

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERIA**



**Acumulación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la Materia Seca del  
*Agave tequilana* Weber Azul, en el Sur de Tamaulipas.**

Por:

**JORGE ENRIQUE CANALES ALMENDARES**

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:

**Ingeniero Agrícola y Ambiental**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México**

**Diciembre de 2009**

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE INGENIERIA

Acumulación de Nitrógeno, Fósforo y Potasio en la Materia Seca del  
Agave Tequilana Weber Azul, en el Sur de Tamaulipas

TESIS

Por

JORGE ENRIQUE CANALES ALMENDARES

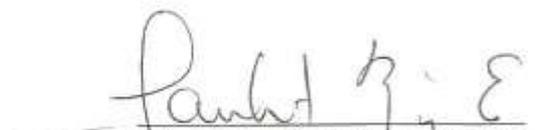
Que somete a la consideración del H. Jurado examinador,  
Como requisito parcial para obtener el titulo de:

Ingeniero Agrícola y Ambiental

Aprobada por:



Dr. Rubén López Cervantes  
Presidente del Jurado



Dr. Lamberto Zúñiga Estrada  
Asesor



Dr. Edmundo Peña Cervantes  
Asesor  
Universidad Autónoma Agraria  
“ANTONIO NARRO”



Dr. Raúl Rodríguez García  
Coordinador de la División de Ingeniería  
División de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre de 2009

## **AGRADECIMIENTOS**

### ***A la SRE***

Esta tesis corresponde a los estudios realizados con una beca otorgada por la Secretaría de Relaciones Exteriores del Gobierno de México.

### ***Al Dr. Lamberto Zúñiga Estrada.***

A quien le estoy muy agradecido por su apoyo en la realización de este trabajo.

### ***Al Dr. Rubén López Cervantes.***

Por su apoyo y amistad que me ha brindado a lo largo de mi estadía en esta Universidad.

### ***A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.***

Por que a través de su cuerpo académico me han dado la oportunidad de formarme como profesionista, para poder contribuir al desarrollo agrícola de mi país, Honduras.

### ***A mis Amigos y Compañeros de Generación.***

## DEDICATORIA

### *A toda mi familia*

“A quienes les adeudo la ternura y las palabras del aliento y el abrazo, el compartir con todos ellos la factura que nos presenta la vida paso a paso”.

## ÍNDICE DE CUADROS.

	Pág.
Cuadro 1.- Porcentajes en peso seco de diferentes partes en plantas de <i>Agave Azul</i> en tres edades.....	22
Cuadro 2.- Características promedio y desviación estándar en la productividad de <i>Agave tequilana Azul</i> .....	22
Cuadro 3.- Marchites de <i>Agave tequilana</i> con relación a la fertilización.....	26
Cuadro 4.- Concentración nutrimental en hojas de <i>Agave Azul</i> .....	27
Cuadro 5.- Cantidad de nutrimentos extraídos para el cultivo de agave de seis años con una población de 3,200 plantas ha <sup>-1</sup> .....	30
Cuadro 6.- Cantidad de nutrimentos presentes en el follaje del <i>Agave tequilana</i> Weber para plantas con una edad de cinco a seis años.....	31
Cuadro 7.- Tratamientos evaluados en el experimento y su distribución en el campo.....	35
Cuadro 8.- Manejo de la cantidad de nutrimento y de agua aplicada en el Sistema de riego planta <sup>-1</sup> antes de cada muestreo en plantas de agave desarrolladas en los tratamientos de fertilización de base.....	40

Cuadro 9.- Plaguicidas que se utilizan en el combate de plagas y enfermedades del cultivo de <i>Agave tequilana</i> Azul.....	41
Cuadro 10.- Materia seca acumulada de <i>Agave tequilana</i> Weber en cinco muestreos, con seis tratamientos de fertilización de base.....	43
Cuadro 11.- Concentración de nitrógeno acumulado por la planta de <i>Agave tequilana</i> Weber, con varias dosis de fertilización de base.....	46
Cuadro 12.- Cantidad de Nitrógeno acumulado por la planta de <i>Agave tequilana</i> Weber para diferentes días de muestro después del trasplante del cultivo con varias dosis de fertilización de base.....	47
Cuadro 13.- Modelos de regresión y coeficientes de determinación ajustados del N en la MS de la planta de <i>Agave</i> , con fertilización de base.....	48
Cuadro 14.- Concentración de fosforo acumulado por la planta de <i>Agave tequilana</i> Weber, con varias dosis de fertilización de base.....	49
Cuadro 15.- Cantidad de Fosforo acumulado por la planta de <i>Agave tequilana</i> Weber para diferentes días de muestro después del trasplante del cultivo con varias dosis de fertilización de base.....	51
Cuadro 16.- Modelos de regresión y coeficientes de determinación ajustados del P en la MS de la planta de <i>Agave</i> , con fertilización de base.....	52

Cuadro 17.- Concentración de potasio acumulado por la planta de <i>Agave tequilana</i> Weber, con varias dosis de fertilización de base.....	53
Cuadro 18.- Cantidad de Potasio acumulado por la planta de <i>Agave tequilana</i> Weber para diferentes días de muestro después del trasplante del cultivo con varias dosis de fertilización de base.....	54
Cuadro 19.- Modelos de regresión y coeficientes de determinación ajustados del K en la MS de la planta de <i>Agave</i> , con fertilización de base.....	55

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estados que forman la denominación de origen del <i>Agave Azul</i> .....	21
Figura 2. Distribución de las parcelas experimentales en el campo.....	39
Figura 3. Tasa de acumulación mensual estimada de materia seca total, con diferentes dosis de fertilización de base, en cuatro etapas de desarrollo para la planta de <i>Agave tequilana</i> Weber.....	44
Figura 4. Distribución de la materia seca total, en los órganos de la planta de <i>Agave</i> desarrollada con fertilización de base.....	45
Figura 5. Acumulación de N en la MS de plantas sin fertilización de base y en el TA.....	48
Figura 6. Acumulación de P en la MS de plantas sin fertilización de base y en el TA.....	51
Figura 7. Acumulación de K en la MS de plantas sin fertilización de base y en el TA.....	55

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	3
DEDICATORIA.....	4
ÍNDICE DE CUADROS.....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
APÉNDICE.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
Objetivos.....	16
Hipótesis.....	16
LITERATURA CITADA	
Generalidades del Cultivo.....	17
Productividad.....	21
Nutrición del <i>Agave tequilana</i> .....	24
Investigaciones sobre Fertilización de <i>Agave tequilana</i> Weber.....	26
Análisis Vegetal.....	31
El Fosforo (P).....	32
El Potasio (K).....	33
MATERIALES Y METODOS	
Localización del experimento.....	34
Características Generales .....	34
Metodología.....	35

Periodos de evaluación y características evaluadas en la planta.....	36
Muestreo del tejido vegetal.....	36
Tratamiento fitosanitario. ....	39
Preparación del terreno.....	40
Fertirriego.....	40
Labores culturales.....	40

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción de Materia Seca.....	42
Acumulación de Nitrógeno en la Materia Seca.....	45
Acumulación de Fosforo en la Materia Seca.....	49
Acumulación de potasio en la Materia Seca.....	52
CONCLUSIONES.....	56

LITERATURA CITADA .....	57
-------------------------	----

A. Normal Climatológica 00028016 campo Experimental Cuauhtémoc.....61

## INTRODUCCIÓN

El agave tequilero (*Agave tequilana* Weber), tiene dos vertientes para su comercialización: la industria tequilera, donde se aprovecha la piña por su gran contenido natural de azúcar en forma de inulina o polifruktuosa, y la de artesanía, donde se aprovechan las fibras de sus hojas. La primera de ellas siempre ha tenido mayor oferta de producto, por ser una industria altamente rentable, sin embargo, la escasez de agave ha triado como consecuencia dos situaciones: la primera es que los industriales están afectados por los pagos tan altos en el concepto de la materia prima, impuestos, salarios, insumos, gastos fijos y otros. La segunda, se supone que los precios son benéficos para los productores, pero su ingreso se ve afectado por no estar dados de alta ante la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, por lo que las mayores ganancias las obtiene los intermediarios (Aserca, 2000).

El Agave tequilero, es utilizado como materia prima para la industria del tequila, la que consumió cerca de 769,000 ton en el 2006 y es una fuente de ingresos para 34,391 trabajadores; de éstos, 23,200 se dedican al cultivo del agave (12,000 son agricultores y 11,200 son jornaleros) y 11,191 están en la industria tequilera. En los últimos años la superficie del cultivo aumentó, al pasar de 23,500 ha en 1999 a 145,600 ha en 2005 y hasta mayo de 2007 las plantaciones ocuparon 122,723 ha en 117 de los 125 municipios donde se siembra agave tequilero en el estado de Jalisco (Macías y Valenzuela, 2009).

Actualmente, el Tequila se exporta a 102 países del mundo. De acuerdo con las estadísticas del Banco de Comercio Exterior y el principal comprador es EUA, porque absorbió el 76 por ciento del 2004 al 2006. En 2006 este país adquirió

106.90 millones de litros, de una producción total de 140.09 millones. Sin embargo, el 91 por ciento del tequila exportado se vende a granel y sólo nueve por ciento es envasado de origen, lo que significa que el beneficio por el envasado del producto, no se queda en el país (Conabio, 2002).

En la actualidad el cultivo del agave se ha extendido principalmente a la región de Los Altos y del sur de Jalisco, pero de acuerdo con la denominación de origen, en los 124 municipios de la entidad está permitido su cultivo. Además, la Norma Oficial Mexicana (NOM-006-SCFI-1993), se refiere a la denominación de origen que permite el cultivo en ocho municipios de Nayarit, seis de Guanajuato, 11 de Tamaulipas y 29 de Michoacán, sin embargo, las destilerías más importantes se encuentran en Jalisco y 90 por ciento de la producción se concentra en las regiones de Amatitán, Arandas, Atotonilco, El Arenal, Tepatitlán y Tequila (La Jornada, 2000).

Tamaulipas inicio oficialmente su plantación en 1996; en el estado existe desconocimiento parcial del cultivo (plagas, enfermedades, manejo general), no existe paquete tecnológico válido para el estado (investigación), por lo que los productores se han visto en la necesidad de adoptar la tecnología de las zonas productoras del estado de Jalisco. Aquí, el rendimiento y la calidad de Agave azul es limitado por: 1. Deficiente nutrición en periodos de demanda, 2. Daños por enfermedades, 3. Daños por insectos-problema y 4. Competencia con maleza.

En Tamaulipas en 1996 se produjeron 2016 toneladas, pero se redujeron 44.44 por ciento en 1997 y 40 por ciento en 1998, lo que significaron 896 y 448 toneladas, respectivamente; en ambas ocasiones muy cerca de la mitad de la

producción del año anterior. Sin embargo, en 1999 se recuperó la producción y fue de 1232 toneladas, lo que arrojó una tasa de crecimiento del 83.34 por ciento. El saldo final arroja una tasa de crecimiento total negativa de 38.89 por ciento. Los registros de la SAGAR, muestran que Tamaulipas únicamente a logrado cosechar 112 hectáreas en 1996 y 56 hectáreas en los 3 años consecutivos restantes (de 1997 a 1999), lo que significa el abasto suficiente únicamente para su industria tequilera establecida (Aserca, 2000).

Tamaulipas (a partir de 1977 puede producir tequila), forma parte del contexto nacional tequilero donde participa con una producción de 312 millones de litros anuales. Once municipios con denominación de origen (derecho internacional que permite producir y transformar el producto llamado tequila), con superficie de 12 mil 922 hectáreas de *Agave Tequilana* Weber Azul y cosecha de 1, 125,000 toneladas. La mayor concentración de la superficie cultivada de agave se localiza en los municipios del Sur de Tamaulipas como González, Xicoténcatl, Mante, Llera, Altamira, Aldama, Antiguo y Nuevo Morelos, Gómez Farías, Ocampo y Tula (Periódico, Hoy Tamaulipas 2009).

El nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), son los principales elementos nutrimentales para la producción del Agave azul, sin embargo, el K es el principal responsable del transporte de los azúcares que el Agave tequilana Weber, elabora en sus pencas y que son movilizados a la piña para ser almacenados (Cruz, 2002).

Debido a que existe poca información acerca de la modificación en la fertilización de *Agave tequilana*, se pretende implementar una tecnología económica,

para el mejor manejo de la nutrición con impacto en la productividad, en el tiempo de cosecha de la planta y que pueda ser implementada por los agricultores dedicados a este cultivo, sin olvidar las características climáticas y edafológicas de los municipios mencionados del sur de Tamaulipas.

Palabras clave; Agave Tequilero, Biomasa y Fertilización Química.

## **OBJETIVOS**

Determinar la acumulación de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en la materia seca y su tasa de acumulación en el *Agave tequilana* Weber Azul, para el óptimo crecimiento.

## **HIPÓTESIS**

Con la aplicación de fertilizantes químicos a diferentes dosis, se incrementa el contenido de N, P y K en la materia seca y la tasa de acumulación de ésta, en el *Agave tequilana* Weber Azul y por lo tanto el crecimiento de la planta.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Generalidades del Cultivo

El agave tequilero (*Agave tequilana* Weber), tiene su centro de origen en México, debido a que en esta región se encuentra la mayor variabilidad y número de especies (Secretaría Ejecutiva de Planificación Sectorial Agrícola-SEPSA, 1999). El género *Agave* fue el principal elemento en la dieta de los primeros mexicanos, desde el año 7,000 A. de C. hasta el año 1,500 A. de C.; además de alimento, los Agaves les proporcionaban fibras, bebida, abrigo y productos misceláneos naturales (Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey-ITESM, 2000).

El *Agave tequilana* botánicamente pertenece al Reino Plantae, División Angiospermae, Clase Monocotyledoneae, Orden Liliales, Familia Agavaceae, Subfamilia Agavoideae, Género *Agave*, Subgénero *Euagave*, Sección *Rigidae*, Especie *Tequilana* Weber (Granados, 1993).

El género *Agave*, que significa “noble” (del griego *agaue*), fue descrito por primera vez por el botánico sueco y padre de la taxonomía moderna, Carlos Linneo. *Agave* es el género más importante en la familia monocotiledónea *Agavaceae* y tiene 136 especies.

Las características morfológicas del *Agave tequilana* Weber Azul, se determinan por ser una planta suculenta de dimensiones cercanas a 1.5 metros de alto por 1.5 metros de diámetro; sus necesidades de agua son moderadas una vez que está establecida en el campo, requiere de exposición plena al sol; su reproducción es por rizomas a partir del cuarto año y en su madurez emite un largo

meristemo apical en forma de espiga, que al florear y producir semillas, la planta muere (Cámara regional de la industria del tequila CRIT, 1997). Presenta hojas color azul-verdoso o glaucas, delgadas y casi planas, de 1.25 m de largo y 8 a 10 cm de ancho; la espina terminal es de color rojo oscuro, de 2 cm; los dientes son rojizos triangulares, de 3 a 4 mm y separados a una distancia de 1 a 1.5 cm, el margen que los une es ligeramente blanquecino. El tiempo que tarda en llegar al estado de madurez industrial, es aproximadamente de 6 a 8 años (Granados, 1993). Las flores son blanco-amarillento, en forma de panícula piramidal que aparece en la extremidad del “quiate”. El fruto es una cápsula triangular con numerosas semillas (CRIT, 1997).

Los agaves son plantas que pueden tolerar prolongados periodos de sequía, dicha tolerancia está influida por su morfología (forma externa), su anatomía (forma interna, como tamaño y forma de células) y su fisiología. Ciertos agaves, bajo condiciones adecuadas, pueden producir más biomasa que esencialmente todas las plantas cultivadas (Nobel, 1998).

A finales del siglo XIX el botánico alemán Franz Weber, inició sus investigaciones sobre el agave azul en Tequila, Jalisco y en 1903 registró esta variedad de mezcal como *Agave Azul tequilana* Weber, la que actualmente es reconocida como materia prima indispensable de esta bebida. Los nahuas definían a esta planta monocotiledónea como metl o mexcalmetl, como lo registraron los españoles en el siglo XVI, pero así llamaron a todas las variedades de mezcal.

A mediados del siglo XVIII, el naturalista sueco Carlos de Linneo, definió a los magueyes como agaves o agaváceas. Los indígenas obtenían del agave un líquido

cristalino y viscoso (mieles), dulce y ligeramente astringente, al que los españoles llamaron aguamiel, pero cuando lo sometían a fermentación, se encontraron con que formaba una serie de alcoholes altamente embriagantes (La Jornada, 2000).

Valenzuela (2003), dice como en el territorio nacional existen alrededor de 135 especies de agaves o magueyes, específicamente del *Azul tequilana* Weber, del que se extraen las mieles para su destilación y como producto se obtiene el tequila. Según los historiadores, esta bebida empezó a fabricarse hace unos 380 años en el valle de Tequila, de donde tomó su nombre, pero en forma organizada se inició el proceso hace 200 años, aproximadamente. La voz tequio se utilizaba para aludir al esfuerzo, al trabajo o tarea, referida en forma específica al lugar donde se trabaja. Los nativos de Tequila prefieren la versión que argumenta, relacionarla con la piedra de obsidiana, que es tan filosa como esta bebida y corta las gargantas a su paso.

En el siglo XIX el tequila llegó a su apogeo, pues se cultivaban 60,000 hectáreas de mezcal azul y la comercialización del producto mejoró gracias al ferrocarril. Los sistemas establecidos por comisionistas y las ferias de San Juan de los Lagos y de San Marcos, dieron mayor promoción a la bebida jaliscense. También se exportaba tequila a Estados Unidos, en la década de 1870 hacia 1873, la exportación a ese país alcanzaba el 80 por ciento de la producción. Los avances tecnológicos en el proceso industrial, se enfocaron a la mejora de los hornos de mampostería y al proceso de destilación y gracias a esto, el tequila dejó de tener la cocción típica de los mezcales (bebidas de México) en los hornos bajo tierra y por lo tanto, el sabor del agave ahumado. El ciclo vegetativo es lento desde la siembra a la cosecha, ya que es de 6 a 8 años o más. Económicamente es muy importante este

cultivo, pero no fue hasta la epoca de los años 90's en donde se inició la investigación enfocada a su conservacion, por ello instituciones como el Consejo Regulador del Tequila y el Gobierno Federal, apoyan dicha causa (Valenzuela, 2003).



Figura 1. Estados que forman la denominación de origen del Agave Azul.

La investigación mas importante de la ultima decada (1991-2001) para la industria del tequila, está enfocada a las labores culturales, control de plagas y enfermedades, como larvas de gallina ciega (*Anomala sp.*, *Ciclocephala ssp.*, *Macroductylus spp.* y *Phyllophaga spp.*) y diabrotica (*Diabrotica spp.*), barrenador (*Acentrocne me hesperiaris*), picudo o mayate negro (*Scyphophorus acunpunctatus*), algodoncio o piojo arinoso (*Planococcus harinoso*), enfermedades como secadera o

secazón causada por *Erwinia sp.*, y pudriciones blandas del tallo o cogollo causadas probablemente por un hongo del genero *Phytophthora sp.* (Valenzuela y López, 1989).

Todos los parámetros ambientales tienen repercusiones en la fisiología de la planta. Novel y Valenzuela (1987), en estudios a *Agave tequilana*, observaron que esta tiene el metabolismo ácido de las crasuláceas como otros agaves, ya que el 87 por ciento de la toma de CO<sub>2</sub> ocurre en la noche; además, determinaron aumento en la acidez titulable nocturna. La temperatura media anual del aire en Tequila, Jalisco, fue de 15 a 30° C, aproximadamente. La acumulación nocturna de ácidos y el incremento con el total del día, corresponden al Sistema de Radiación Fotosintética Activa (RFA) incidente en las hojas, el que fue del 90 por ciento como máximo a 22 mol RFA m<sup>2</sup>. La RFA fue un factor ambiental limitante para la acumulación nocturna de ácidos en *A. tequilana*. El producto de los índices de temperatura, RFA y humedad, fueron determinantes en el índice de productividad ambiental. Cuando el índice fue mayor de 0.2, se observa que cuatro o más hojas se extienden mensualmente de la espina central de la roseta, sin embargo, cuando el índice fue menor a 0.1, generalmente pierde alrededor de la mitad de sus hojas extendidas.

### **Productividad**

Valenzuela, (1994), estudió la productividad del Agave Tequilero, dicho estudio consistió en la separación de las diferentes partes de la planta, así: las hojas las dividieron en las envueltas en el cogollo o cono central, las desenvueltas en sus

diferentes estratos, las secas y las muertas; el tallo fue considerado como la cabeza por completo; las raíces, rizomas e hijuelos también fueron partes consideradas.

Conforme avanzó la edad de la planta, estas adquirieron mayor porcentaje de peso seco de la cabeza. Los porcentajes, sugieren un crecimiento más acelerado en las dos primeras edades; mientras que en las últimas decrece el peso de las hojas, raíces e hijuelos para concentrarse en la cabeza. El crecimiento en número de hojas vivas y desenvueltas, su longitud y el incremento del peso seco en éstas varía con la edad (Cuadros 1 y 2).

Cuadro 1.- Porcentajes en peso seco de diferentes partes en plantas de *Agave Azul* en tres edades.

	E d a d (años)		
	1	2	3
Hojas vivas (%)	66.0	56.7	55.0
Cono central (%)	4.5	7.2	6.8
Hojas muertas (%)	9.9	9.4	9.3
Tallo (%)	7.4	9.2	14.2
Raíces (%)	12.2	11.1	10.3
Hijuelos mas rizomas (%)	0.0	6.4	4.5

Fuente: Valenzuela, (1994).

Cuadro 2.- Características promedio y desviación estándar en la productividad de *Agave tequilana*.

Cantidad por planta	E d a d (años)					
	1	2	3	4	6	7
Número de hojas vivas	13±2	22±5	41±8	61±7	114±11	126±10
Longitud de hojas vivas	41±5	57±6	76±6	90±7	121±11	129±10
Peso seco de hojas vivas (kg)	0.086	0.361	1.49	3.47	14.2	18.1
Peso seco total de la planta (kg)	0.130	0.547	2.63	6.13	25.8	32.9
Producción (peso seco) en kg por m <sup>2</sup> por año	2.49		2.24		2.11	

Fuente: Valenzuela, (1994).

Con base en una fracción vegetal, Valenzuela (1994), evaluó el peso seco de la hoja en función de la extensión total de la hoja macerada y encontraron que para plantas de 1, 3 y 6 años de edad, el peso seco fue de 2.49, 2.24 y 2.11 kg m<sup>-2</sup> año<sup>-1</sup>, respectivamente. Esto es alto comparado con los valores que reportan plantas de tipo MAC y para muchas plantas de cultivo con vía C3 y C4 (rangos del orden de 2.3 kg. m<sup>-2</sup> año). Las raíces de los agaves tienden a estar a poca profundidad en suelos porosos y arenosos lo cual facilita la absorción del agua cuando hay lluvias ligeras. Además, estudió durante un año la relación de la humedad, la temperatura y la radiación solar necesaria, para determinar la productividad del cultivo y encontró que durante los meses de junio a noviembre, las condiciones de humedad en la región de Tequila, fueron favorables para el cultivo. Esto concuerda con el periodo de lluvias de la región y con el almacenamiento de humedad en el suelo. En cuanto a la temperatura, este fue un factor igualmente aceptable durante casi todos los meses, sin embargo, las más altas temperaturas presentes, fueron de mayo a junio y las más bajas de diciembre a enero, las que originaron reducción en la productividad de la planta. El factor ambiental que se mostró limitado por más tiempo fue la RFA, el que resultó aceptable para abril y mayo, pero decayó durante el resto del año por la nubosidad, los cambios estacionales de la trayectoria solar y el incremento del área foliar.

El *Agave tequilana*, tiene óptimo desarrollo en suelos de origen volcánico; no requiere de gran cantidad de humedad para su desarrollo, más aún necesita de un periodo seco para incrementar su concentración de azúcares (Valenzuela, 1997). El agave se desarrolla en sitios que no se encuentran expuestos a cambios bruscos de temperatura, con una media cercana a los 20° C; las lluvias deben ser

aproximadamente de un metro anual; la falta de agua provoca que la planta tarde más tiempo en madurar y por el contrario, el exceso reduce el contenido de azúcares; la altitud media debe ser cercana a 1,500 msnm y con cielo nublado entre 65 y 100 días del año (Claridades Agropecuarias-Aserca, 2000).

Los azúcares libres como la glucosa y la fructuosa, se encuentran en bajas concentraciones en plantas maduras y no presentan grandes variaciones en su concentración a lo largo del ciclo de vida del agave. Por lo general, se encuentran en las vainas de las hojas (periferia de la cabeza) y estos azúcares son los responsables de originar el tequila (Méndez, 1999). Nobel (1998), menciona que los azúcares se distribuyen como sacarosa por el floema, de las hojas hacia la raíz en las plantas de agave y cactus, los que son utilizados por la mitocondria para producir ATP, por vía de la respiración en los cloroplastos de las células del clorénquima durante la fotosíntesis o bien se pueden convertir en compuestos que llegan a ser parte del peso seco de la planta.

### **Nutrición del *Agave tequilana***

Por lo general, las plantaciones nuevas no son fertilizadas, pues la fertilización algunos productores la consideran como un lujo o un desperdicio, aunque las aplicaciones de abonos orgánicos dirigidas a la cepa de plantación, en la región de los altos de Jalisco, suelen ser frecuentes (Valenzuela, 1994). El análisis de suelo previo, marca la pauta en cuanto a la dosis de fertilizante que es necesario aplicar. La práctica de fertilizar el cultivo de agave, probablemente se inició en la década de los años 60, aunque no existen investigaciones publicadas al respecto. La información disponible sobre nutrición ha llegado en forma de reportes técnicos

que no explican procedimientos, ni confirman los incrementos esperados por efecto de la fertilización. Las dosis de fertilizantes y abonos orgánicos, corresponderán a las necesidades del cultivo y al contenido de nutrientes del suelo donde se desarrolla, pero no se recomiendan dosis específicas (Valenzuela, 2003).

Para conocer la problemática de la fertilización y el uso de fertilizantes en este cultivo, Valenzuela *et al.* (1990), realizaron encuestas entre productores de las Regiones de Los Altos y de Tequila, Jalisco, mediante un diseño de muestreo estratificado y un muestreo irrestricto aleatorio dentro de los Estados y se desprenden las siguientes conclusiones:

La mayoría de los productos del agave (96 %) fertilizan y los fertilizantes nitrogenados (N), son los que más se aplican durante todo el ciclo del cultivo. El fósforo (P) y el potasio (K), son aplicados por algunos productores en los primeros años y complementan estos agroquímicos con estiércoles de bovino, cerdo y gallina.

Estos mismos investigadores, comentan que los fertilizantes usados son aquellos que se encuentran disponibles en la región. Así, la aplicación de los fertilizantes es manual y el 80 por ciento de los productores los dirigen al cogollo, en ambas regiones. Las dosis empleadas se miden por lo que cabe en una mano (puñados). Las cantidades de fertilizante por planta varían mucho, pues los jornaleros que realizan el trabajo, pueden ser desde jóvenes de trece años, hasta hombres de edad avanzada.

También, la mayoría de los productores (82 %), opinan que la fertilización es benéfica para el cultivo, pero desconocen los incrementos reales que se alcanzan

con esta práctica. Además, no saben si están aplicando las dosis adecuadas. La dificultad para evaluar la productividad sin destruir las plantaciones, es la razón de que ignoren los beneficios que obtienen.

Una década después Aceves *et al.* (2001), investigaron los sistemas de producción de agave y su relación con las enfermedades y encontraron que del 13 al 15 por ciento de los predios de agave, se encalan y que la aplicación de productos al suelo, se realiza sin asesoría técnica. Los autores enfatizan el uso inadecuado de fuentes de abono y fertilizantes, como una constante entre agaveros de Jalisco. En el Cuadro 3, se observa el acentuado daño por marchites en la zona de Tequila, con mayor antigüedad en el cultivo de agave, por el menor uso de fertilizantes.

Cuadro 3.- Marchites de *Agave tequilana* con relación a la fertilización.

Región	Plantas por ha <sup>-1</sup>	Presencia de marchites (%)	Productores fertilizan (%)	Producto/frecuencia
Tequila (centro)	3,387	19.85	23	Urea/15 % 18-46-00/4 % Estiércol /4 %
Los Altos	4,527	9.82	70.45	Urea/39 % Sulfato Amonio/25 % 18-46-00/14 % Nitrato Amonio/11 % Estiércol/9 %

### **Investigaciones sobre Fertilización del *Agave tequilana***

Las plantas fertilizadas de dos años de cultivo con desarrollo óptimo, llegan a contener en sus hojas 1.284 por ciento de nitrógeno, 0.210 por ciento de fósforo, 1.987 por ciento de potasio y 3.846 por ciento de calcio, bajo condiciones naturales de cultivo (Osawa, 1979). Lo anterior no está lejos de lo encontrado por Nobel

(1988), una década después: 1.47 por ciento de nitrógeno, 3300 ppm de fósforo, 2.97 por ciento de potasio y 5.33 por ciento de calcio, este último sin mencionar la edad de la plantación y su ubicación. Este mismo autor, solo que en el año de 1989, dice que los contenidos de N, P, K, Ca y Na, presentes en el suelo y procesados como índices, se relacionan estrechamente ( $r^2 = 0.96$ ) con las hojas que producen plantas de *Agave tequilana* de dos años de cultivo en la región de Tequila; mientras que para Valenzuela (2003), los niveles subóptimos de nitrógeno redujeron el índice y se concluyó, que este nutrimento afectó fuertemente la productividad de hojas ( $r^2 = 0.91$ ) (Cuadro 4).

Cuadro 4.- Concentración nutrimental en hojas de *Agave Azul*.

Nutrimento	Concentración (%)	
	Osawa (1979) (Plantas de 2 años)	Nobel (1988)
Nitrógeno	1.28	1.47
Fósforo	0.21	0.33
Potasio	1.99	2.97
Calcio	3.85	5.53

López (1990) experimentó con fertilización completa de N, P y K sobre agave de dos años de cultivo y no encontró efecto significativo alguno. Valenzuela (1992), evaluó 14 tratamientos de fertilización N, P y K, durante dos temporadas de lluvias (1987 y 1988), con dos formas de aplicación (suelo y cogollo), en plantas de un año de establecidas. De esta investigación se desprenden, entre otras, las siguientes conclusiones:

a) Las formas de aplicar los fertilizantes tienen diferentes efectos nutrimentales. Cuando se fertilizó al cogollo, éste presentó respuesta tardía y pérdida de N; mientras que con la fertilización al suelo, hay interacción de los tres

nutrimentos en el órgano vegetal, mayor incremento en el desarrollo general de la planta y la producción de “cabeza”.

b) La medición de las hojas que desenvuelven del cogollo, es la variable que evidencia con mayor rapidez el crecimiento y por lo tanto, la respuesta de la planta a la fertilización. Con esta variable se estimó el rendimiento en “cabeza” de los tratamientos de fertilización.

c) El tratamiento más rentable fue 80-00-30, casi similar en su rendimiento al 120-80-60, ambos aplicados al suelo. Con el tratamiento 80-00-60, se incrementó el crecimiento en los primeros diez meses de evaluación, el que fue de 31 por ciento (casi medio kilogramos por planta) más que el testigo sin fertilizar.

d) Este trabajo propone técnicas y métodos de evaluación que no se han manejado en otros estudios y constituye una base para fomentar investigaciones posteriores.

Valenzuela (1992), establece que la formula de fertilización no puede hacerse extensiva a los cultivos de todas las regiones, pero se contribuye al conocimiento de la respuesta del *Agave tequilana* a la fertilización. Los métodos mas acertados en la generación de formulas de fertilización, son aquellos que identifican las necesidades nutrimentales de la planta, la reserva de nutrimentos en el suelo y la eficiencia de los fertilizantes que se aplican. Posteriormente, las formulas de fertilización deben ser evaluadas en diferentes regiones. Rendón (1991), recomendó la fertilización con N, P y K de 40-20-40 para plantaciones iniciales; en mezcaleras de uno a tres años de 40-30-10; de tres a seis años de cultivo fue la 60-30-10 y para plantaciones mayores

de seis años la 20-40-10. En su reporte de estudio, no menciona las variables evaluadas ni los requerimientos obtenidos.

La investigación sobre la nutrición del *Agave tequilana*, exige un proceso largo y requiere de técnicas no destructivas y novedosas de rápida evaluación. Hasta ahora sabemos los fenómenos que ocurren con los suelos agaveros, en donde predomina la pérdida de cationes, la acidificación y la necesidad de aplicaciones de nitrógeno. Para cada caso de explotación agrícola, es necesario formular de acuerdo a los análisis de suelo y ajustar con respecto a su rentabilidad económica, los tratamientos de fertilización más adecuados (Valenzuela, 2003).

Este último autor, continúa al decir que la nutrición es un proceso evaluable y mejorable. Los resultados que las plantas presentan por efecto de la fertilización después de la lluvia, es un proceso poco explorado por los agricultores independientes. Lo recomendable, primero es conocer el análisis del suelo; segundo, los procesos que en el se dan y las posibles opciones de la nutrición, aunadas a las prácticas de conservación y tercero, evaluar los beneficios en crecimiento, azúcares, peso, el costo de los tratamientos de los fertilizantes utilizados, escala de productor y tipo de suelo.

El Agave es un cultivo capaz de adaptarse en suelos delgados, poco profundos, pedregosos e inapropiados para otros cultivos, sin embargo, no por eso debe creerse que es un cultivo de bajo requerimiento de nutrientes. En suelos con alto contenido calcáreo y provisto con buen contenido de nutrientes, se alcanza alta calidad y rendimiento. Suelos arenosos muy pobres, pueden proporcionar

rendimientos remunerativos, solo si se fertilizan con potasio y cal. La extracción total de nutrimentos estimada que realiza la planta durante su periodo de aprovechamientos de seis años y para una población de 3200 plantas.ha<sup>-1</sup>, se presenta en el Cuadro 5 (Valenzuela, 2003).

Cuadro 5.- Cantidad de nutrimentos extraídos para el cultivo de Agave de seis años.

Nutrimentos	kg de nutrimentos ha <sup>-1</sup>
N	284
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	108
K <sub>2</sub> O	84
Ca	780

La elevada extracción de calcio (Ca), implica el porqué esta planta rinde bien en suelos especialmente calizos y con pH entre 7.0 y 8.0. Una deficiencia de Ca puede causar síntomas posiblemente de virus (moteado de hoja), así mismo, la pudrición del tallo está asociada con la mala nutrición en base a este elemento. La adecuada fertilización potásica, constituye una buena alternativa para lograr plantas sanas, piñas o “cabezas” con mayor contenido de azúcares y menor dureza de sus fibras (Chirinos, 2000). Cada año se fertiliza en tres ocasiones, dos de ellas con compuestos químicos y una con abono orgánico, el cual se mide por paladas. La fertilización con productos químico, se realiza en forma manual (Aserca, 2000).

Laboratorios A & L (2000), basándose en numerosos análisis foliares, establecen los rangos normales que debe presentar la planta de *Agave tequilana*, cuando se encuentra bien nutrida y con un perfil óptimo de rendimiento. Para plantas de 5 a 6 años de edad (Cuadro 6).

Cuadro 6.- Cantidad de nutrimentos presentes en el follaje del *Agave tequilana* Weber para plantas con una edad de cinco a seis años.

Nutrimentos	% planta <sup>-1</sup>	Nutrimentos	mg planta <sup>-1</sup>
Nitrógeno	1.5-3.50	Fierro	500-200
Fósforo	0.10-0.20	Manganeso	30-100
Potasio	1.80-3.00	Cobre	8-20
Calcio	3.0-4.0	Zinc	15-50
Magnesio	0.50-1.0	Boro	20-80
Azufre	0.1-0.25		

### Análisis Vegetal

El crecimiento, desarrollo y producción de las plantas agrícolas requieren un suministro continuo y adecuado de elementos nutrimentales esenciales, pero si éste es limitado, el crecimiento de la planta se retrasa o detiene y en última instancia resulta en desórdenes nutrimentales y fisiológicos. El análisis vegetal es una técnica de diagnóstico que permite el uso del contenido mineral de las plantas, como indicador de su situación nutrimental fisiológica asociada al logro de los rendimientos y mejores características de calidad del producto cosechado, en relación con el grado de abastecimiento y disponibilidad nutrimental del suelo. El análisis de suelo indica disponibilidad relativa de nutrimentos para uso del cultivo; el análisis vegetal indica cuáles y cuánto de los nutrimentos han sido absorbidos por la planta. Las hojas se consideran el centro de la actividad fisiológica y los cambios de la nutrición mineral, se reflejan en las concentraciones de nutrimentos. Es importante considerar que el contenido mineral de las plantas es influenciado por diversos factores: de la planta, de las propiedades del suelo, de las condiciones climáticas y del manejo agronómico (Castellanos *et al.* 2000).

## El Fósforo (P)

Las plantas absorben la mayoría del P como el ion ortofosfato primario ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ). Las plantas también absorben pequeñas cantidades de P como ion ortofosfato secundario ( $\text{HPO}_4^-$ ). El pH del suelo, influye en gran parte en la absorción de estas dos formas de P por la planta. Las plantas pueden utilizar otras formas de P, pero en menores cantidades que el ortofosfato. Las concentraciones más altas de P en plantas jóvenes se encuentran en el tejido de los puntos de crecimiento. Debido a que el P se mueve rápidamente de los tejidos viejos a los tejidos jóvenes, las deficiencias aparecen primero en las hojas de las partes bajas de la planta. Un aspecto importante de los suelos con buen contenido de P, es la influencia que esta condición tiene en la absorción de P por los cultivos durante los períodos de estrés de humedad. A medida que las plantas maduran, la mayor parte del P se mueve a las semillas o al fruto (AGROPECT Star, 2002).

El fosfato se retiene firmemente en el complejo mineral del suelo en la misma forma que el potasio y su adsorción por las plantas tal vez sea obstaculizada por un exceso de Ca. El P como el nitrógeno, es muy importante como parte estructural de muchos compuestos, principalmente ácidos nucleicos y fosfolípidos. Además, el P desempeña una función indispensable en el metabolismo energético; la elevada energía de la hidrólisis del pirofosfato y diversos enlaces de fosfato orgánico, se utilizan para impulsar reacciones químicas (Bidwell, 1979).

## **El Potasio (K)**

Se considera un elemento esencial para las plantas, ya que tiene una influencia directa sobre el metabolismo de estas, de manera que su presencia resulta determinante para continuar el ciclo biológico y no puede ser reemplazado por otro en su acción (Pérez *et al.* 1994). Además, es vital para la fotosíntesis, ya que cuando existe deficiencia de K, la fotosíntesis se reduce y la respiración de la planta se incrementa. Estas dos condiciones (reducción en la fotosíntesis e incremento en la respiración), están presentes cuando existe deficiencia de K, reduciendo la acumulación de carbohidratos, con consecuencias adversas en el crecimiento y producción de la planta ( AGROPECT Star, 2002).

El K, es un activador de las enzimas que son necesarias para sintetizar almidón y proteínas; contribuye de manera importante al potencial osmótico de las células y por consiguiente a su presión de turgencia (Salisbury y Ross, 1994). Además, es importante en la descomposición de carbohidratos, un proceso que provee de energía a la planta para su crecimiento, ayuda a controlar el balance iónico, es importante en la translocación de metales como el hierro (Fe), ayuda a la planta a resistir los ataques de plagas y enfermedades, mejora la resistencia de la planta a las sequías y heladas, está involucrado en la activación de más de 60 sistemas enzimáticos que regulan las principales reacciones metabólicas de la planta (AGROPECT Star, 2002).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización del Experimento**

La presente investigación se desarrolló en el Campo Experimental “Las Huastecas” (CEHUAS), del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en el km 55 de la carretera Tampico- Mante, municipio de Altamira, Tamaulipas y se localiza a los 22° 35´ de latitud norte y 98° 10´ de longitud oeste, a la altura de 60 m. s. n. m. (INIFAP-CESTAM, 1999).

### **Características Generales de la Región**

En la región sur del Estado de Tamaulipas, en donde se ubica el CEHUAS, predomina el clima cálido húmedo, con variaciones debido a altitudes y conformaciones topográficas; el clima húmedo y semi-húmedo, se presenta a lo largo de la vertiente Este de la Sierra Madre Oriental y costa cercana a ella.

En la región, predominan los suelos profundos y arcillosos, en general aptos para la agricultura y ganadería, ocupan el 60 por ciento del total de la superficie Estatal. También existen suelos aluviales, localizados en los márgenes de los ríos y equivalen al 15 por ciento y Leptosoles rendzicos, suelos poco profundos, que comprenden a las áreas de topografía accidentada, en un 25 por ciento de la superficie. Los suelos arcillosos presentan un perfil profundo de más de 50 cm, encontrándose en primer término el vertisol pélico, los que contiene más del 30 por ciento de arcilla, principalmente del tipo de la motmorillonita. A menudo, los vertisoles tienen un color bastante oscuro, algunas veces negro y presentan un pH de alrededor de 8.2. Estos suelos presentan grietas periódicamente de un promedio de 50 cm de

profundidad y 1 cm de ancho, en la época de sequía; también presenta relieve “gilgai” que consiste de la formación en la superficie de bolsas y pequeñas depresiones.

### Metodología

Una fertilización de base con 0, 150 y 300 kg.ha<sup>-1</sup> de fósforo (P) y 0, 250 y 500 kg.ha<sup>-1</sup> de potasio (K), fue realizada. El nutrimento nitrógeno (N) no se aplicó, porque los tratamientos de P y K contienen N en diferentes cantidades y los valores generados fueron medidos de manera similar a los determinados por el P y K. Los tratamientos y sus niveles de estudio, se muestran en el (Cuadro 7).

Cuadro 7.- Tratamientos evaluados en el experimento y su distribución en el campo.

Tratamientos	P (kg.ha <sup>-1</sup> )	K	Parcelas
1	0	0	1, 5, 11
3	0	250	2, 16, 27
4	150	0	14, 19, 21
6	150	500	3, 7, 15
9	300	500	6, 18, 25

Como fuente de fósforo se utilizó el Monofosfato de Amonio (11-52-00) y de potasio Nitrato de Potasio (13-00-44). Los tratamientos de fertilización de base recibieron también una tonelada de fertilizante órgano-mineral (500 kg de P y 500 kg de K), enriquecida con sulfato de Magnesio (Mg), Hierro (Fe) y Zinc (Zn) a dosis de 5 kg.ha<sup>-1</sup> de cada uno de estos micro-nutrientes.

## **Periodos de Evaluación y Características Evaluadas en la Planta**

La medición de las variables morfológicas, fue en cinco ocasiones después de establecido el cultivo y las características evaluadas: producción de materia seca en los diferentes organos del Agave, como el cogollo, el follaje, la piña, la raíz, los hijuelos y el total para toda la planta; altura de planta; cantidad de hojas; número de raíces; número de hijuelos; diametro de piña y de planta y concetracion de azúcares (°Brix).

Los periodos de evaluacion se realizaron en cinco etapas de desarrollo del cultivo: el primero se realizó a los 133 días después del transplante; el segundo a los 279 días después del transplante; el tercero a los 521 días después del transplante; el cuarto a los 859 días después del transplante y el quinto a los 1224 días después del transplante.

## **Muestreo del Tejido Vegetal**

Una planta al azar, fue colectada, ésta se localizo en el segundo o quinto surco (la parcela constó de seis surcos), es decir, el surco dos se localizó en el oeste de la parcela y el surco cinco en el este, para cada una de las 15 parcelas, las que constituyeron el total del experimento. La planta fue extraída del suelo con una pala y se tomó con sumo cuidado para no destruir la raíz, se lavó con agua, se midió la altura y radio, así como también el número de hojas y se separaron los órganos de ella. Como se puede observar, el muestreo es destructivo y se colectaron diversos órganos de cada planta, como son el follaje, el cogollo, la piña, las raíces y los hijuelos, lo cual proporcionó 12 muestras.

Una vez obtenidas las plantas limpias, se efectuó lo siguiente: Corte y secado. Tres hojas por planta fueron seleccionadas, una superior, otra media y la última inferior, con relación a su posición en la piña. Las hojas se dividieron en dos grupos, hojas semi seca que tienen partes verdes y secas, hojas verdes completamente. A estas últimas se les midió el peso fresco, se cortaron en pedazos de 3 a 4 cm, posteriormente se colocaron en la estufa de aire forzado a 70°C, hasta obtener peso constante (72 horas). Finalmente se molieron en un molino tipo Willey malla 60. Las muestras así molidas, se guardaron en un sobre de papel a temperatura ambiente para su análisis posterior en el laboratorio.

Las raíces se separaron por su color: las de color blanco asociadas generalmente a las activas y las raíces café inactivas, son las raíces que ya no tienen la función de alimentar a la planta, si no de sostén, estas raíces están prácticamente secas. Después de identificar cada una de las raíces, se separaron, midieron y se tomó el peso fresco en una balanza electrónica de precisión. Después de pesarse, las raíces se empaquetaron en bolsas de papel y etiquetando debidamente la muestra y se colocó en una estufa a secar.

El cogollo se separó de la piña, se dibujó en hojas de papel y obtuvo el peso húmedo. En la parte inferior se hizo un corte de 4 cm aproximadamente, utilizándose para la extracción de jugo y determinación de °Brix. Posteriormente, se cortó el cogollo en pedazos pequeños y se colocó en bolsas de papel identificando previamente en la bolsa el número de parcela.

En la piña se determinó el peso húmedo, el diámetro polar y ecuatorial; se cortó la piña en dos partes y a una mitad de la piña, se le tomaron 3 muestras en el centro con un sacabocados, con total de 50 g de materia fresca que se puso en una bolsa de papel estraza y a la otra mitad de la piña se le tomaron 3 muestras en la parte superior, media e inferior. A las muestras se les extrajo jugo, para determinar la concentración de azúcares (°Brix), con el refractómetro, las muestras se colocaron en la estufa y se pusieron a secar aproximadamente a 70 °C. Una vez secas las muestras, fueron molidas para el análisis de éstas.

El análisis del tejido de los diversos órganos del vegetal, consistió en la determinación del nitrógeno por el Método de Kjeldahl (Bremner, 1965), el fósforo por Fotocolorimetría (Allen, 1971) y el potasio (Espectrofotómetro de Absorción Atómica).

El experimento se distribuyó de acuerdo al Diseño Experimental de Bloques Completamente al Azar con tres repeticiones. Los fertilizantes adicionados fueron a base de fósforo y potasio, lo cual originó cinco tratamientos; éstos fueron fertilización de base con los nutrimentos comentados, lo cual configuró un total de 15 parcelas y un testigo absoluto (sin fertilización, ni agua de riego). El análisis estadístico consistió en el análisis de varianza (ANVA) y la comparación de medias, mediante la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ), para lo cual se empleó el programa para computador Statistical Analysis System (SAS).

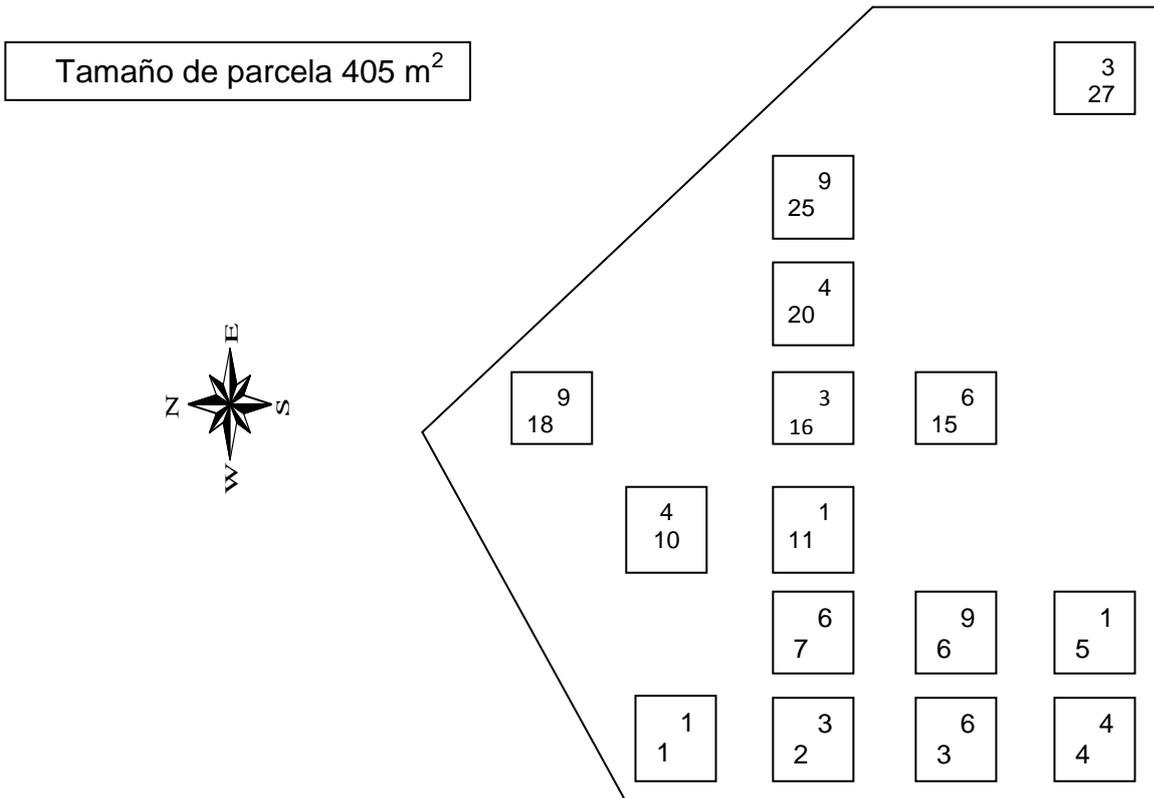


Figura 2. Distribución de las parcelas experimentales en el campo.

La parcela experimental se formó de 405 m<sup>2</sup> (18 m x 22.5 m), en las cuales se establecieron seis hileras de plantas y 16 plantas por hilera. En cada parcela se establecieron 96 plantas. Con una distancia entre hilera de 3 metros y 1.5 m entre plantas.

### Tratamiento Fitosanitario

La planta madre de *Agave tequilana* Weber, Variedad azul, con hijuelos de dos años de edad, fue originaria del Estado de Jalisco. Una vez que se contó con la planta, se procedió a revisión de la sanidad con el fin de detectar plantas infectadas de hongos o patógenos. Una vez efectuado lo anterior, las plantas se sumergieron en una solución de curamicín 500 (estreptomicina) al 0.6 por ciento, para controlar la

podredumbre bacteriana (*Erwinia carotovora*) con dosis de 1.6 kg, para tratar 2,200 plantas ha<sup>-1</sup>.

### Preparación del Terreno

El terreno se barbechó, rastreó dos veces y se formaron surcos a un metro, posteriormente y justo donde quedaría la planta, se aplicó el fertilizante de base y se rajó el bordo, de tal manera que el fertilizante quedó en el fondo del bordo, donde se trasplanto el cultivo.

### Fertirriego

Cuadro 8.- Manejo de la cantidad de nutrimento y de agua aplicada en el sistema de riego planta<sup>-1</sup> antes de cada muestreo en plantas de Agave desarrolladas en los tratamientos de fertilización de base.

	Días después del trasplante				
	133	279	521	859	1224
AGUA					
Precipitación (mm)	317.8	423.0	474.6	ND	ND
No. Riegos	0	0	16	53	81
L planta <sup>-1</sup> aplicados	0	0	212.0	367.7	779.7
NUTRIMENTOS					
N	0	0	10.4	65.1	160.8
P	0	0	1.4	27.9	37.9
K	0	0	29.2	61.4	119.2
Ca	0	0	0.0	10.3	41.3
Mg	0	0	1.9	11.0	29.4

### Labores Culturales

Para controlar la maleza, después del trasplante se aplicaron 3 litros.ha<sup>-1</sup> del herbicida Combine 500 (thebutiuron). Las principales plagas que afectan al cultivo del Agave son: el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus*), el cerambicido del agave (*Acanthoderes funerarius*), el barrenador de la piña o escarabajo rinoceronte (*Strategus aloeus*), chapulín, escamas armadas (*Acutaspis agave*) y el piojo

harinoso (*Paracoccus sp.*), entre otras. (Comité estatal de sanidad vegetal de Guanajuato- CESAPEG, 2002, citado por Luna, 2003).

Cuadro 9.- Plaguicidas que se utilizan en el combate de plagas y enfermedades del cultivo de *Agave tequilana* Azul.

Pesticida	Ingrediente Activo		Cantidades Aplicadas	kg/ha	Para combate de:
Bactrol	Gentamicina	* fungicidas	80 gr para 20 L (mochila)	1.6	Hongos
Curamicín	Estreptomicina		187.5ml para 20 L (mochila)	0.6	Combatir el anillo rojo
Derosal	Carbendazim		156.2 L para 20 L (mochila)	0.5	Hongos
Folpan 80	Folpet			3	
Tamaron	Metamidofos	* insecticidas	312.5 ml para 20 L (mochila)	1	Insectos, piojo harinoso, plagas
Thiodan	Endosulfan			1.5	
Furadan	Carbofurán		76.8 ml para 20 L (mochila)		Para combatir larvas del suelo y nematodos
Faena ultra Krovar	Glyfosato ultra Bromacil+diurón	* herbicidas	225 ml para 15 L (mochila)	2 2	Maleza

Fuente: Diccionario de especialidades agroquímicas 2005.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Producción de Materia Seca (MS)**

Las cantidades superiores de MS, a los 133 días, se presentaron cuando no se agregaron fertilizantes, es decir, ni fósforo (P) ni potasio (K); cuando no se aplicó P, pero si K y al adicionar ambos nutrimentos, superando al testigo absoluto (TA) en 103, 93 y 104 por ciento, respectivamente. A los 279 días, solo con la aplicación de 250 kg.ha<sup>-1</sup> de K, fue el valor superior de MS y este tratamiento aventajó al TA en 180 por ciento. Cuando la planta cumplió con 521 días después del trasplante (DDT), todos los tratamientos realizaron efecto significativo, excepto en el TA, donde no se presentó. Situación similar se presentó a los 859 y 1224 días DDT (Cuadro 10). Los valores de la MS de plantas desarrolladas, con los tratamientos de fertilización de base, fueron siempre superiores a los valores de la MS acumulada en plantas del TA (sin riego y sin fertilizante), las diferencias entre los valores de MS en ambas plantas fueron estadísticamente significativas. El primer y segundo muestreo, coincidió con algo de precipitación pluvial, por lo que la MS acumulada en las plantas del TA, fueron adelantadas en 1.0 y 0.8 veces, respectivamente, por la MS de plantas que recibieron 00-50-250 y 00-00-250 kg de N, P, K como fertilización de base.

A partir del muestreo realizado a los 859 DDT, incluido el TA, se superó al trabajo reportado por Novel y Valenzuela (1987), donde determinan que plantas de Agave del Estado de Jalisco de tres años de edad, generan 2630 g de MS, por lo que en el presente trabajo, a partir de plantas de dos años y cuatro meses, se aventajó en 32 por ciento a lo informado por los investigadores; además, cabe

mencionar que las condiciones climáticas del sur de Tamaulipas y del estado de Jalisco, difieren significativamente.

Cuadro 10.- Materia seca acumulada de *Agave tequilana* Weber en cinco muestreos, con seis tratamientos de fertilización de base.

Niveles de estudio		Días después del trasplante				
P	K	133	279	521	859	1224
kg.ha <sup>-1</sup>		g de MS planta <sup>-1</sup>				
0	0	725.6 a <sup>†</sup>	1122.3 bc	5734.7 a	11,431.0 a	14,865.0ab
0	250	706.9 a	1496.9 a	7,179.0 a	11,274.0 a	22,347.0 a
150	250	728.5 a	1045.6 bc	5,809.1 a	12,662.0 a	18,857.0 a
300	250	439.1 b	1230.3 bc	5,801.0 a	10,094.0 a	21,641.0 a
300	500	567.9 ab	1059.5 bc	6,685.9 a	9,129.0 a	20,193.0 a
Testigo Absoluto (TA)		357.0 b	827.2 c	2,153.0 b	3,480.0 b	3,330.0 b

<sup>†</sup> Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ ).

La mayor tasa de acumulación de MS total, se presentó cuando no se adicionó nitrógeno, pero si 150 y 250 kg.ha<sup>-1</sup> de P y K, como fertilización de base. A los 279 DDT la MS producida mensualmente, varió de 79.3 a 158.2 g planta<sup>-1</sup> para los tratamientos 00-00-00 y 00-300-250 de N, P y K respectivamente con diferencia estadísticamente significativa. Cuando solo se agregaron 300 kg.ha<sup>-1</sup> de P y 250 kg.ha<sup>-1</sup> de K, desde el inicio del experimento y hasta los 279 DDT, la MS se incrementó de 100 a 700 g.planta<sup>-1</sup>, sin embargo, a partir de ahí y hasta los 521 DDT, el valor retrocedió hasta 250 g.planta<sup>-1</sup> y permaneció constante hasta los 1224 DDT. Durante todo el experimento, es decir desde los 133 hasta los 1224 DDT, los valores de la MS del testigo absoluto, no sobrepasó los 150 g.planta<sup>-1</sup> (Figura 3).

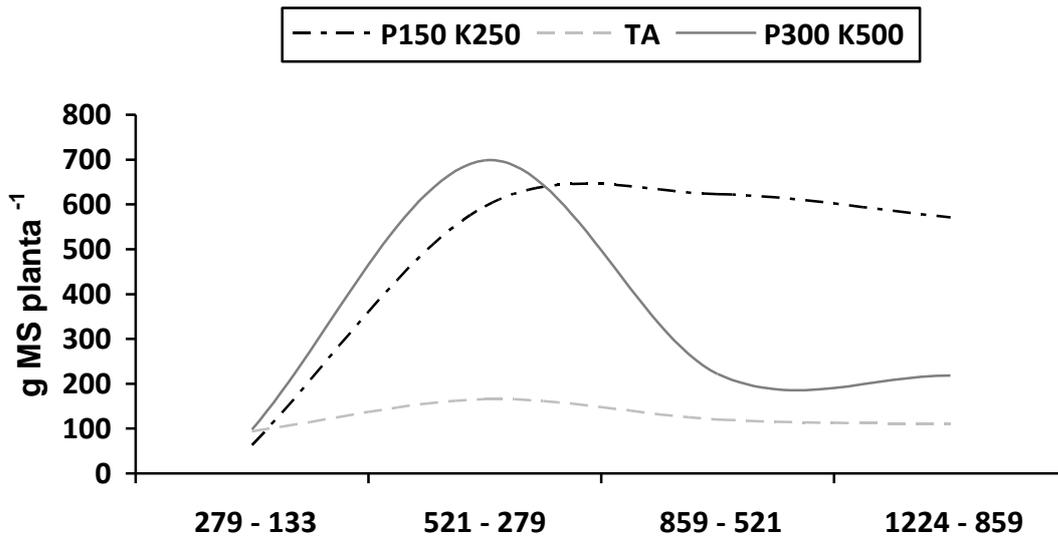


Figura 3. Tasa de acumulación mensual estimada de materia seca total, con diferentes dosis de fertilización de base, en cuatro etapas de desarrollo para la planta de *Agave tequilana* Weber.

Cuando la planta recibió fertilización de base, desde el inicio del trabajo y hasta los 1224 DDT, la distribución de la MS fue: el 54 por ciento en el tejido vegetal de follaje, el 31 por ciento en la piña, el nueve por ciento en hijuelos y el tres por ciento en el cogollo y la raíz; mientras que en el tratamiento del TA, el tejido vegetal de follaje y las piñas, acumularon en promedio el 36 por ciento, los hijuelos el 20 por ciento y el restante nueve por ciento, las raíces y cogollos (Figura 4). Lo anterior concuerda con lo encontrado por Novel y Valenzuela (1987), al producir plantas de *Agave tequilana* Weber, donde se acumuló el 55 por ciento de la MS, en trabajos realizados en el Estado de Jalisco.

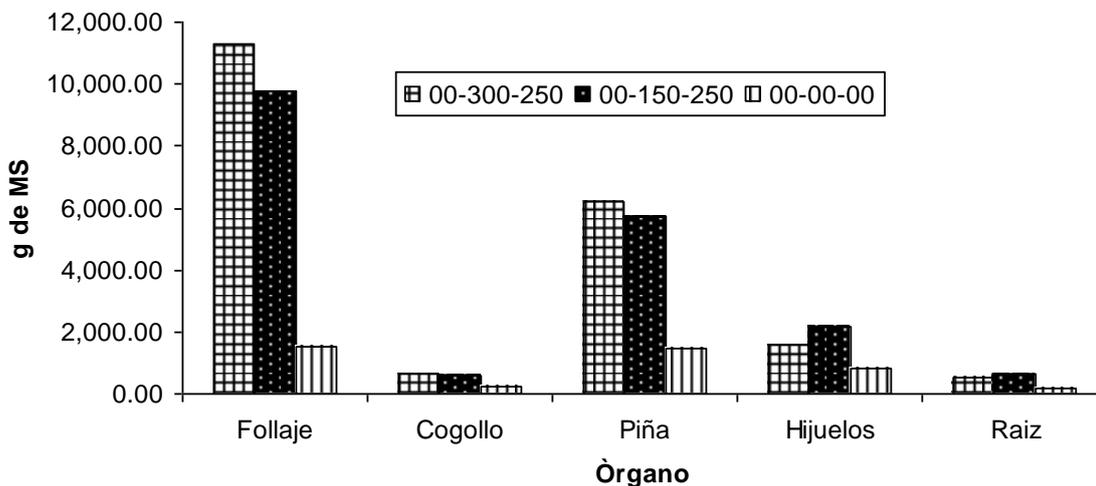


Figura 4. Distribución de la materia seca total, en los órganos de la planta de Agave desarrollada con fertilización de base.

### Acumulación de Nitrógeno en la Materia Seca (NMS)

De forma general, se puede establecer que en las plantas del Agave, donde no se adicionaron fertilizantes (00-00-00), los valores de la concentración de nitrógeno en la materia seca (CNMS), aumentaron de los 133 a los 279 DDT; mientras que de los 521 a los 1224 DDT, disminuyeron. Situación similar se presentó, al adicionar fertilización de base y en las plantas con el TA.

La CNMS de la planta, varió entre 0.9 y 1.2 por ciento a los 133 DDT. El valor más bajo se presentó en las plantas con el TA y el mayor con la fertilización de base de 300 y 250 kg.ha<sup>-1</sup> de P y K, respectivamente, lo que representa el 33 por ciento superior. A los 279 DDT, la CNMS de las plantas donde se aplicó fertilización de base, superaron en 40 por ciento y con efecto significativo, a las plantas donde no se adicionó la fertilización de base y a las del TA. Las plantas donde se aplicaron P y K, a los 521 DDT, superaron en 57 por ciento a las plantas con el TA y en 10 por ciento en donde no se adicionó fertilizante. Al no aplicar fertilización de base, a los 859 DDT, la CNMS adelantó en 75 por ciento a las plantas con el TA y situación similar

se presentó a los 1224 DDT (Cuadro 11). El decremento en la CNMS, que se registro después de los 279 DDT en todas las plantas con todos los tratamientos, podría ser un indicativo de que las cantidades de fertilizante aplicadas, en la fertilización de base y en el sistema de riego, así como el N aportado por el suelo, no son suficientes para abastecer las necesidades de la planta de Agave.

Cuadro 11.- Concentración de nitrógeno acumulado por la planta de *Agave tequilana* Weber, con varias dosis de fertilización de base.

Niveles de estudio		Días				
P	K	133	279	521	859	1224
kg.ha <sup>-1</sup>		% de N planta <sup>-1</sup>				
0	0	1.1 a <sup>†</sup>	1.2 b	1.0 a	0.7 a	0.7 a
0	250	1.1 ab	1.4 a	0.9 a	0.5 ab	0.5 ab
150	250	1.0 ab	1.3 a	1.1 a	0.6 ab	0.6 ab
300	250	1.2 ab	1.3 a	1.1 a	0.6 ab	0.6 ab
300	500	1.1 ab	1.3 a	1.1 a	0.6 ab	0.6 a
Testigo Absoluto		0.9 b	1.0 b	0.7 b	0.4 b	0.4 b

<sup>†</sup> Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ )

De forma general, conforme avanzó la edad de la planta, se puede establecer que no obstante se registró una disminución en la CNMS, la cantidad de N en la MS de la planta se incrementó, aunque las plantas con el TA presentaron los valores más bajos de esta variable y además, hay efecto significativo de los tratamientos. Así, cuando todas las plantas recibieron solo agua de lluvia y nada de fertilización de base a los 133 DDT, se adelantó al TA en 151 por ciento. Al adicionar 250 kg.ha<sup>-1</sup> de K, como fertilización de base, se aventajó al TA en 155 por ciento, cuando la planta tenía establecida 279 DDT. Al momento que la planta tenía 521 DDT de establecida y al agregar 300 kg.ha<sup>-1</sup> de P y 500 kg.ha<sup>-1</sup> de K, como fertilización de base, la cantidad de N en la MS de la planta, superó al TA en 517 por ciento. Con 150 kg.ha<sup>-1</sup> de P y 250 kg.ha<sup>-1</sup> de K como fertilización de base, a los 859 DDT de establecida la

planta, la superior cantidad de N en la MS de la planta de Agave, fue 423 por ciento más que el TA. A los 1224 DDT, conforme aumentó la dosis de la fertilización de fondo, aumentó la cantidad de N en la MS de la planta. Así, se tiene que al agregar la dosis alta de P y de K, se adelantó al TA con 869 por ciento (Cuadro 12).

Cuadro 12.- Cantidad de Nitrógeno acumulado por la planta de *Agave tequilana* Weber para diferentes días de muestro después del trasplante del cultivo con varias dosis de fertilización de base.

Niveles de estudio		Días				
P	K	133	279	521	859	1224
kg.ka <sup>-1</sup>		g de N planta <sup>-1</sup>				
0	0	8.3 a <sup>†</sup>	14.2 b	60.5 a	81.7 a	107.0 a
0	250	8.2 a	22.0 a	71.2 a	64.5 a	129.7 a
150	250	7.9 ab	14.1 b	67.9 a	83.2 a	118.4 a
300	250	6.0 ab	16.3 b	67.4 a	59.0 a	133.9 a
300	500	6.6 ab	14.3 b	75.3 a	62.8 a	136.7 a
Testigo Absoluto		3.3 b	8.6 c	12.2 b	15.8 b	14.1 b

<sup>†</sup> Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ )

A partir de la Figura 5, se puede establecer una clara diferencia entre el contenido de N en la MS, en las plantas donde no se aplicó fertilización de base y el TA. Esto quiere decir que en la primera situación, se puede determinar que, conforme aumentaron los DDT, el contenido de N en la MS aumentó; mientras que en la planta con el TA, permaneció casi constante en función del tiempo y fueron valores muy bajos.

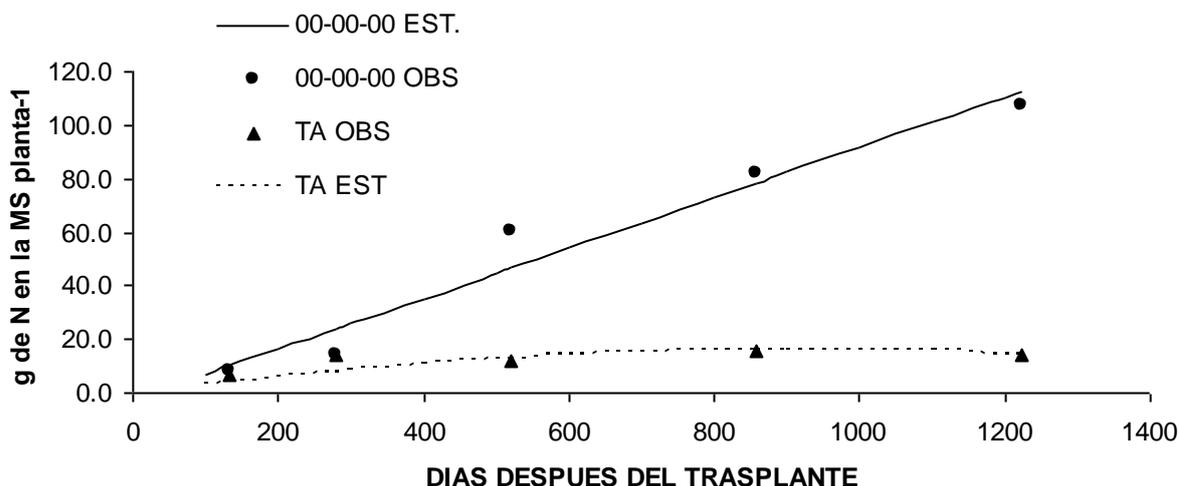


Figura 5. Acumulación de N en la MS de plantas sin fertilización de base y en el TA.

Los modelos de regresión generados con los valores de N acumulado en la MS de la planta de Agave, muestran que cuando no se aplica P y a la dosis alta de P y K, se presentan los coeficientes de determinación más bajos; mientras que en las plantas donde se agregaron los tratamientos con P y K, como fertilización de base, se presentaron los coeficientes de determinación más altos (Cuadro 13).

Cuadro 13.- Modelos de regresión y coeficientes de determinación ajustados del N en la MS de la planta de Agave, con fertilización de base.

Niveles de estudio P      K kg ha <sup>-1</sup>		MODELOS	Coefficiente de determinación (r <sup>2</sup> )
0	0	Y=-2.425208765 + 0.09422958 (Días)	0.88
0	250	Y=-2.524769198 + 0.1022946 (Días)	0.80
150	250	Y=-3.899899451 + 0.103214908 (Días)	0.89
300	250	Y=-8.553418603 + 0.107951070 (Días)	0.84
300	500	Y= -7.774957058 + 0.01640005 (Días)	0.78
Testigo Absoluto		Y=-0.6697466098 + 0.0358017553 (Días) – 0.0000193388(Días <sup>2</sup> )	0.88

## Acumulación de Fósforo en la Materia Seca (PMS)

De forma general, se puede establecer que en las plantas del Agave, donde no se adicionaron fertilizantes (00-00-00), los valores de la concentración de fosforo en la materia seca (CPMS), se mantienen constante de los 133 a los 279 DDT; mientras que de los 521 a los 859 DDT, aumenta. Situación similar se presentó, al adicionar fertilización de base, mientras que en las plantas con el TA fue constante a partir de los 521 DDT a los 1224.

La CPMS de la planta, presento poca variación entre los DDT. El valor más bajo se presentó en las plantas que recibieron 00-00-250 kg.ha<sup>-1</sup> y el mayor con las plantas del TA, presentando diferencias estadísticas en el segundo y tercer muestreo, (Cuadro 14). El decremento en la CPMS, que se registró después de los 859 DDT en todas las plantas con todos los tratamientos, López Ritas menciona que en la zona de deficiencia, el rendimiento se incrementa muy rápidamente cuando mas nutriente se aplica, pero debido a que el crecimiento de la planta es muy activo. La concentración del nutrimento apenas se incrementa.

Cuadro 14.- Concentración de fosforo acumulado por la planta de *Agave tequilana* Weber, con varias dosis de fertilización de base.

Niveles de estudio		Días				
P	K	133	279	521	859	1224
kg ha <sup>-1</sup>		% de P planta <sup>-1</sup>				
0	0	0.1 a <sup>†</sup>	0.1 b	0.2 a	0.2 a	0.1 a
0	250	0.1 a	0.1 ab	0.1 b	0.1 a	0.1 a
150	250	0.1 a	0.1 b	0.2 ab	0.2 a	0.1 a
300	250	0.1 a	0.1 b	0.2 a	0.2 a	0.2 a
300	500	0.1 a	0.1 ba	0.2 ab	0.2 a	0.1 a
Testigo Absoluto		0.1 a	0.3 a	0.2 a	0.2 a	0.2 a

<sup>†</sup> Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ )

De forma general, conforme avanzó la edad de la planta, se puede establecer que se registró un aumento en la CPMS, la cantidad de P en la MS de la planta se incrementó, aunque las plantas con el TA presentaron los valores más bajos de esta variable y además, hay efecto significativo de los tratamientos. Así, cuando todas las plantas recibieron solo agua de lluvia y nada de fertilización de base a los 133 DDT, se adelantó al TA en 150 por ciento. Al adicionar 00-300-500 kg.ha<sup>-1</sup> de P y K, como fertilización de base, se aventajó al TA en 16 por ciento, cuando se aplicó 250 kg.ha<sup>-1</sup> de K, la planta tenía establecida 279 DDT. Al momento que la planta tenía 521 DDT de establecida y al agregar 300 kg.ha<sup>-1</sup> de P y 250 kg.ha<sup>-1</sup> de K, como fertilización de base, la cantidad de P en la MS de la planta, superó al TA en 170 por ciento. Con 150 kg.ha<sup>-1</sup> de P y 250 kg.ha<sup>-1</sup> de K como fertilización de base, a los 859 DDT de establecida la planta, la cantidad de P en la MS de la planta de Agave, fue 182 por ciento más que el TA. A los 1224 DDT, con la dosis de la fertilización de anterior, aumentó la cantidad de P en la MS de la planta. Así, se tiene la cantidad más alta de P, se adelantó al TA con 541 por ciento, presentando diferencias estadísticas significativas a partir del tercer muestreo. Cuando las plantas recibieron P en el sistema de riego (521 DDT) es muy notable el incremento de este elemento en la MS de la planta total (Cuadro 15), comparado a cuando las plantas recibieron exclusivamente agua lluvia en las dos primeras evaluaciones.

Cuadro 15.- Cantidad de Fosforo acumulado por la planta de *Agave tequilana* Weber para diferentes días de muestro después del trasplante del cultivo con varias dosis de fertilización de base.

Niveles de estudio		Días				
P	K	133	279	521	859	1224
kg ha <sup>-1</sup>		g de P planta <sup>-1</sup>				
0	0	0.9 a <sup>†</sup>	1.9 a	13.2 a	20.1 ab	27.0 ab
0	250	0.8 a	2.8 a	10.1 ab	16.9 ab	33.2 a
150	250	0.8 a	1.6 a	12.6 a	21.5 a	33.6 a
300	250	0.5 a	1.9 a	13.5 a	20.0 ba	43.0 a
300	500	1.0 a	1.9 a	13.3 a	15.2 ba	32.6 a
Testigo Absoluto		0.4 a	2.4 a	5.0 b	7.6 b	6.7 b

<sup>†</sup> Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ )

A partir de la Figura 6, se puede establecer una clara diferencia entre el contenido de P en la MS, en las plantas donde no se aplicó fertilización de base y el TA. Esto quiere decir que en la primera situación, se puede determinar que, conforme aumentaron los DDT, el contenido de P en la MS aumentó; mientras que en la planta con el TA, permaneció casi constante en función del tiempo y fueron valores muy bajos.

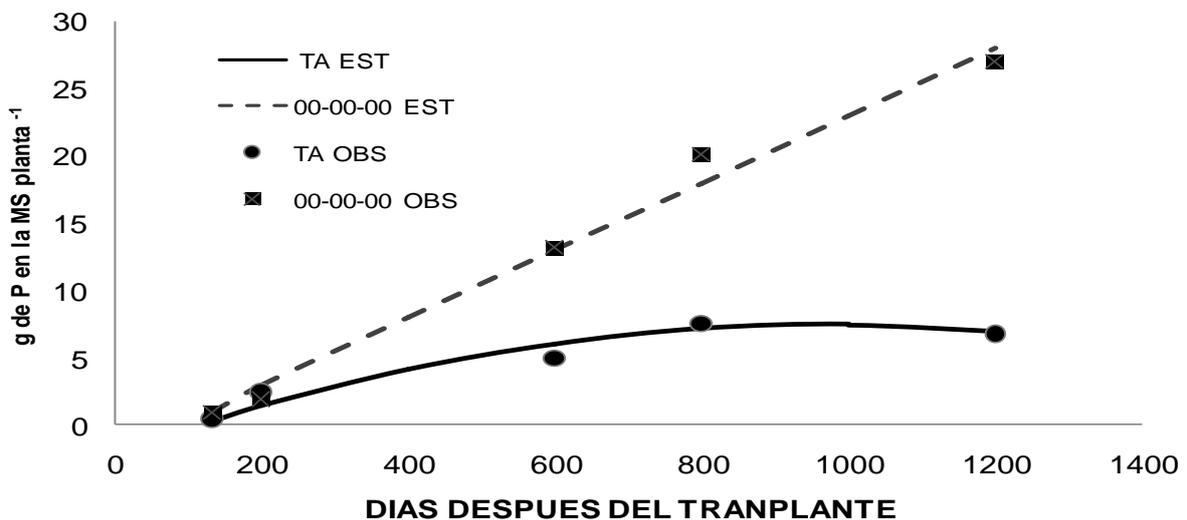


Figura 6. Acumulación de P en la MS de plantas sin fertilización de base y en el TA.

Los modelos de regresión generados con los valores de P acumulado en la MS de la planta de *Agave*, muestran que cuando se aplican las dosis mas bajas de

P y K y en las plantas del TA, se presentaron los coeficientes de determinación mas bajos; mientras que en las plantas donde se agregaron los tratamientos con P y K, como fertilización de base, se presentaron los coeficientes de determinación más altos (Cuadro 16).

Cuadro 16.- Modelos de regresión y coeficientes de determinación ajustados del P en la MS de la planta de *Agave*, con fertilización de base.

T	Niveles de estudio		Modelos	Coeficiente de determinación (r <sup>2</sup> )
	P	K		
1	0	0	Y = -2.555164205 + 0.025280445 (DIAS)	0.86
2	0	250	Y = -4.718469932 + 0.029064661 (DIAS)	0.89
5	150	250	Y = -4.758758878 + 0.031207049 (DIAS)	0.80
8	300	250	Y = -1.259283529 + 0.011228918 (DÍAS ) 0.000019818 (DIAS <sup>2</sup> )	0.93
9	300	500	Y = -4.026545156 + 0.027975042 (DIAS)	0.82
10	Testigo absoluto		Y = -2.1032822915 + 0.019632684 (DIAS) -0.000010069 (DIAS <sup>2</sup> )	0.76

### Acumulación de Potasio en la Materia Seca (KMS)

De forma general, se puede establecer que en las plantas del *Agave*, donde se adicionaron fertilizantes (00-00-250), los valores de la concentración de potasio en la materia seca (CKMS), aumentaron de los 133 a los 279 DDT; mientras que de los 521 a los 1224 DDT, disminuyeron. Situación similar se presentó, al adicionar fertilización de base y en las plantas con el TA.

La CKMS de la planta, varió entre 1.2 y 2.7 por ciento a los 133 DDT. El valor más bajo se presentó en las plantas con el TA y el mayor con la fertilización de base

de 300 y 500 kg.ha<sup>-1</sup> de P y K, respectivamente, lo que representa el 42 por ciento superior. A los 521 DDT, la CKMS de las plantas donde se aplicó fertilización de base, superaron en 31 por ciento y con efecto significativo, a las plantas donde no se adicionó la fertilización de base y a las del TA, (Cuadro 17). El decremento en la CKMS, que se registro después de los 521 DDT en todas las plantas con todos los tratamientos, Esta rápida acumulación de la materia seca durante el período de crecimiento vegetativo da lugar a la dilución del potasio acumulado, bajando su concentración (Sallam et al., 1985).

Cuadro 17.- Concentración de potasio acumulado por la planta de *Agave tequilana* Weber, con varias dosis de fertilización de base.

Tratamientos		Días				
P	K	133	279	521	859	1224
kg ha <sup>-1</sup>		% de K planta <sup>-1</sup>				
0	0	2.2 a	2.1 a	2.1 ba	1.1 b	1.2 a
0	250	2.6 a	3.0 a	2.3 ba	1.2 ab	1.2 a
150	250	2.4 a	2.5 a	2.5 a	1.4 a	1.4 a
300	250	2.2 a	2.3 a	2.2 ba	1.1 b	1.1 ba
300	500	2.7 a	2.5 a	2.3 ba	1.2 ab	1.2 ba
Testigo Absoluto		1.9 a	2.7 a	1.9 b	1.0 b	0.9 b

† Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ )

De forma general, conforme avanzó la edad de la planta, se puede establecer que no obstante se registró una disminución en la CKMS, la cantidad de K en la MS de la planta se incrementó, aunque las plantas con el TA presentaron los valores más bajos de esta variable y además, hay efecto significativo de los tratamientos. Así, cuando todas las plantas recibieron solo agua de lluvia y nada de fertilización de base a los 133 DDT, se adelantó al TA en 172 por ciento. Al adicionar 250 kg.ha<sup>-1</sup> de K, como fertilización de base, se aventajó al TA en 101 por ciento, cuando la planta tenía establecida 279 DDT.

Al momento que la planta tenía 521 DDT de establecida y al agregar 300 kg.ha<sup>-1</sup> de P y 500 kg.ha<sup>-1</sup> de K, como fertilización de base, la cantidad de K en la MS de la planta, superó al TA en 415 por ciento. Con 150 kg.ha<sup>-1</sup> de P y 250 kg.ha<sup>-1</sup> de K como fertilización de base, a los 859 DDT de establecida la planta, la superior cantidad de K en la MS de la planta de Agave, fue 387 por ciento más que el TA. A los 1224 DDT, aumentó la cantidad de K en la MS de la planta. Así, se tiene que al agregar la dosis baja de K, se adelantó al TA con 771 por ciento (Cuadro 18).

Cuadro 18.- Cantidad de Potasio acumulado por la planta de *Agave tequilana* Weber para diferentes días de muestro después del trasplante del cultivo con varias dosis de fertilización de base.

Tratamientos		Días				
P	K	133	279	521	859	1224
kg Ha <sup>-1</sup>		g de K planta <sup>-1</sup>				
0	0	16.8 ab <sup>†</sup>	24.3 ba	125.2 a	135.8 ab	186.0 ab
0	250	19.1 a	45.7 a	167.2 a	139.1 ab	279.9 a
150	250	17.8 a	26.8 ab	146.7 a	183.3 a	265.6 a
300	250	9.8 ab	29.2 ab	129.0 a	115.7 b	256.0 a
300	500	15.6 ab	27.6 ab	155.1 a	117.1 b	247.4 a
Testigo Absoluto		7.0 b	22.7 b	30.1 b	37.6 c	32. b

<sup>†</sup> Valores con diferente letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ )

A partir de la Figura 7, se puede establecer una clara diferencia entre el contenido de K en la MS, en las plantas donde no se aplicó fertilización de base y el TA. Esto quiere decir que en la primera situación, se puede determinar que, conforme aumentaron los DDT, el contenido de K en la MS aumentó; mientras que en la planta con el TA, permaneció casi constante en función del tiempo y fueron valores muy bajos.

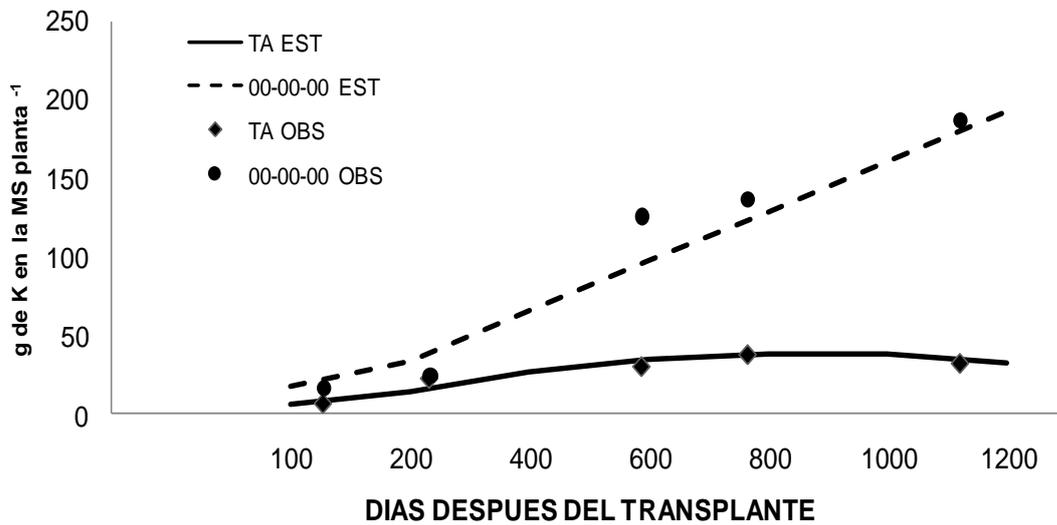


Figura 7. Acumulación de K en la MS de plantas sin fertilización de base y en el TA.

Los modelos de regresión generados con los valores de K acumulado en la MS de la planta de Agave, muestran que cuando se aplican las dosis más altas y las bajas de P y K, se presentaron los coeficientes de determinación mas bajos; mientras que en las plantas donde se agregaron los tratamientos con P y K, como fertilización de base, se presentaron los coeficientes de determinación más altos (Cuadro 19).

Cuadro 19.- Modelos de regresión y coeficientes de determinación ajustados del K en la MS de la planta de Agave, con fertilización de base.

T	Niveles de estudio P K kg ha <sup>-1</sup>		Modelos	Coeficiente de determinación (r <sup>2</sup> )
	P	K		
1	0	0	Y= 2.179934128 + 0.158308023 (DIAS)	0.78
2	0	250	Y= -1.946274541 + 0.219163806 (DIAS)	0.81
5	150	250	Y= -12.46863658 + 0.23305035 (DIAS)	0.82
8	300	250	Y= 2.179934128 + 0.158308023 (DIAS)	0.78
9	300	500	Y= -6.310194348 + 0.197155495 (DIAS)	0.72
10	Testigo absoluto		Y= -2.244259139 + 0.092026891 (DIAS) -0.000052467 (DIAS <sup>2</sup> )	0.93

## CONCLUSIONES

- 1.- Mediante la adición de fertilizantes químicos al *Agave tequilana* Weber azul, se incrementó el contenido de materia seca (MS), principalmente del follaje.
- 2.- La aplicación de fertilización química, incrementó la acumulación de nitrógeno (N) en la MS del *Agave tequilana* Weber azul y superó a la planta con el testigo absoluto (TA).
- 3.- Con la fertilización química, se estimuló el incremento de fósforo (P) en la MS de la planta del *Agave tequilana* Weber azul, comparado con el TA.
- 4.- La cantidad de potasio (K) acumulado en la MS de la planta del *Agave tequilana* Weber azul, presentó un notable incremento al aplicar la fertilización de base, en comparación con las plantas del TA.

## LITERATURA CITADA

- Aceves, R. 2003. Prevención y manejo integral de la marchitez del Agave tequilana weber var. Azul en Jalisco [en línea]. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro. Campo Experimental Altos de Jalisco. Editorial Conexión Gráfica S.A. de C.V. Dirección. URL: <[https://intranet.inifap.gob.mx/cgi-bin/pagina\\_web/cons\\_infoteca.cgi?nomcir2=PACIFICO%20CENTRO#](https://intranet.inifap.gob.mx/cgi-bin/pagina_web/cons_infoteca.cgi?nomcir2=PACIFICO%20CENTRO#)> [Consulta: febrero de 2009].
- AGROPECT star.2002. Potasio [en línea]. Dirección URL: <<http://www.agropecstar.com/portal/doctos/agronomia5.htm>> [consulta: 24 de marzo 2009].
- Apoyo y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA). 2000. El Agave tequilero pencas que abrazan al mundo. Revista de publicación mensual, Noviembre. No. 87. Claridades Agropecuarias. Distrito Federal. México.
- Castellanos, J. Z., Uvalle-Bueno, J. X., Aguilar-Santelises, A. 2000. Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas. 2ª Edición. Instituto de Capacitación para la Productividad Agrícola.
- Cámara Regional de la Industria Tequilera (CRIT). 1997 [en línea] Revista de la Cámara Regional de la Industria Tequilera. Año 1, Número 1, Agosto de 1997. México. Dirección URL: <[www.feriavirtual.com.mx/f\\_5/agavaceas\\_i.htm](http://www.feriavirtual.com.mx/f_5/agavaceas_i.htm)> [Consulta: mayo 2009].
- Cámara Tequilera. Industrialización del agave. [en línea] Dirección: URL: <<http://www.camaratequilera.com.mx/historia/historia.htm>>. [Consulta: mayo de 2009].
- CESAVEG. 2002. Comité Estatal de Sanidad Vegetal Guanajuato. Campaña de manejo fitosanitario.
- Chirinos U. H. 2000. Fertilización de Agave tequilana Weber. [en línea]. Dirección URL: <<http://www.allabs.com.mx/DOC/2-13.htm>> [Consulta: febrero de 2009].
- Conabio. 2002. Los magueyes, plantas de infinito uso. [en línea] revista. Dirección. URL: <[http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio\\_espanol/doctos/agave.html](http://www.conabio.gob.mx/institucion/conabio_espanol/doctos/agave.html)> [Consulta: febrero de 2009].
- Cruz J. E. 2002. Fertilización química y orgánica del Agave mezcalero. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Elizalde F. H, 2004, Importancia del Agave Tequiliana weber Azul en México, Monografía Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (U.A.A.A.N) Buena, vista/Saltillo, México

Granados S. D. 1993. Los Agaves de México, Universidad Autónoma de Chapingo, Primera Edición en español, México.

Informe de la Cámara Nacional de la Industria Tequilera sobre su comportamiento durante el año 2003. [en línea] Dirección: URL:<<http://www.camaratequilera.com.mx/informe/informe.htm> [Consulta: febrero de 2009]

ITESM. 2000. Producción Vegetal. Agave. [en línea]. Agronomía. Dirección: URL :< <http://www.qro.itesm.mx/agronomia2/extensivos/CAgaveGeneralidades.html#Origen>[Consulta: mayo de 2009].

Macías M. A. y Valenzuela Z. A 2009. El tequila en tiempos de la mundialización, Comercio Exterior, Vol. 59, Núm. 6 Junio.

Méndez Robles, M. 1999, Acumulación de fructanasas en Agave tequilana Weber var. Azul cultivado en el campo, Tesis de Maestría en ciencias en Alimentos, INP, ENCB, 98 pp.

INIFAP-CESTAM. 1999. Guía Técnica Para la producción Agrícola en el sur de Tamaulipas.

Nobel, P. S. 1998. Los incomparables agaves y cactus. Editorial Trillas. Distrito Federal. México.

Nobel, Park. S. y Valenzuela Z. Ana G. 1987. Environmental responses and productivity of the CAM plant, Agave tequilana (W). Agricultural Forest Meteorology. Elsevier Science publishers B. V. Amsterdam No. 39: 319-334.

Normales climatologicas.1971-2000. [en lineal] servicio meteorológico Nacional. Dirección: URL:< [smn.cna.gob.mx/productos/normales/cnormales.html](http://smn.cna.gob.mx/productos/normales/cnormales.html) [Consulta: 5 de junio de 2009].

La Jornada. Crisis en la industria del tequila. 2000. [en línea]. Revista. Dirección: URL:< <http://www.jornada.unam.mx/2000/jul00/000731/032n1est.html> [Consulta: mayo de 2009].

La Norma Oficial Mexicana NOM-006-SCFI-1993, que establece las características y especificaciones que deben cumplir los usuarios autorizados para producir, envasar y/o comercializar tequila. [en línea]. Publicación. Dirección: URL:< <http://www.itequila.org/NOM-006-SCFI-1994.htm> [Consulta: marzo de 2009].

López, U.P. 1990, Evaluación de distintas dosis de fertilización en el agave tequilero (Agave tequilana Weber), Tesis de Licenciatura, Universidad de Guadalajara, fac. de Agronomía.

- Osawa, T. 1979, el mezcal, ideas sobre su mejoramiento y técnicas de control, sin publicación, solo distribución regional, 19-41 pp.
- Plagas y Enfermedades del *Agave tequilana* Weber variedad Azul. Edición Consejo Regulador del Tequila, A.C. Comité Técnico Agronómico. Guadalajara, Jalisco, Marzo de 2005.
- Producción de tequila en tamaulipas. 2009. [en línea] Periódico. Dirección: URL<:[http://www.hoytamaulipas.net/index.php?v1=notas&v2=27158&tit=Producir%C3%A1 Tamaulipas 10 mil toneladas de agave tequilero](http://www.hoytamaulipas.net/index.php?v1=notas&v2=27158&tit=Producir%C3%A1%20Tamaulipas%2010%20mil%20toneladas%20de%20agave%20tequilero). [Consulta: febrero de 2009].
- Pérez G. F., Martínez – Laborde J. B. 1984. Introducción a la fisiología vegetal. Editorial Mundi – Prensa. Madrid. España.
- Pérez, Lázaro, 1887. Estudio sobre el agave llamado mezcal, boletín de la sociedad agrícola mexicana, México, núm. 11:132-136 pp.
- R.S.G. Bidwell, Fisiología Vegetal, A.G.T. Editor, S.A. Primera Edición en español, 1979, México D.F.
- Rendón S. L. A. 1991. Fertilización del Agave. III Reunión Técnica de la Asociación de Productores de Agave Azul, tequilana, Weber, Folleto 1991.
- Sallam, A.; Scott, H.D.; Brewer, D.W. and Sojka, R.E. 1985. Characterization of potassium uptake and translocation in soybeans. Soil Sci. Soc Am. J. 49: 1226-1231.
- Sepasa. 1999. Boletín Informativo. México, tierra de Agaves. [en línea] Santaló Estudios y Proyectos S. A. de C. V. Dirección. URL:<<http://www.sepsaestudios.com/Especial113.htm> [Consulta: Abril de 2009].
- Solano A. A. L. 2003, Levantamiento nutrimental del Agave azul (*Agave tequilana* weber variedad azul) en los altos de Jalisco. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma de Chapingo. México Octubre.
- Solano G. L. A, 2003, Efecto de la Fertilización Na/K sobre el crecimiento y productividad de carbohidratos de Agave tequilana Weber con aplicaciones de Inductores de Resistencia, Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (U.A.A.A.N) Buena, vista/Salttillo, México Abril.
- Salisbury F. B. and Ross C. W. 1994. Fisiología Vegetal. Grupo editorial Iberoamericana. México.
- Valenzuela. Z. A. G. 2003, El Agave Tequilero, cultivo e industria de México, Tercera Edición, Ediciones Mundi-Prensa.

Valenzuela. Z. A. G. 1994. El agave tequilero su cultivo e industrialización. Editorial Monsanto. Zapopan, Jalisco. México.

Valenzuela, Balderas y Romo, 1990, “uso de fertilizantes en el mezcal tequilero (Agave tequilana Weber) para el estado de Jalisco”, taller de muestreo Estadístico, curso de maestría: manejo de Temporal, Universidad de Guadalajara, fac. de Agronomía.

Valenzuela, Z. A. G. 1997. El agave tequilero, su cultivo e industria. Segunda Edición. Monsanto Litteris. Editores Tequila Buen Amigo. Disponible en World Wide Web: <http://www.buen-amigo.com/quienessomos.asp>

Valenzuela Z. A.G. Las denominaciones de origen Tequila y Mezcal y la biodiversidad en el género Agave sp. [en línea]. Artículo. Dirección.URL:<[www.rimisp.org/FCKeditor/UserFiles/File/documentos/docs/pdf/DTRIC/lasdenominacionesdeorigentequilaymezcal.pdf](http://www.rimisp.org/FCKeditor/UserFiles/File/documentos/docs/pdf/DTRIC/lasdenominacionesdeorigentequilaymezcal.pdf) [Consulta: 4 de junio de 2009].

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL  
NORMALES CLIMATOLÓGICAS 1971-2000

ESTADO DE: TAMAULIPAS

ESTACION: 00028016 CAMPO EXP. CUAUHEMOC,

LATITUD: 22°36'00" N.

LONGITUD: 098°08'00" W.

ALTURA: 30.0 MSNM.

ELEMENTOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
<b><u>TEMPERATURA MAXIMA</u></b>													
NORMAL	24.1	25.6	28.9	31.4	33.2	33.3	32.7	32.7	32.0	30.3	27.6	24.8	29.7
MAXIMA MENSUAL	27.3	29.3	32.1	34.6	35.5	36.5	35.4	34.5	33.5	32.4	30.2	27.5	
AÑO DE MAXIMA	1998	2000	2000	1984	1999	1998	1980	1982	2000	1979	1985	1995	
MAXIMA DIARIA	37.5	40.0	42.0	45.0	45.0	40.0	38.5	39.5	38.0	38.0	36.0	39.5	
FECHA MAXIMA DIARIA	19/1988	15/1990	27/1984	27/1984	04/1999	27/1983	25/1980	12/1981	03/1982	24/1987	16/1987	03/1983	
AÑOS CON DATOS	26	26	26	25	26	26	26	26	25	27	27	26	
<b><u>TEMPERATURA MEDIA</u></b>													
NORMAL	18.3	19.5	22.7	25.4	27.8	28.4	27.8	27.8	27.1	24.9	22.1	19.3	24.3
AÑOS CON DATOS	26	26	26	25	26	26	26	26	25	27	27	26	
<b>TEMPERATURA MINIMA</b>													
NORMAL	12.5	13.4	16.5	19.4	22.4	23.4	22.9	22.9	22.3	19.4	16.7	13.8	18.8
MINIMA MENSUAL	7.9	8.5	12.7	13.5	18.4	19.2	18.4	18.4	18.4	17.0	13.3	8.6	
AÑO DE MINIMA	1973	1973	1978	1971	1971	1971	1972	1971	1971	1973	1971	1989	
MINIMA DIARIA	-2.0	1.0	-1.0	6.0	11.0	16.0	15.0	17.0	12.0	7.0	2.0	-6.0	
FECHA MINIMA DIARIA	12/1973	09/1973	04/1971	08/1971	16/1973	02/1984	06/1971	01/1971	30/1996	20/1989	29/1973	24/1989	
AÑOS CON DATOS	26	26	26	25	26	26	26	26	25	27	27	2	
<b><u>PRECIPITACION</u></b>													
NORMAL	30.6	14.8	18.6	22.7	35.4	161.5	151.3	151.9	179.5	89.5	22.3	25.7	903.8
MAXIMA MENSUAL	222.0	47.9	277.5	87.9	131.1	647.8	409.4	374.4	363.0	353.2	76.7	204.8	
AÑO DE MAXIMA	1994	1978	1971	1981	1981	1973	1999	1995	1998	1990	1973	1979	
MAXIMA DIARIA	84.5	29.1	18.5	41.5	83.4	150.8	144.9	205.5	180.0	199.5	28.3	94.6	
FECHA MAXIMA DIARIA	22/1994	05/1987	17/1971	15/1989	30/1981	04/1973	03/1999	07/1990	07/1979	04/1990	16/1973	03/1979	
AÑOS CON DATOS	26	26	26	25	26	26	26	26	26	27	27	26	
<b><u>EVAPORACION TOTAL</u></b>													
NORMAL	86.2	101.1	148.3	172.2	194.7	183.8	166.0	151.5	125.6	115.1	94.2	81.1	1,619.8
AÑOS CON DATOS	26	25	26	24	26	25	26	25	24	27	27	25	
<b>NUMERO DE DIAS CON</b>													
<b><u>LLUVIA</u></b>													
NORMAL	4.2	3.7	2.5	3.0	4.4	8.5	11.1	11.5	11.8	6.3	4.4	4.0	75.4
AÑOS CON DATOS	26	26	26	25	26	26	26	26	26	27	27	26	
<b><u>NIEBLA</u></b>													
NORMAL	2.6	2.4	1.5	0.8	0.2	0.1	0.0	0.0	0.2	0.7	1.6	3.1	13.2
AÑOS CON DATOS	26	26	26	25	26	26	26	26	26	27	27	26	
<b><u>GRANIZO</u></b>													
NORMAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
AÑOS CON DATOS	26	26	26	25	26	26	26	26	26	27	27	26	
<b><u>TORRENTA E.</u></b>													
NORMAL	0.6	0.3	0.7	0.4	0.4	0.3	0.9	1.1	0.3	1.3	0.4	0.4	7.1
AÑOS CON DATOS	26	26	26	25	26	26	26	26	26	27	27	26	

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional.