéndice que se proyecta desde la punta del abdomen. Se movilizan activamente buscando a las escamas hembras y se aparean con ellas, pero los machos no se alimentan. Después de que las hembras se han apareado continúan alimentándose por un tiempo y producen huevecillos o ninfas vivas (Solís, *et al.* 1998).

Daños

Las hojas de la parte media de la planta son las más afectadas, en ellas se observa una coloración café debido a las estructuras que cubren el cuerpo del insecto. El daño directo es causado por la succión de la savia y el indirecto por las secreciones en donde crecen hongos que producen la fumagina. La presencia de esta plaga sobre las hojas reduce la capacidad fotosintética de la planta.

Muestreo

Se recomienda hacer un recorrido en todo el predio para detectar la presencia y distribución de la plaga en campo para determinar como es la distribución del insecto, se muestrean surcos completos aleatoriamente, cuantificando ya sea plantas o surcos dañados. A nivel planta se mide el porcentaje de área foliar cubierta por las escamas relacionado directamente con la capacidad fotosintética de la planta. Si el porcentaje de infestación es igual o mayor al 20 por ciento del total de plantas revisadas, se deben realizar aplicaciones de insecticidas líquidos asperjados en 300 litros de agua con aspersora manual, o bien calibrar adecuadamente el gasto de agua de acuerdo al tamaño de la planta a tratar.

Medidas de control

Control biológico.- Existen enemigos naturales de esta plaga como una avispa del orden Hymenoptera que parasita a las ninfas, además de catarinas (coleoptera: *coccinellidae*) cuyas larvas son depredadores muy activos de las escamas. Para obtener los beneficios de este control biológico natural se debe manejar cuidadosamente los agroquímicos, ya que los organismos benéficos son muy sensibles a los insecticidas y se puede provocar un desequilibrio en las poblaciones naturales.

Control químico.- En el caso de infestaciones severas se pueden aplicar insecticidas de contacto (Cuadro 1), aceites minerales o vegetales, siendo éstos los que afectan menos a las catarinas.

Chinche del agave.

Caulatops agavis

Importancia

En algunas parcelas, sobre todo en la región de Los Altos de Jalisco, se han detectado poblaciones muy altas de estos insectos (70 a 90 insectos por planta), sin embargo se desconoce el efecto real de este insecto sobre el desarrollo de planta, o sobre su rendimiento, ya que éste efecto no es evidente o notorio.

Descripción

Este insecto pertenece al orden Homoptera y a la familia Miridae. Es una chinche de color rojizo y con los hemiélitros rojo o café claro. El adulto mide aproximadamente 5mm. Las poblaciones se incrementan durante los meses fríos.

Los adultos son insectos de cuerpo blando, de entre 4 a 10 mm de longitud con coloración en los hemiélitros de color rojo. Esta chinche puede ser reconocida por la presencia de un cuneus en la parte basal de los hemiélitros y solo una o dos celdas cerradas en la base de la parte membranosa del ala. Las antenas y pico son tetra segmentadas y ocelos ausentes (Figura 11) (Borrór *et al.*, 1989; Hernández-García *et al.*, 2005).



Figura 11. Adulto de chinche del agave *Caulatops agavis*.

Distribución

Ha sido reportado este insecto en Atotonilco el Alto, Arandas, San Juan de los Lagos, Lagos de Moreno, Tepatitlán, Yahualica, Acatic y Zapotlanejo.

Biología

Estas chinches son abundantes en praderas y pastizales durante los primeros días del verano y se alimentan de los pastizales. Tienen ciclo de huevo, ninfa y adulto.

Síntomas y daños

La chinche inserta su estilete en las hojas para alimentarse y al hacerlo, deja pequeñas áreas con un halo amarillento que son más visibles si se ponen las hojas contra la luz. No se sabe si es vector de alguna enfermedad, o si esté inyectando toxinas que puedan debilitar a la planta (Hernández-García *et al.*, 2005).

Medidas de control

Debido a que no se han cuantificado los daños que provoca y que no se ha visto una reducción considerable del crecimiento del cultivo, no se puede indicar medidas de control, ya que sería un error aplicar agroquímicos si el daño no es suficientemente grande como para provocar pérdidas de la producción.

Chapulines. *Orthoptera*:
familias *Acrididae*, *Tettigoniidae*

Importancia

En el cultivo de agave no se había reportado a los chapulines como plaga, pues solo se presentaba en predios donde el control de maleza era deficiente, al eliminar la maleza, el problema se reducía o eliminaba. Sin embargo, en el ciclo agrícola 2001 se presentaron daños en la región de Acatic, no obstante de tener un excelente control de maleza. Estos insectos se consideran como plaga de importancia pues consume gran cantidad de follaje tierno y maduro. Se han reportado chapulines del género *Sphenarium* y *Melanoplus* en Tamaulipas, causando daños de importancia económica; mientras que en Guanajuato, *Schistocerca damnifica*, *Brachistola magna*

y *Melanoplus differentialis* se alimentan de las pencas en plantas jóvenes (Salas-Araiza *et al.* 2004 b).

Síntomas y daños

Las hojas de las plantas jóvenes o bien de los hijuelos presentan mordeduras de los bordes. Si la infestación es alta y siendo el agave su único alimento, llega a defoliar la planta.

Descripción

Los ortópteros comprenden los insectos conocidos vulgarmente como: chapulines, grillos, langostas, etc. Se caracterizan por presentar un aparato bucal de tipo masticador, dos pares de alas, de los cuales el primer par tiene consistencia apergaminada y el metatorácico o segundo es de tipo membranoso. Sus patas son de tipo caminador o saltador. La mayoría de ellos son capaces de estridular o emitir sonidos con las alas o con las patas. Su coloración es variable y su talla fluctúa entre 3 y 120 milímetros (Figura 12).

Medidas de control

Mantener los predios con un nivel de maleza controlado y en casos donde el daño por estos insectos sea fuerte (ataque de hojas del cogollo) aplicar insecticidas de contacto (Cuadro 1).



Figura 12. Chapulines. *Orthoptera*: familias *Acrididae*, *Tettigoniidae*.

Cuadro 1. Insecticidas químicos para el control de las principales plagas de agave en la zona de denominación de origen.

PLAGA	INSECTICIDA* COMERCIAL	INGREDIENTE ACTIVO	DOSIS por ha	MOMENTO DE APLICACION		
Gallina ciega	Rugby 10% G	Cadusafos	10 kg	Al plantar, una segunda aplicación se justifica si se encuentra más de dos larvas por cepellón.		
	Mocap 15%	Ethoprofos				
	Azteca 2%G	Tebupirimphos	12 kg			
	Brigadier 0.3%	Bifentrina	12 kg			
	Lorsban 5 %	Clorpyrifos	20 kg			
	Triunfo T	Terbufos	20 kg			
	Poncho 600 TS*	Clothianidin	250 ml			
	Gaicho 480 TS*	Imidacloprid	250 ml			
	Crusier 5 TS*	Thiamethoxam	250 ml			
	Semevin 350 S*	Aldicarb	250 ml			
	Furadan 5 %G*	Carbofurán	2 L			
	Marshall 250 TS	Carbosulfan	2 L			
	De la piña y el follaje				Por hectárea	* Aplicar dosis en 200 L de agua, impregnar la raíz y la parte inferior de la piña al iniciar la siembra de dos ha (7 000 plantas. ** Aplicar en los agujeros y en la base de la planta con agua abundante.
		Semevin 350*	Thiodicarb		2 L	
Furadán 350*		Carbofurán	2 L			
Marshall 250 CE*		Carbosulfan	2 L			
Arriwo 200 EM**		Cipermetrina	250 ml			
Dominex**		Alfacypermetrina	250 ml			
Mustang max 4S**		Z cypermetrina	250 ml			
Escarabajo rinoceronte						

Cuadro 1 (Cont.). Insecticidas químicos para el control de las principales plagas de agave en la zona de denominación de origen.

PLAGA	INSECTICIDA* COMERCIAL	INGREDIENTE ACTIVO	DOSIS	MOMENTO DE LA APLICACION
Piojo harinoso	Lorsban 480 EM	Chlorpyrifos etyl	750 ml	Al observar las hojas de la mitad superiorde la planta con 40 % o más de cobertura por este insecto plaga.
	Marshall 300 L	Carbosulfan	250 ml	
	Arriwo 200 EM	Cipermetrina	200 ml	
	Mustang max 4S	z-Cipermetrina	250 ml	
Escama armada	Lorsban 480 EM	Chlorpyrifos etyl	750 ml	Al observar las hojas de la mitad superiorde la planta con 40 % o más de cobertura con este insecto plaga.
	Disparo	Chlorpyrifos	750 ml	
	Arriwo 200 EM	Cipermetrina	200 ml	
	Karate	Lámda-	250 ml	
	Marshall 300 L	Carbosulfan	250 ml	
	Mustang max 4S	Cyhalotrina	250 ml	
	Salt-T-side	z-cypermetrina aceite parafínico de petróleo	1 L	
Chinche del agave	Lorsban 480 E	Chlorpyrifos etyl	750 ml	Aplicar solamente que aparezcan cinco o más chinches por planta o que se aprecie más de 25 % de daño en 200 plantas revisadas
	Arriwo 200 Em	Cipermetrina	0.200 L	
	Marshall 300 L	Cyhalotrina	0.250 L	
	Mustang max 4S	Carbosulfan		
	Dominex	zeta-Cipermetrina alfa-Cipermetrina	0.250 L	
Chapulines	Arriwo 200	Cypermetrina	250 ml	Aplicar al follaje del agave o directamente sobre las áreas en donde haya ninfas
	Karate	Lámda-	250 ml	
	Mustang max 4S	Cyhalotrina	250 ml	
	Dominex	z-cypermetrina	250 ml	
			500 ml	

Cuadro 1. (cont. 2) Insecticidas químicos para el control de las principales plagas de agave en la zona de denominación de origen.

PLAGA	INSECTICIDA COMERCIAL*	INGREDIENTE ACTIVO	DOSIS Por hectárea	MOMENTO DE LA APLICACION
Trozador del cogollo	Lorsban 480 EM	Chlorpyrifos etyl	750 ml	En cualquier etapa del cultivo, aplicar asperjado al follaje cuando se aprecien síntomas de daño por este insecto plaga en el 20 % de 200 plantas revisadas.
	Disparo	Chlorpyrifos + Permetrina	750 ml	
	Karate	Cipermetrina	250 ml	
	Nurelle	Lambda cyhalotrina	250 ml	
	Mustang max 4S	Cipermetrina	250 ml	
	Dominex	zeta-cipermetrina alfa-cipermetrina	250 ml	
Picudo del agave	Lorsban 480 EM	Chlorpyrifos etyl	750 ml	Hacer la aplicación dirigida a la base de las plantas, cuando se vean perforaciones causadas por picudo en el 20% de 200 plantas revisadas.
	Disparo	Chlorpyrifos + Permetrina	750 ml	
	Arribo 200 EM**	Cipermetrina	250 m	
	Karate	Cipermetrina	250 ml	
	Nurelle	Lambda	250 ml	
	Mustang max 4S	Cipermetrina	200 ml	
	Dominex	zeta-cipermetrina alfa-cipermetrina	250 ml	
	Paration metílico líquido	Parathion metílico	500 ml	

* La mención de nombres comerciales de productos plaguicidas es solamente una guía, pero no implica recomendación alguna por parte de INIFAP.

LITERATURA CITADA

- Aguilar-Mariscal, I. y J. F. Pérez Domínguez. 2004. Tebupirimfos contra gallina ciega (*Phyllophaga ravid*) y escarabajo rinoceronte (*Strategus aloeus*) en agave. In A. Morales M., M. Ibarra M., A. P. Rivera, G., S. Stanford-Camargo (eds.) Entomología Mexicana vol. 3. Publicación especial. Sociedad Mexicana de Entomología. Texcoco, Edo. de México. pp. 580-583.
- Arnett, R. H. Jr., N. M. Downie and H. E. Jaques. 1980. How to know the beetles. Second edition. W. M. C. Brown Company Publishers. 416 p.
- Borror, D. J., and R. E. White. 1970. A Field guide to the insects of America North of Mexico. Ed. Houghton Mifflin Company Boston. New York. 404 p.
- Borror, D. J., C. A. Triplehorn, N. F. Johnson. 1989. An Introduction to the study of insects. Saunder College Publishing. Philadelphia. 6 th Edition. 800 p.
- Clausen, C. P. 1972. Entomophagous insects. Hafner Publisdhing Co. New York 688 p.
- Consejo Regulador del Tequila. 1997. Estadísticas de producción, exportación, y consumo de materias primas para la elaboración del tequila. Guadalajara, Jal., México.
- Daly H. V., J. T. Doyen and P. R. Erlich. 1978. Introduction to insect biology and diversity McGraw-Hill. Nrew York. 564 p.
- Gutiérrez O., J. M. y M. D. Salas-Araiza, 2001. Contingencia de manejo fitosanitario del agave 2001. Folleto para productores. Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Guanajuato. Irapuato, Gto. México. 14 p.
- Hernández García, E., J. X. Uvalle B., C. Vélez G., R. Rubio C., M. Salamanca C., y J. I. del Real L. 2005. Plagas y enfermedades del *Agave tequilana* Weber Var. Azul. Consejo Regulador del Tequila, A. C. 111 p.
- Marín-Jarrillo, A. y R. Bujanos M. 2003. El complejo "gallina ciega" (coleoptera: melolonthidae) asociado al cultivo de maíz de temporal. In Estudios sobre coleópteros del suelo en América. Aragón, A., M. A. Morón y A. Marin, J. (Eds). Publicación Especial B. Universidad Autónoma de Puebla. pp.79-95.

- Morón Ríos, M. A. 1986. El género *Phyllophaga* en México: Morfología, distribución, y sistemática supraespecífica (Insecta: Coleoptera). Pub. 20. Instituto de Ecología. 342 p.
- Morón, M. A., C. de Loya., A. Ramírez C., S. Hernández R. 1998. Fauna de coleoptera lamellicornia de la Región de Tepic, Nayarit, México. Acta Zool. Mex. (n.s.) 75: 73-116.
- Morón, R., A. y M. A. Morón R. 2001. La fauna de coleoptera melolonthidae de la reserva de la biosfera "El Triunfo", Chiapas, México. Acta Zool. Mex. 84: 1-25
- Morón Ríos, M. A. 2001. Larvas de escarabajos del suelo en México. Acta Zool. Mex.1: 111-130.
- Pérez Domínguez, J. F. 2006. Importancia del escarabajo rinoceronte *Strategus aloeus* L. (Coleoptera:Scarabaeidae) como plaga del cultivo de agave pp. 181-194. In Castro-Ramírez, A. E., M. A. Morón y A. Aragón (Eds). Diversidad, Importancia y Manejo de escarabajos edafícolas. Publicación especial del Colegio de la Frontera Sur A.C. Fundación produce Chiapas A.C. y Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. A.C. México, D.F. pp 181-194.
- Pérez Domínguez J. F. 2003. Pruebas de efectividad biológica de insecticidas organofosforados, carbámicos y piretroides contra plagas de la raíz en agave (*Agave tequilana* Weber var. Azul) en Jalisco. Informe técnico de campo. Documento de trabajo. INIFAP-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Ocotlán, Jalisco. 39 p.
- Pérez-Domínguez, J.F. y R. Alvarez, Z. 2002. Análisis del problema de plagas de la raíz en Jalisco y su combate químico, perspectivas futuras hacia un manejo integrado de plagas. Memoria XXVIII Simposio Nacional de Parasitología Agrícola. Ingenieros Agrónomos Parasitólogos A.C.
- Pérez-Domínguez., J. F. y R. Alvarez, Z. 2003. Influencia de factores ambientales sobre el desarrollo y la fluctuación poblacional de gallina ciega (*Phyllophaga* spp. Y *Cyclocephala* spp.) (Coleoptera : Melolonthidae) y gusano alfilerillo. p. 231-249. In Aragón, G. A., M. A. Morón y A. Marín J. (Eds.). Estudios sobre coleopteros del suelo en América. Publicación especial de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México.
- Ratcliffe B., C. 1976. A Revision of the Genus *Strategus* (Coleoptera: Scarabaeidae) Bull. of The Univ. of Nebraska Museum. 10 (3): 93-204.

- Salas-Araiza, M. D., G. Estrada R., G. Montesinos S. y E. Salazar-Solís. 2004. Dinámica poblacional de la escama del agave *Acutaspis agavis* (Townsend y Cockerell) (Homóptera: Diaspididae) en *Agave tequilana* var. Azul (agavaceae) en Irapuato, Gto. México. pp.194-198 *In* A. Morales M., M. Ibarra M., A. P. Rivera, G., S. Stanford-Camargo. (eds.) Entomología Mexicana vol 3. Publicación especial. Sociedad Mexicana de Entomología. Texcoco, Edo. de México..
- Salas-Araiza, M. D., L. A. Parra-Negrete y E. Salazar-Solís. 2004. Insectos asociados a agaves (agaveceae) en el Estado de Guanajuato. pp. 199-203 *In* A. Morales M., M. Ibarra M., A.P. Rivera, G., S. Stanford-Camargo (eds.). Entomología Mexicana vol 3. Publicación especial. Sociedad Mexicana de Entomología. Texcoco, Edo. de México.
- Solís Aguilar, J. F., A. N. Borbolla P., H. González H., F. J. Flores M., A. R. Valle de la P., A. Equihua M., J. L. Leyva V., y A. Martínez G. 1999a. Búsqueda de atrayentes para adultos del picudo *Scyphophorus acupunctatus* Gylh. (Coleoptera: Curculionidae) en el agave tequilero. pp. 146-147. *In* Reyna R., R., R. H. Manzanilla., D. Ochoa M., R. García E y A. Equihua. M. (eds.). Avances en la Investigación 1999. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados.
- Solís Aguilar, J. F., E. Hernández G., H. González H., F. J. Flores M., A. R. Valle de la P., A. Equihua M., J. L. Leyva V., y A. Martínez G. 1999b. Reyna R., R., R.H. Manzanilla., D. Ochoa M., R. García E y A. Equihua. M. (eds). Control químico del picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* Gylh. (Coleoptera: Curculionidae) en Amatitán, Jalisco. pp. 165-166. *In*: Avances en la Investigación 1998. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados.
- Solís Aguilar, J. F., H. González H., F. J. Flores M., M. Santos C., E. Hernández C., A. R. Valle de la P. A. Equihua M., J. L. Leyva V., y A. Martínez G. 1998. Reyna R., R., R. H. Manzanilla., D. Ochoa M., R. García E y A. Equihua. M. (eds.) pp. 146-147. Determinación de las principales plagas del agave en Jalisco y algunas medidas para su control. *In* Avances en la Investigación. Instituto de Fitosanidad. Colegio de Postgraduados.
- Solís Aguilar, J. F., H. González H., J. L. Leyva V., A. Equihua M., F. J. Flores M. y A. Martínez G.. 2001. *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, plaga del agave tequilero en Jalisco, México. *Agrociencia* 35(6): 663-670.

**Conocimiento y prácticas
agronómicas para la producción
de *Agave tequilana* Weber
en la zona de denominación
de origen del tequila**

**ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE
AGAVE**

Páginas 169-195

Ramón Rubio Cortés

CAPÍTULO VIII

Cita correcta:

Rubio C., R. 2007. Enfermedades del cultivo de agave. p. 169-195 *In* Rulfo V., F. O. *et al.* (ed.). Conocimiento y prácticas agronómicas para la producción de *Agave tequilana* Weber en la zona de denominación de origen del tequila. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro.

ENFERMEDADES DEL CULTIVO DE AGAVE

Ramón Rubio Cortés¹

RESUMEN

En este capítulo se presenta una descripción de la sintomatología y distribución de las enfermedades, tanto abióticas como bióticas en el agave. Se presentan los síntomas de algunas enfermedades abióticas, causadas por factores no parasitarios como heladas, daños por herbicidas y otros. Para el caso del «anillo rojo», se presenta la variación de su daño a diferentes niveles de ataque. Asimismo, se describen los síntomas causados por enfermedades bióticas o parasitarias como: la mancha gris o tizón foliar, la mancha anular, pudrición del cogollo, pudrición de hojas y planta, marchitez, mancha foliar, *Phytophthora* sp. y *Alternaria* sp. En caso de algunas enfermedades se presenta la descripción de síntomas durante varias etapas fenológicas del cultivo y su distribución geográfica. También se presentan opciones de manejo de estas enfermedades y en algunos casos, se incluye su control químico entre otros métodos de control.

Palabras clave: enfermedades bióticas, enfermedades abióticas, fungicidas, distribución geográfica, *Agave tequilana*.

AGAVE CROP DISEASES

ABSTRACT

Agave biotic and non-biotic disease symptomatology and distribution are presented in this chapter. Some non-biotic disease symptoms caused by non-parasitic factors as frosts, herbicide damages, frosts, and other are described. For the «anillo rojo» (red ring) disease, its damage is described at different

1. Tequila Sauza S. A. de C. V.

Ramón RubioCortés <ramon.rubio@beamglobal.com>

attack levels. Also, there are presented symptoms caused by biotic or parasitic factors as: gray spot or leaf blight, ring spot, plant heart rotnennes, plant and leaf rotnennes, wiltness, leaf spot, *Phytophthora* sp, and *Alternaria* sp. Several diseases symptoms presented during different phenological crop stages and their geographical distribution are described. Disease management options, and disease chemical control among other methods are presented.

Keywords: biotic diseases, non-biotic diseases, fungicides, geographical distribution, *Agave tequilana*.

INTRODUCCION

El agave es producido en las zonas protegidas por la denominación de origen, que comprenden el Estado de Jalisco, algunos municipios del los estados de Nayarit, Guanajuato, Michoacán y Tamaulipas. La superficie dedicada al cultivo del agave había venido teniendo un fuerte incremento hasta 2003 y 2004. Este crecimiento no controlado ha generado una sobreproducción de agave que la agroindustria tequilera no ha podido absorber.

El cultivo de agave, en los últimos años se ha visto afectado por fitopatógenos, tanto hongos como bacterias y enfermedades abióticas. En este capítulo se hace una descripción de éstas enfermedades así como recomendaciones para su control.

Enfermedades Abióticas

Existen enfermedades en plantas las cuales tienen su origen en causas abióticas o no parasitarias. Se consideran enfermedades porque representan una desviación de lo normal en la estructura y fisiología de la planta afectada. Hay dos factores que producen enfermedades de este tipo: 1) los agentes físicos y 2) los agentes químicos. Entre los factores físicos se encuentran las altas o bajas temperaturas (heladas), el exceso o carencia de humedad en el suelo, oxígeno inadecuado en el suelo, descargas eléctricas y granizadas. Respecto a los agentes químicos se encuentran los trastornos nutricionales debido a la deficiencia de elementos nutritivos en las plantas como son: deficiencia de nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio, azufre o deficiencia de microelementos como son: el hierro, el boro, el zinc, el cobre

y otros elementos menores o la aplicación de diversas sustancias, como el caldo bordelés o el herbicida 2,4-D provocan enfermedades abióticas en las plantas. Estas enfermedades no son transmisibles y pueden ser eliminadas una vez que desaparece el agente causal. También la contaminación por gases tóxicos en el aire como son el dióxido de azufre, el etileno, flúor y fluoruros, el ozono y el dióxido de nitrógeno, otro elemento dañino son las partículas en la atmósfera de polvos de carbón o cemento. Las enfermedades de este tipo no son transmisibles y pueden ser aliviadas una vez que el agente causante desaparece. La enfermedad de este tipo que se presenta con mayor frecuencia es el «anillo rojo».

Anillo rojo

Introducción

Se ha detectado la presencia de esta enfermedad, principalmente en las regiones Altos de Jalisco, sur de Jalisco y sur de Nayarit, en áreas con alta humedad relativa en plantaciones de agave maduro con al menos cinco años de establecimiento (Flores-López, *et al.*, 2002).

Esta enfermedad conocida como anillo rojo se ha presentado de manera repetida en los mismos terrenos. El daño se desarrolla en hojas viejas, pero en casos severos afecta también hojas intermedias y jóvenes (Aceves, 2002), aunque su avance es lento, si no es controlado a tiempo puede llegar a matar la planta (Valenzuela, 2000). Esta enfermedad se caracteriza por dejar zonas corchosas de color rojizo en las hojas de la planta, a un mismo nivel, con lo cual se observa en forma de un círculo de esta mancha en todas las hojas de la planta cuando el daño es muy severo. Además, las hojas toman una consistencia rígida y la planta completa se hace más dura, disminuyendo su crecimiento (Virgen, 2005).

Aunque hay reportes que señalan que esta enfermedad es provocada por una bacteria, o por un hongo identificado como *Colletotrichum* sp, existen evidencias que se trata de una enfermedad de origen abiótico, causada por desbalances nutrimentales y condiciones edáficas.

Síntomas e índices de daño

Inicial (1-5%): Las espinas laterales de aproximadamente la mitad de la hoja cercana al cogollo, que va desplegando, se toman de un color rojizo (Figura 1).



Figura 1. Síntoma inicial de anillo rojo (1-5%).

Ligero (6-15%): Hay pérdida del característico color azul de la planta, y se marca con tonos de verde la zona donde posteriormente aparecerá el anillo rojo (Figura 2).



Figura 2. Síntoma ligero de anillo rojo (6-15%).

Medio (16-25%): Las hojas se estrangulan y muestran una franja de consistencia corchosa; luego se tornan rígidas y al irse desprendiendo se quedan al mismo nivel del cogollo (Figura 3).



Figura 3. Síntoma medio de anillo rojo (16-25%).

Fuerte (26-35%): Se reduce la lámina foliar, aparecen exudados en las hojas y se muestra el característico anillo rojo corchoso. Hay proliferación de hojas las cuales se tornan rígidas; las puntas de las hojas se achatan (Figura 4).



Figura 4. Síntoma fuerte de anillo rojo (26-35%).

Extremadamente fuerte (más del 36%): Reducción drástica del crecimiento, arrositado y deformación de la planta. Esta enfermedad llega a provocar la muerte de la planta cuando pasa mucho tiempo en el nivel extremadamente fuerte de severidad (Figura 5).



Figura 5. Síntoma extremadamente fuerte de anillo rojo (mas del 36%).

Para determinar la incidencia, distribución y severidad, se debe efectuar un muestreo bajo los siguientes lineamientos: considerar un tamaño de muestra de 50 plantas por cada 6 hectáreas; estas muestras deben distribuirse en forma uniforme en toda el área bajo evaluación, buscando la forma de examinar zonas con diferente pendiente y zonas donde sean muy evidentes los síntomas de la enfermedad y por el contrario, zonas donde éstos no sean tan evidentes. En cada punto de muestreo, se deben evaluar tres plantas contiguas y marcarlas para registrar los puntos de muestreo y poder analizar cómo se está distribuyendo la enfermedad en el predio. Para determinar el grado de severidad se puede utilizar una escala que contempla desde la aparición de los primeros síntomas, hasta un grado extremadamente severo, con base en las descripciones de severidad de daño presentadas previamente en este capítulo.

Condiciones edáficas que favorecen la presencia de la enfermedad

De acuerdo con resultados de análisis de suelo en áreas donde hay plantas creciendo en zonas afectadas con esta enfermedad y en zonas libres de la misma, se ha determinado cierto patrón de correlación que permite identificar áreas con probabilidad de incidencia de la enfermedad. Estas condiciones son: pH ácido (entre 4 y 5.5), deficiencias de fósforo, de zinc, boro y exceso de manganeso. En el caso de otros elementos, no se ha encontrado un patrón que indique su relación con el desarrollo de la enfermedad. No se puede concluir que el problema se debe de manera total a deficiencia o exceso de

algún elemento, ni se debe descartar que pueda deberse a una combinación de efectos entre nutrientes donde por exceso del manganeso se bloquee la absorción de cobre, boro y zinc y por el efecto del pH ácido se evite la absorción del fósforo afectando directamente el desarrollo radicular, por lo cual la planta no sea capaz de absorber otros elementos que estén disponibles en el suelo, pero fuera del alcance de la raíz.

Prácticas para mejorar el suelo

Es posible disminuir la severidad de la enfermedad mediante la aplicación de prácticas de mejoramiento del suelo (Agrios, 1978), sobre todo en la corrección del pH, aunque es necesario además aplicar fertilizante en dosis calculadas de acuerdo con los resultados del análisis de suelo del predio en cuestión.

En estudios de campo realizados en Jalisco, se ha demostrado que la aplicación de cal para modificar el pH disminuye la absorción de hierro y manganeso e incrementa la absorción de Boro; además, con disminución en el número de plantas con grado de severidad fuerte (en esta enfermedad). Estos resultados fueron observados al hacer análisis foliar 60 días después de la aplicación.

En estudios de invernadero, al colocar plantas micropropagadas en suelo colectado en predios en donde se ha presentado anillo rojo; después de un año de colocadas en estos suelos, las plantas no muestran los síntomas típicos, pero no crecen. Sin embargo, al corregir el pH del suelo, por medio de una aplicación equivalente a una dosis de tres toneladas de cal por hectárea y suministrar una mezcla física compleja que contenga nitrógeno, fósforo, potasio, cobre, zinc y boro, las plantas inmediatamente reanudan su crecimiento; un mes después de la aplicación de la mezcla y de riego, es visible la recuperación de éstas plantas.

Daño por herbicidas

Algunos herbicidas pueden ser un poco menos agresivos con el agave, razón por la cual se dice que son selectivos, pero aún éstos pueden tener efectos adversos al desarrollo de los cultivos en donde son utilizados.

Los herbicidas de contacto causan un daño inmediato en las plantas de agave, el cual podría ser desechado del cultivo al eliminar las hojas, dependiendo de la cantidad de producto que alcance a la planta (Hernández *et al.*, 2004).

En el agave se han detectado diversos daños relacionados con el uso de herbicidas (Figura 6). Generalmente, estos daños predisponen al cultivo para que sea afectado por otros organismos como insectos, hongos y bacterias por causar debilitamiento de las plantas.

El fluazifop-P-butyl (fusilade®) provoca lesiones graves en la base del cogollo, las cuales son colonizadas rápidamente por bacterias y provocan una pudrición de cogollo. Un síntoma muy parecido se ha encontrado en plantas afectadas por la aplicación de clomazone en mezcla con diuron (Hernandez *et al.* 2004).



Figura 6. Daños en agave tequilero causados por herbicidas, de contacto (izquierda) y sistémico (derecha).

Es posible que algunas de las enfermedades que se han estado manifestando en los cultivos de agave, estén siendo favorecidas por el mal uso de los herbicidas, sobre todo en el caso del glifosato, ya que este producto además de afectar la raíz y la fotosíntesis afecta algunos productos del metabolismo secundario que es el utilizado para producir fitoalexinas con las cuales las plantas se defienden del ataque de insectos y otros microorganismos (Hernández *et al.*, 2004).

En el caso del glifosato, las hojas se encarrujan y toman una coloración violácea, se hacen flácidas y caen al piso sin desprenderse de la planta. El cogollo se torna compacto y no hay desprendimiento de hojas nuevas. Si el daño es severo, toda el área radical muere y por consiguiente la planta se marchita y también muere (Hernández *et al.*, 2004).

Los síntomas que presentan las plantas afectadas por tebutiuron, son coloración verde pálido, y en ocasiones la planta llega a manifestar clorosis general; además, las hojas tienden a “caerse” y tornarse flácidas, dando una apariencia de plantas “apalmeradas”. También se ha asociado al mismo una coloración amarillenta en las hojas que se van desprendiendo del cogollo.

Por lo anterior, es sumamente importante el uso correcto de los herbicidas, para evitar que dañen al cultivo en forma exagerada, o que lo predispongan al ataque de otros organismos. (Hernández *et al.*, 2004).

Daño por heladas

El agave es susceptible al daño por heladas y bajas temperaturas. Las zonas más afectadas por heladas se localizan en Los Altos de Jalisco, aunque hay algunos otros sitios dentro de la Zona de Denominación de Origen del Tequila, donde ocasionalmente se presenta este fenómeno (Figura 7).

En las partes bajas del terreno o en sitios donde se estaciona el aire frío es común el daño por heladas. Las plantas de 0 a 3 años son más susceptibles que las plantas de mayor edad. Las hojas viejas, por tener tejidos menos elásticos, son más susceptibles al daño por heladas que las jóvenes (Hernández *et al.*, 2004).

En las hojas afectadas por las heladas, el daño avanza desde la punta hacia la base y la textura de la hoja es flácida o blanda. Se destruye la clorofila y con ello se pierde el color verde, las hojas se tornan de color amarillento con tonalidades moradas (Figura 7). Los síntomas demoran de 4 a 8 días en manifestarse. En casos muy severos, los síntomas se presentan 48 horas después del evento.

El daño por heladas favorece el desarrollo de enfermedades, sobre todo causadas por bacterias como *Erwinia* y *Pseudomonas*. Se recomienda abrir

las hojas del cogollo para que se ventile y posteriormente prevenir el avance de enfermedades mediante fungicidas de contacto; asimismo, se sugiere no transplantar plantas dañadas por frío ya que son altamente susceptibles al desarrollo de enfermedades.

La medida más adecuada para reducir los riesgos de daños causados por heladas, es evitar establecer plantaciones en zonas con alto riesgo y alejarse de depresiones naturales, en donde se acumula el aire frío. (Hernández *et al.*, 2004).



Figura 7. Daños causados por heladas en *Agave tequilana*.

ENFERMEDADES BIOTICAS

Las enfermedades causadas por organismos vivos o parasitarias afectan considerablemente la producción agrícola. Para que éstas ocurran los requisitos básicos son:

- Hospedante o planta susceptible.
- Patógeno virulento presente.
- Condiciones ambientales favorables (Agrios, 1978; García, 1982).

Mancha gris o tizón foliar

Según algunos investigadores, el agente causal de esta enfermedad es *Cercospora* sp. (Virgen, 2004; Ayala y Yañez, 2004). Se le encuentra en zonas agaveras como: Zacoalco, Ahualulco y Antonio Escobedo (Virgen, 2005) y en las regiones de: Altos de Jalisco (Tepatitlán, Yahualica, Acatic, San Juan

de los Lagos); Valles (Amatitán, Tequila, Arenal, Magdalena); Sierra occidental (Mixtlán, Mascota, Atenguillo); Sierra de amula (El Limón, El Grullo, Unión de tula); Costa Sur (Autlán).

Se presenta de octubre a marzo, tiene requerimientos de alta humedad relativa y temperatura media entre 15 y 22 °C. Se caracteriza por provocar manchas ovaladas y secas de color gris en las hojas cercanas al cogollo, luego alcanza las hojas del cogollo y va avanzando hacia el centro del mismo, y hacia la piña (Figura 8). También es característico el hecho de que la planta manifieste una clorosis generalizada (Figura 9) (Virgen, 2005). Cuando el daño alcanza la piña, es muy difícil lograr la recuperación de la planta y en algunos casos al cambiar las condiciones climáticas se detiene el avance de la enfermedad, pero no se elimina, sino que se mantiene latente. Si no es controlada esta enfermedad, puede causar la muerte de las plantas en dos a seis meses según la edad del cultivo y la intensidad del daño.



Figura 8. Síntomas de mancha gris.

En los predios donde se ha presentado, las plantas aparecen en forma aislada o al azar, pero luego pueden contagiar plantas vecinas. Esta enfermedad se ha encontrado en forma mas frecuente en zonas frescas y relativamente más húmedas.



Figura 9. Clorosis generalizada provocada por mancha gris.

Para reducir la dispersión de la enfermedad, es importante eliminar las plantas afectadas cuando el daño haya alcanzado la piña, ya que en esta etapa no es fácil la recuperación de las plantas. Si los síntomas se detienen queda latente la enfermedad o el patógeno en la piña, siendo capaz de contagiar a plantas vecinas.

Cuando los daños aún no alcanzan la piña, se puede realizar podas de las áreas dañadas y aplicar fungicidas a base de cobre, solos o en mezcla con antibióticos.

Como medidas preventivas para reducir el avance y los daños de la misma, se recomienda hacer aplicaciones de sulfato de cobre pentahidratado cada 15 días cuando empiezan a aparecer plantas con síntomas, así mismo aplicar un fungicida sistémico en mezcla con uno de contacto por lo menos en una o dos ocasiones durante la época más crítica, que corresponde al término de la época de lluvias y el inicio de la temporada fría. Los fungicidas sistémicos a utilizar pueden ser del tipo de los bencimidazoles, ya que tienen un amplio espectro de acción sobre Deuteromycetes y *Cercospora* sp (a quien se le atribuye como causante de la enfermedad) pertenece a este grupo.

Mancha anular

La mancha anular es una enfermedad causada por el hongo *Didymosphaeria* sp (Virgen, 2005) que se desarrolla en la superficie de las hojas formando anillos concéntricos (Fig. 10). Cuando son pocas la manchas en una hoja, el daño es localizado y no afecta demasiado, pero cuando la infestación es fuerte, se juntan estas manchas y toda el área afectada se necrosa dando una apariencia de hoja quemada (Fig. 11).

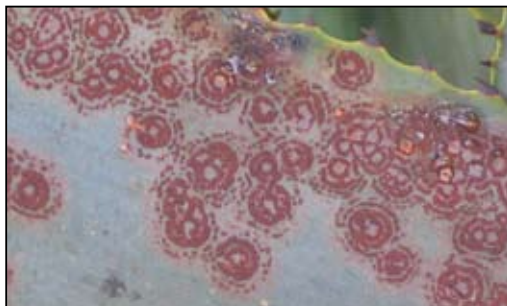


Figura 10. Lesiones localizadas de *Didymosphaeria* sp. en hojas basales.

A pesar de que este hongo es un Ascomyceto y de que existen fungicidas específicos para este grupo de hongos, es necesario hacer evaluaciones de productos que puedan ser utilizados para prevenir su ataque, o bien para curar la infección antes de observar el síntoma característico, siempre con el criterio de evitar aparición de razas o cepas resistentes a los productos que se utilicen.



Figura 11. Necrosis con apariencia de hoja quemada.

Además pueden hacerse pruebas con cubiertas epidermales para determinar el efecto que tienen en la prevención de la infección. Es una enfermedad a la cual le favorecen temperaturas de 20 a 22 °C promedio, es muy frecuente su ocurrencia en la región de los Altos. (Virgen, 2005).

Pudrición del cogollo

La pudrición del cogollo es causada por diversas bacterias aunque la mas común es *Erwinia grupo carotovora*, es una pudrición blanda, principalmente del cogollo (Figura 12). Esta enfermedad, junto con la marchitez es una de las más agresivas en el cultivo y puede darse la infección en plantas con estrés, o bien en plantas que hayan sufrido alguna herida (Luna, 1998).

En algunos casos, la pudrición puede iniciar como lesiones necróticas y acuosas en las puntas de las hojas, o bien en los bordes de las mismas (Figura 12), y de ahí avanzar al cogollo y hacia la base del mismo (Figura 13).



Figura 12. Inicio de pudrición de cogollo.

Algunos investigadores asocian la presencia de picudo del agave *Scyphophorus acupunctatus* como vector. No hay estudios que demuestren que este insecto sea realmente un vector, lo que se ha encontrado es que en el exterior del cuerpo de este insecto, como en el caso de otros, pueden estar las bacterias. Al romper el picudo los tejidos de la planta haciendo galerías,

permite la entrada de la bacteria al interior de la planta; tanto de las bacterias alojadas en el cuerpo del insecto como las que están en el ambiente (Figura 14).



Figura 13. Pudrición de cogollo.

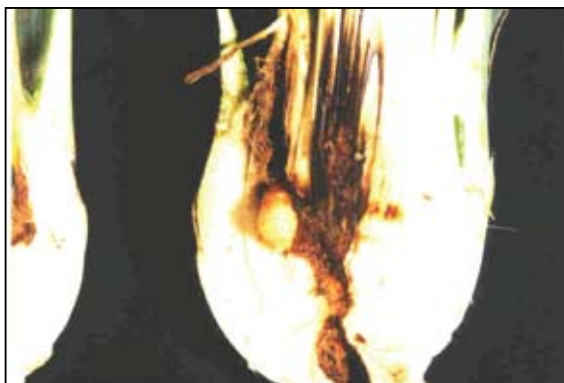


Figura 14. Pudrición de cogollo y piña por picudo.

Pudrición de hojas y planta completa

Se caracteriza por ser una pudrición blanda (Figura 15) que puede comenzar en la punta o en la base de las hojas. Esta pudrición destruye por completo todo el tejido que conforma a la hoja, excepto la epidermis de la misma, por lo que la hoja se hace flácida. En la mayoría de los casos se producen gases por la fermentación del tejido afectado, y se “infla” la hoja o lo que queda de ella. Puede afectar sólo algunas hojas o puede llegar a la piña provocando la muerte de la planta. Cuando toda la planta es afectada, ésta muere y al final sólo se encuentra la epidermis de la planta completamente seca o momificada.



Figura 15. Pudrición blanda.

La fermentación que se produce es atrayente de moscas que se alimentan de tejido en descomposición, por lo que ovipositan en estas plantas y las larvas aceleran la descomposición del tejido afectado.

Esta enfermedad se ha detectado como muy agresiva en plantas micropropagadas en condiciones de vivero, esto debido a que por la gran cantidad de plantas en poco espacio es fácilmente transmisible debido al manejo y las condiciones de alta humedad, sobre todo en la época de lluvias.

Marchitez

El agente causal de esta enfermedad es el hongo *Fusarium oxysporum*. La marchitez (Figura 16) que se presenta en el cultivo de agave se debe a una deshidratación de los tejidos y esto se da a su vez porque hay una reducción, muerte o destrucción del sistema radical, o bien porque hay destrucción o taponamiento de haces vasculares (Castañeda-Vásquez, 2002).

Aunque esta enfermedad era observada en plantaciones de agave mayores de 3 años, actualmente se le encuentra en plantas de un año. En plantaciones nuevas su síntoma es el característico “clavo”.

En general, en casi cualquier planta de agave de la cual se tomen algunas muestras de raíz, se aislará a *Fusarium* sp aunque la planta no manifieste síntoma alguno, esto es debido a que este hongo es habitante natural del suelo, además de ser un parásito facultativo, o sea que puede sobrevivir en materia orgánica sin que haya un hospedante establecido (Timmer, 1982). Es más probable que penetre a las raíces por medio de heridas a que penetre de manera natural. Con el incremento de la marchitez, las hojas se encarrujan y se secan, la planta se arranca muy fácilmente (Jones et al, 1989).



Figura 16. Marchitez del agave.

Es importante conocer los principales factores que pueden inducir una marchitez en las plantas, para saber qué métodos o prácticas pueden ser

empleadas para prevenir o reducir la incidencia de la misma, así con el manejo del cultivo no se busca eliminar a *Fusarium* sp de los suelos donde se cultive el agave, sino mantenerlo en un grado tal que no provoque daños de importancia económica, esto es, que no provoque síntomas significativos que afecten el desarrollo o bien que llegue a provocar la muerte de las plantas.

Para el caso de marchitez, es poco útil el uso de fungicidas con base en cobre, debido principalmente a que el problema se presenta en raíz y no en follaje. Aunque se ha visto (pruebas de laboratorio) que el sulfato de cobre pentahidratado tiene efectividad contra *Fusarium* sp, cuando ataca raíz es muy difícil que alcance la concentración necesaria para su eliminación, y más aún si se supone que pueda haber infectado alguna raíz y ya se encuentre dentro de la planta (Soltero, 2002). Otro aspecto a considerar es que el cobre es un elemento que en altas concentraciones es inhibidor de la emisión de nuevas raíces, se utiliza en algunos viveros para dirigir las raíces en una misma dirección dentro del cepellón).



Figura 17. Uso de planta sana para establecer nuevas plantaciones.

Medidas de control de la marchitez

Uso de planta sana

Establecer una plantación utilizando hijuelo o planta sana (Figura 17) tiene muchas ventajas, ya que hay mayor probabilidad de prendimiento de los hijuelos y establecimiento de las plantas, así como un desarrollo más adecuado

de las mismas. Sobre todo porque los hijuelos que presentan clavo (de donde invariablemente se ha aislado *Fusarium*), presentan marchitez después de tres o cuatro años de haber sido plantados (Aceves, 2003).

Para reducir riesgos de seleccionar planta enferma, se debe arrancar hijuelo de predios que no tengan plantas enfermas, o bien evitar aquellas que presenten síntomas de marchitez o clorosis, esto porque es posible que si hay infección en la planta madre, entonces haya un contagio de hijuelos por el rizoma. Después de arrancar el hijuelo, desinfectar la herramienta con que se esté llevando a cabo la labor, para reducir la diseminación de la enfermedad.

Al preparar el hijuelo (tostonear), se deben eliminar aquellos que presenten clavo o daño por insectos; además de desinfectarlos por medio de inmersión con en fungicidas a base de cobre. Aunque trabajos de campo en otros ambientes indican que la inmersión de los hijuelos en la solución reduce la tasa de prendimiento de la planta en campo (Uvalle 2002, comunicación personal), por lo que es preferible una aspersión manual con sulfato de cobre.

Aplicación de materia orgánica

La aplicación de materia orgánica (Figura 18) es sumamente importante debido a que da una mejor estructura al suelo, además de que funciona como un buffer que evita cambios de pH y en general hace más disponibles muchos nutrientes así como proporcionar otros elementos necesarios para las plantas (Rojas, 1993).

Debido a que la materia orgánica es un sustrato para microorganismos que la descomponen, esto permite incrementar las poblaciones de los mismos y muchos de estos son organismos antagónicos a diversos patógenos del suelo, o incluso pueden ocupar espacios que antes estarían disponibles únicamente para los fitopatógenos (Fückikovsky, 2000).

La materia orgánica que se aplique debe ser incorporada para evitar pérdidas por viento o por lavado, además lo que se persigue al aplicar materia orgánica es mejorar el suelo que se encuentra alrededor de la zona radical, ya que es la zona que interesa tener en mejores condiciones, tanto para mejorar la disponibilidad de nutrimentos como para favorecer el desarrollo



Figura 18. Aplicación de composta.

de organismos antagónicos a patógenos. Se recomienda aplicar de 1.5 a 2.0 toneladas por hectárea de composta como materia orgánica, aplicadas en los surcos, antes del trasplante de plantas.

Aplicación de cal

Cuando se tienen suelos ácidos, la aplicación de cal permite balancear el pH de los mismos. Muchos nutrimentos que se encuentran en el suelo, o que se adicionan a suelos ácidos no pueden ser tomados por las plantas debido a que se fijan por efecto del pH, pero al agregar cal éstos se hacen más disponibles (Tisdale y Werner, 1996).

Se sabe que *Fusarium* sp puede desarrollarse mejor cuando se tiene un pH ácido en el suelo, alrededor de 5 a 5.5, así que si se aplica cal se torna más desfavorable el ambiente para el desarrollo de este hongo (Fückikovsky y Velásquez, 2001).

Cuando se aplica cal, se tienen mejores resultados en la regulación del pH si ésta es incorporada, ya que el intercambio de cationes se da a nivel de la raíz, permitiendo así que la planta pueda absorber los nutrientes. Cuando se aplica en forma superficial sin que sea incorporada, la cual puede reaccionar mientras se va incorporando por efecto de la lluvia, y al llegar al nivel de la raíz ya no da el efecto regulador de pH que se esperaba.



Figura 19. Aplicación de cal.

En suelos de origen ácido, ya sea por el material parental, o por las condiciones climáticas, es importante aplicar cal al inicio de cada temporada de lluvias, para permitir una mejor disponibilidad de los nutrientes, así como para mantener un suelo más estable.

Mancha foliar

Esta enfermedad es producida por diversos hongos, entre los que destacan: *Rhizoctonia solani*, *Botryodiplodia* sp. y *Didymosphaeria* sp. Los síntomas son el desarrollo de manchas foliares en hojas maduras del agave

Se encuentra en regiones agaveras como: Altos de Jalisco (Tepatitlán) y Sur (Sayula, Zapotlán, Tecalitlán). La incidencia de estos hongos se da principalmente durante el período de lluvias. A *Botryodiplodia* sp y *R. solani* les favorece el clima más cálido, por ello en el sur de Jalisco se tiene mayores probabilidades de daño económico en mayor intensidad. *Didymosphaeria* sp prefiere temperaturas más templadas, por lo que tiene mayores probabilidades de desarrollo en la región Altos de Jalisco.

En las hojas afectadas, se pueden unir varias manchas grandes que luego se endurecen y en ocasiones se roturan y el daño avanza lentamente de la parte central de la hoja hacia la punta y provoca el endurecimiento y encarrujamiento de las hojas.

Como medida de control se recomienda eliminar residuos de la jima y plantas de agave infectadas que son fuente de inóculo, así como con poda las hojas afectadas cuando el daño inicia o incluso con jima de saneamiento cuando el daño es muy avanzado.

Como medida de control químico se recomienda aplicar durante el período de lluvias, fungicidas de contacto o fungicidas sistémicos del grupo de los triazoles, sobre todo al inicio del período de lluvias (Virgen, 2005).

***Phytophthora* sp**

La presencia de esta enfermedad se da de octubre a marzo en los Altos de Jalisco (Tepatitlán, Atotonilco, Acatic, Arandas) y sur (Zapotlán, Zacoalco, Atoyac, Zapotiltic).

El daño se inicia en las puntas de las hojas intermedias, se aprecia un arrugamiento y color violáceo oscuro, con áreas herrum-brosas y formación de cristales de jarabe café-rojizo. El daño avanza muy rápidamente en las hojas, las cuales se encarrujan. Plantas débiles con esta enfermedad pueden sobrevivir sólo hasta un par de meses.



Figura 20. Daño ocasionado por *Phytophthora* sp en agave tequilero.

Este patógeno puede encontrarse asociado con otros, como: *Alternaria* sp lo cual ocasiona que el avance de las enfermedades, debilitamiento y muerte de las plantas ocurran más rápido.

***Alternaria* sp**

Se ha observado su presencia junto con la de *Phytophthora* sp. en parcelas de agave, durante el período de octubre a marzo, en la región de los Altos.

El daño inicia en la punta de las hojas intermedias con manchas cloróticas por la toxina del hongo, que avanzan por el margen de las hojas cuyo tejido se va necrosando rápidamente, durante un tiempo las hojas se mantienen arrugadas y blandas, hasta que terminan encarrujandose.



Figura 21. Daño ocasionado por *Alternaria* sp. en agave tequilero.

Se recomienda, tanto para *Alternaria* sp. como para *Phytophthora* sp. control preventivo en los meses de octubre y enero con fungicidas de contacto y/o sistémicos.

LITERATURA CITADA

Aceves, R., J. J. 2002. "Aislamiento, identificación, incremento e inoculación de patógenos asociados a la marchitez del agave" pp.33-41. *In* Flores-López, H. E. (ed). 2002. Análisis agroecológico del Agave tequilana Weber var. Azul con énfasis en problemas fitosanitarios en Jalisco. INIFAP CIRPAC. C.E., Altos de Jalisco. Publicación especial No.1, Tepatitlán, Jalisco, México,

- Aceves, R., J. J. 2003. Prevención y Manejo Integral de la Marchitez de *Agave Tequilana* Weber. Var. Azul en Jalisco. Folleto Técnico No. 1. Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, INIFAP. 62 p.
- Agrios, G, N. 1978. Plant pathology. Second edition. Academy Press. Inc. London, NW I. P. 325-327.
- Ayala, E. V. y M. M. J. Yañez. 2004. *Cercospora agavicola* sp. nov. causante de una nueva enfermedad foliar en agave (*Agave tequilana* Weber. var. Azul) en Pénjamo, Guanajuato, México Memorias del XXXI Congreso Nacional de Fitopatología. Veracruz, Ver. 25 al 28 de Julio de 2004. Resumen L-42.
- Castañedas-Vázquez, H. 2002. Aislamiento e identificación de microorganismos responsables de la marchitez del agave tequilero. pp. 21-24. In Flores-López, H.E. (ed). Análisis agroecológico del *Agave tequilana* Weber var. Azul con énfasis en problemas fitosanitarios en Jalisco, INIFAP-CIRPAC. C.E. Altos de Jalisco, Publicación especial No. 1. Tepatitlán, Jalisco, México.
- Flores-López, H. E., K. F. Byerly M. y J. J. Aceves-Rodríguez. 2002. Diagnóstico del sistema de producción de agave con énfasis en problemas fitosanitarios. Informe de investigación. INIFAP-CIRPAC C. E. Altos de Jalisco. pp. 14.
- Fuckikovsky, L. Z. 2000. La tristeza y muerte del *Agave tequilana* Weber var. Azul (TMA) y los microorganismos e insectos importantes relacionados. pp. 90. In Memorias del XXVII Congreso Nacional de Fitopatología. Puerto Vallarta, Jalisco, México. Del 9 al 13 de julio del 2000.
- Fuckikovsky, L. Z. y M. J. Velásquez. 2001. *Agave tequilana* Weber var. Azul y su Manejo. p. 17 In Memorias del XXVIII Congreso Nacional de Fitopatología. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Campus Querétaro. Santiago de Querétaro, Qro. Del 15 al 18 de julio del 2001.
- García, R. E. 1982. Apuntes del curso de Fitopatógenos del suelo. Colegio de Postgraduados. Chapingo, Texcoco, Edo de México. 50 p.
- Hernández García, E., J. X. Uvalle B., C.Vélez G., R. Rubio C., M. Salamanca C., y J. I. del Real L. 2005. Plagas y enfermedades del *Agave tequilana* Weber Var. Azul. Consejo Regulador del Tequila, A. C.

- Jones, J. P., A. W. Engehardy, and S.S. Woltz. 1989. Management of *Fusarium* wilt of Vegetables and Ornamentals by Macro- and Microelement Nutrition. pp.18-32. In Engelhard, A.W. Ed., Soilborne Plant Pathogens: Management of Diseases with Macroelements, St. Paul, Minnesota, USA. The American Phytopathological Society.
- Luna, H. G. 1998. Pudrición del tallo de *Agave tequilana* Weber en el Estado de Jalisco. México. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. Edo. de México. 85 p.
- Rojas, G. M. 1993. Fisiología vegetal aplicada. Cuarta edición. Editorial Interamericana. Mc. Graw Hill. México, D. F. p. 55.
- Soltero-Quintana, R. 2002. Pruebas de patogenicidad del *Fusarium oxysporum* y *Erwinia* sobre plantas de *Agave tequilana* Weber var. Azul in vitro. pp.257-321. In Flores-López, H. E. (ed). Análisis agroecológico del *Agave tequilana* Weber var. Azul con énfasis en problemas fitosanitarios en Jalisco. INIFAP. CIRPAC. C.E. Altos de Jalisco. Publicación especial No.1. Tepatitlán, Jalisco, México,
- Timmer, L. W. 1982. Host range and host colonization, temperature effects and dispersal of *Fusarium oxysporum* f. Sp. Citri. Phytopatology. Vol. 72, p 698-702.
- Tisdale, S. y N. Werner. 1996. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Libro técnico. Edit. Unión Tipográfica Hispanoamericana S. A. de C. V. México. 760 p.
- Valenzuela, Z. A. G. 2000. Tequila Cazadores. Manual para agaveros. Talleres Gráficos. Guadalajara, Jal. 90 p.
- Virgen, C. G. 2004. Caracterización morfológica del tizón foliar del agave (*Agave tequilana* Weber var. Azul) causado por *Cercospora* sp. Memorias del XXXI Congreso Nacional de Fitopatología. Veracruz, Ver. 25 al 28 de Julio de 2004. Resumen C-28.
- Virgen, C. G. 2005. Manejo Integrado de Enfermedades del cultivo del *Agave Tequilana* Weber. Var. Azul. In XXXI Simposio Nacional de Parasitología Agrícola. Ingenieros Agrónomos Parasitólogos A. C. Guadalajara, Jal.

Se terminó de imprimir
en Diciembre del 2007
en los talleres gráficos de
Prometeo Editores, S.A. de C.V.
Libertad 1457, Col. Americana,
Guadalajara, Jalisco
C.P. 44160 Tel. 01 (33) 3826-2726
E-mail: prometeoeditores@prodigy.net.mx

Impreso en México *Printed in Mexico*