

**DOCTORADO EN CIENCIAS Y
BIOTECNOLOGÍA DE PLANTAS**

**RELACIÓN ENTRE LA EDAD DEL HENEQUÉN
(*Agave fourcroydes* Lem) Y LA ESTACIONALIDAD
CLIMÁTICA ANUAL EN LA PRODUCCIÓN DE
DESTILADO ALCOHÓLICO.**



Luis Alberto Rendón Salcido

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

**DOCTORADO EN CIENCIAS Y
BIOTECNOLOGÍA DE PLANTAS**

**RELACIÓN ENTRE LA EDAD DEL HENEQUÉN
(*Agave fourcroydes* Lem) Y LA ESTACIONALIDAD
CLIMÁTICA ANUAL EN LA PRODUCCIÓN DE
DESTILADO ALCOHÓLICO.**

T e s i s

que para obtener el grado académico de

Doctor en Ciencias

Presenta:

Luis Alberto Rendón Salcido

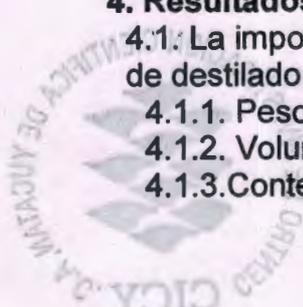
**Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
Mérida, Yucatán
2007**

Director de tesis: Dr. Alfonso Larqué Saavedra



Contenido

Agradecimientos.....	i
Índice de Cuadros.....	iii
Índice de Figuras.....	v
Resumen.....	vii
Abstracts.....	ix
1. Introducción.....	1
1.1. Literatura citada.....	4
2. Antecedentes.....	5
2.1. El proceso de producción de destilado alcohólico.....	13
2.2. La Importancia de la edad de la planta.....	22
2.3. Importancia de la estacionalidad climática.....	26
2.4. Objetivo.....	33
2.4.1. Objetivos particulares.....	34
2.5. Hipótesis.....	35
2.6. Literatura citada.....	36
3. Metodología experimental.....	53
3.1. Ubicación del área experimental.....	53
3.2. Elección de la edades de los plantíos.....	54
3.3. Selección de planteles.....	54
3.4. Cosecha.....	59
3.5. Diseño experimental.....	61
3.6. Determinación del rendimiento de campo.....	63
3.7. Determinación de sólidos solubles totales.....	64
3.8. Determinación de azúcares totales y reductores.....	65
3.9. Determinación de etanol.....	67
3.10. Literatura citada.....	68
4. Resultados.....	71
4.1. La importancia de la edad del henequén en la producción de destilado alcohólico.....	73
4.1.1. Peso fresco y cocido de la piña.....	73
4.1.2. Volumen de jugo cocido.....	73
4.1.3. Contenido de sólidos solubles.....	74



4.1.4. Contenido de azúcares reductores en el jugo cocido..	76
4.1.5. Producción de destilado alcohólico.....	78
4.1.6. Contenido de etanol presente de los destilados alcohólicos.....	80
4.2. La importancia de la estacionalidad climática en la producción de destilado alcohólico del henequén.....	83
4.2.1. Peso fresco y cocido de la piña.....	83
4.2.2. Volumen de jugo cocido.....	83
4.2.3. Contenido de sólidos solubles.....	84
4.2.4. Contenido de azúcares reductores en el jugo cocido.....	87
4.2.5. Producción de destilado alcohólico.....	88
4.2.6. Contenido de etanol presente de los destilados alcohólicos.....	90
4.3. La importancia de la interacción de la edad de la piña y de la estacionalidad climática en la producción de destilado alcohólico del henequén.....	92
4.3.1. Contenido de sólidos solubles totales.....	95
4.3.2. Contenido de azúcares reductores en el jugo cocido....	97
4.3.3. Producción de destilado alcohólico.....	99
5. Discusión.....	101
5.1. Literatura citada.....	115
6. Conclusiones.....	119
7. Perspectivas.....	123

Agradecimientos

Primeramente a DIOS, a éste ser supremo intangible que ha iluminado mi camino y me acompaña siempre en mis alegrías y tristezas, en mis éxitos y fracasos, allanando las dificultades y fortaleciendo el espíritu para seguir siempre hacia delante, **GRACIAS, MUCHAS GRACIAS.**

A Marycruz Bonita, mi bella esposa, mi amorosa compañera desde hace más de un cuarto de siglo, y mis dos hermosas hijas Cynthia María y Claudia Berenice, mi valiosa fuente de motivación e inspiración.

Con gran respeto y admiración al Dr. Alfonso Larqué Saavedra, mi director y guía durante mis estudios e investigación doctoral, porque en él nunca encontré una negación por respuesta, sino siempre un consejo y un apoyo total durante mi estancia en el CICY.

Con gran cariño y admiración para mi gran, pero gran amigo el MAESTRO Abdo Jesús Magdub Méndez, por los grandes momentos que juntos disfrutamos, que con su juventud mental siempre se encontró una solución hasta lo que parecía insoluble.

Al Dr. Eulogio Pimienta Barrios (CUCBA UdG), Dr. Luis Felipe Barahona Pérez y Dra. Silvia Patricia Colunga GarcíaMarín integrantes de mi comité tutorial, que con sus observaciones y orientación me permitieron concretar y concluir mis estudios de posgrado.

Al Dr. Edmundo García Moya (COLPOS) y al Dr. Benjamín Rodríguez Garay (CIATEJ) por sus valiosos consejos y orientación durante el examen predoctoral y la elaboración del

presente documento como jurado del comité de tesis, pero lo más importante por la amistad que por ellos siento.

Institucionalmente al Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara, Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y Fundación Produce Yucatán, A.C. (FUNPROYUC) por su apoyo académico, laboral y financiero para la realización de mis estudios doctorales.

Al Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY) por aceptarme y permitirme abreviar conocimientos científicos actualizados de cada uno de mis maestros y compañeros.

A mi amigo el Ing. Rodolfo Martín Mex, por ser una gran compañero que es amigo, con gran sentimiento humano, que no distingue color o credo, y siempre tiende la mano a que le pide ayuda.

A Gaby Herrera, una amiga que sabe ser amiga, que siempre esta ocupada, pero presta para apoyar.

Para Angel Nexticapan, para Jesús Martínez, para el Ing. Alvarez (QEPD), Silvia Vergara, Glenn y Mirbella Cáceres.

Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 3.1. Variación de la altura de las plantas de los planteles comerciales de henequén seleccionados por edades.	56
Cuadro 3.2. Altura (cm) de los individuos seleccionados como unidades experimentales según su edad. $\mu \pm z$ ($P_{\alpha/2} \geq 0.05$).	58
Cuadro 3.3. Diseño experimental factorial 5 edades x 3 épocas climáticas con 3 repeticiones.	62
Cuadro 4.1. Análisis de varianza (ANOVA) de las variables en estudio de 5 edades del henequén y 3 épocas climáticas de cosecha.	72

Índice de Cuadros

Página

58	Variación de la altura de las plantas de los plantales comerciales de henequén seleccionados por edades	Cuadro 3.1.
58	Altura (cm) de los individuos seleccionados como unidades experimentales según su edad, $\mu \pm \sigma$ ($P_{0.05} \leq 0.05$)	Cuadro 3.2.
62	Diseño experimental factorial 2 edades x 3 épocas climáticas con 3 repeticiones	Cuadro 3.3.
72	Análisis de varianzas (ANOVA) de las variables en estudio de 2 edades del henequén y 3 épocas climáticas de cosecha	Cuadro 4.1.

Índice de Figuras

	Página
Figura 3.1. Variación de las poblaciones de henequén seleccionadas por edades y de los individuos elegidos como unidades experimentales.	55
Figura 3.2. Heterogeneidad en la altura de planta de los planteles comerciales de henequén seleccionados.	59
Figura 3.3. Altura de planta de los individuos de henequén seleccionados.	59
Figura 4.1. Peso de las piñas y jugo cocido de henequén por edades.	74
Figura 4.2. Sólidos solubles totales de las piñas y del jugo cocido de henequén por edades.	76
Figura 4.3. Azúcares reductores del jugo cocido de henequén por edades.	78
Figura 4.4. Volumen de destilados de henequén por edades.	80
Figura 4.5. Contenido de etanol de los destilados de henequén por edades.	82
Figura 4.6. Peso de las piñas y jugo cocido de henequén por época climática.	84
Figura 4.7. Sólidos solubles totales de la piña y del jugo de henequén por época climática.	86
Figura 4.8. Azúcares reductores del jugo cocido de henequén por época climática.	87
Figura 4.9. Volumen de destilados de henequén por épocas climáticas.	89
Figura 4.10. Contenido de etanol de los destilados de henequén por épocas climáticas.	91
Figura 4.11. Efecto de la interacción de la edad del henequén y la estacionalidad climática en el peso de la piña de henequén.	93

Figura 4.12.	Efecto de la edad del henequén y la estacionalidad climática en el contenido de sólidos solubles totales de la piña de henequén.	96
Figura 4.13.	Efecto de la interacción de la edad del henequén y la estacionalidad climática en el contenido de azúcares reductores del jugo cocido de la piña de henequén.	98
Figura 4.14.	Efecto de la interacción de la edad del henequén y la estacionalidad climática en el peso de la piña de henequén.	94, 100

Resumen

La "piña" de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.) es una estructura formada por el tallo y la base de las hojas, en la cual se encuentran sustancias de reserva principalmente carbohidratos no estructurales, que pueden ser utilizados para la obtención de destilado alcohólico. Para la presente investigación se estudiaron piñas de plantas de 5, 8, 15, 18 y 19 años, edades que van del inicio de la etapa productiva de fibra a su decadencia. Se estudiaron durante tres periodos climáticos bien definidos en el estado de Yucatán: el seco cálido, el cálido con lluvias y el seco fresco, con poca precipitación y vientos variables, también denominado periodo de nortes. Las piñas utilizadas para la producción del destilado alcohólico, se procesaron en el siguiente orden: cosecha, troceado, cocimiento, extracción de jugo, elaboración de mosto, fermentación, primera destilación y destilación de rectificado. Las variables cuantificadas fueron: peso fresco y cocido de la piña, jugo cocido, sólidos solubles totales, azúcares totales y

reductores, volumen de destilado alcohólico y contenido de etanol. Las piñas de las edades de 18 años hasta antes o durante la aparición del pedúnculo de la inflorescencia presentaron las mejores características agroindustriales para obtener destilado alcohólico con riqueza en etanol de 500 g l⁻¹. Las mejores características físico-químicas de las piñas se presentaron, en orden de importancia, en la época de secas y la de lluvias; sin embargo, todo el año se puede obtener etanol.

Abstracts

The "Pineapple" from henequen (*Agave fourcroydes* Lem.) is a structure formed by the stem and the base of the leaves, in which reserve substances primarily nonstructural carbohydrates can be found, that can be used to obtain a distilled alcohol. For this research pineapples of plants of 5, 8, 15, 18 and 19 years old were used, ages that go from the beginning of the productive stage of fiber to their decay. They were studied in the state of Yucatan during three defined climatic periods: dry warm, warm with rains and dry-fresh, with little variable precipitation and winds, also denominated period of "nortes". The pineapples used for the production of the distilled alcohol, were processed in the following order: harvest, cut in small peaces, cooked, juice extraction, must elaboration, fermentation, first distillation and rectification of first distillation. The variables quantified were: fresh and cooked weight of the pineapple, cooked juice, total soluble solids, total sugars and reducers, volume of distilled

alcohol and ethanol content. The 18 year old pineapples until before or during the appearance of the inflorescence peduncle presented the best agro-industrial characteristics to obtain distilled alcohol with ethanol richness of 500 g l⁻¹. The best physical-chemical characteristics of the pineapples appeared, in sequence of importance, at the time of droughts and of rains; however, ethanol can be obtained the whole year.

1. Introducción

El cultivo del henequén (*Agave fourcroydes* Lem), por la producción y calidad de la fibra que de esta planta se obtiene, fue, es y probablemente será un icono de identidad de Yucatán, cuenta con toda una historia y tradición, que a través del tiempo ha logrado permear a todos los rincones de mundo.

En Yucatán por la importancia de la fibra de henequén y su producción, esta permitió cimentar toda una agroindustria, la de producción de fibra natural cruda, con épocas de bonanza de alta demanda de fibra, que fue exportada al interior de la nación y a otros países demandantes; con eventos tecnológicos influyentes como la desfibradora, hilos de engavillar, fabricación de alfombras, pasta celulósica, polímeros con fibra de henequén y otros mas (Magdub-Méndez, 2000); y tiempos de crisis con fuerte caída en la demanda de fibra, pérdida de competitividad ante otras fibras sintéticas y naturales en el mercado (Colunga-GarcíaMarín, 1998); contracción de la demanda general,

descenso del comercio de la fibra bruta; baja pronunciada en los precios de la fibra debido al exceso de la oferta mundial, desmotivando al productor henequenero a cuidar y fomentar el cultivo e incluso abandonando sus plantíos (Vela-Sosa, 2002).

Debido a la importancia económica de la fibra del henequén en la entidad, la agroindustria de este cultivo se enfocó solamente en la hoja desatendiendo otros órganos no menos importantes, como el tallo y las bases de hojas.

El henequén es un vegetal que almacena carbohidratos no estructurales de reserva (Colunga-GarcíaMarín *et al.*, 1993) en algunas secciones del tallo y en las bases de las hojas insertas en el mismo (piña), que puede y ha sido utilizado como materia prima para la producción de destilado alcohólico, (el caso más reciente es la empresa Licores de Henequén, S.A. de C.V.) y de esta forma incrementar las alternativas de uso de esta planta e incorporarle valor agregado a la producción, y la agroindustria se

pueda sustentar en un cultivo agrícola de múltiples propósitos: producción de fibra, alcohol y miel.

Por la importancia de los carbohidratos no estructurales, tanto desde el punto de vista biológico como agroindustrial, esta planta presenta un alto potencial de usos alternativos, para ello es necesario conocer como esta planta, durante el largo período de producción de fibra, desarrolla la piña y acumula los carbohidratos no estructurales, y cual es la edad más adecuada para obtener los mejores rendimientos en la producción de destilado alcohólico.

Otro aspecto importante es el clima regional. Las condiciones climáticas anuales presentan cambios y períodos más o menos definidos, asociados con respuestas fisiológicas y desarrollo de la planta, por eso, es importante valorar la relevancia de la estacionalidad climática anual de la zona henequenera en la producción y calidad de la materia prima para la obtención del destilado alcohólico.

1.1. Literatura citada

Magub-Méndez A. 2000. Producción mundial de henequén y sisal y su proyección a principios del siglo XXI. *Agronómica* 1: 20-22

Vela-Sosa. R., 2002. Breve reseña de la industria henequenera y sus relaciones con el exterior (apuntes para el estudio de la historia económica de Yucatán). Universidad Tecnológica Metropolitana. Maldonado editores del Mayab. pp 70-91.

Colunga-GarcíaMarín P., May-Pat F., 1993. Agave studies in Yucatan, México. I. Past and present germoplasm diversity and uses. *Economic Botany*. 47:312-327.

Colunga-GarcíaMarín P. 1998. Origen, variación y tendencias evolutivas del henequén (*Agave fourcroydes* Lem). *Bol. Soc. Bot. México* 62: 109-128.

2. Antecedentes

a. Importancia del henequén a nivel mundial

El uso de las fibras ha llevado a la sociedad a clasificarlas de acuerdo a su origen en naturales y sintéticas. Entre las naturales destacan las fibras duras de las hojas del henequén , fique (*Furcraea macrophylla* Baker), cabuya (*Furcraea cabuya* Trel.), sisal (*Agave sisalana* Perr.), yucas (*Yucca filifera* Chabaud; *Y. filamentosa* L.; *Y. glauca* Nutt.; *Y. elata* Engelm.), sansevieria o cubarina (*Sansevieria* sp), abacá (*Musa textilis* Née), caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.), palma iraca (*Carludovica palmata* R&P), plátano (*Musa paradisiaca* L.), entre otras (Simbaña-Villarreal 2002; Robles, 1980). Estas fibras son ampliamente utilizadas en la agricultura, cordelería, empaques, aglomerados, decoración, artesanías, industria automotriz, textiles, papel, combustible y aislantes térmicos. La FAO (2000, 2001, 2003) menciona que las fibras de mayor importancia mundial son el yute (*Corchorus capsularis* L.; *C. olitorius* L.),

Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.), abacá, bonote o fibra de coco (*Cocos nucifera* L.), y dos agavaceas: el sisal y el henequén.

La producción mundial de fibra de sisal y henequén en los años 2001 y 2002 fue de 308,600 y 306,600 ton, respectivamente. En 2002, Brasil contribuyó con 125,000 ton (casi el 40%), China con 38,000 ton (12%), México con 31,000 ton (10%), y Kenya y Tanzania con 23,000 ton (7%) cada uno (FAO, 2003). Los principales países productores de fibras de henequén son: México, Cuba, Guatemala, Honduras, Nicaragua y República Dominicana (FAO, 2003; Colunga-García Marín, 1993), los cuales produjeron 43,000 ton en 2001; siendo México el principal productor con alrededor del 80% de la fibra producida (FAO, 2001).

b. Importancia socioeconómica del henequén a nivel nacional y estatal

En México los estados productores son Yucatán y Tamaulipas (Colunga-García Marín, 1993); el primero de ellos, con una superficie sembrada de 44,954 ha y cosechada de 12,406 ha con una producción de 3,901 ton de fibra en el ciclo agrícola 2002/2003 (Gobierno de Yucatán, 2004), es el principal productor; Tamaulipas en 2004 reportó 4,439 ha sembradas y cosechadas (Gobierno de Tamaulipas, 2004).

En Yucatán la agroindustria henequenera ha tenido gran trascendencia económica y social, desde la domesticación por los mayas en épocas prehispánicas hasta los tiempos actuales en los que se obtiene una de las fibras naturales de mayor calidad e importancia mundial (Colunga- GarcíaMarín, 1998). El henequén ("Sac Ki" en maya), puede ser utilizado como agente de refuerzo en materiales compuestos, debido a que las fibras son de gran longitud, poseen propiedades físicas y mecánicas

de mayor tenacidad y menor elongación al rompimiento en comparación con otras fibras naturales, (Aguilar-Vega y Cruz-Ramos, 1990; Cazaurang-Martínez *et al.*, 1991; Villarreal *et al.*, 1992; Herrera-Franco y Aguilar-Vega, 1996). Además, tiene otros atributos deseables como es la obtención de materiales estructurales de fibra corta, de celulosa, de bagazo para la producción de hongos, de ésteres y éteres de la celulosa (Tappan Martínez, 1985), de sapogeninas esteroideas, además de los usos tradicionales en la fabricación de sogas, jarcias, cordelería y otros productos derivados, utilizados en ciertas actividades de la navegación, pesca, cacería, transportación y decoración (Robaina-Rodríguez *et al.*, 1979; Cáceres Farfán, 1990).

Los rendimientos y la producción de fibra del henequén han estado disminuyendo debido a los altos costos de producción y pérdida de competitividad en el mercado (Hinojosa, 2004), desmotivando al productor henequenero a cuidar y fomentar el cultivo, llegando al extremo de vender las piñas de henequén

joven a tequileros del occidente del país y abandonando sus plantíos por la falta de alternativas de uso de ésta planta (Velasosa, 2002). El henequén es un cultivo histórico en el estado de Yucatán, que ya no tiene la relevancia económica de antaño, pero sí la de carácter social debido al gran número de personas relacionadas con esta actividad (Hinojosa, 2004); por esta razón, es importante el aumentar las alternativas de uso de la planta e incorporar valor agregado al cultivo con el uso de las piñas.

c. Búsqueda de valor agregado en el henequén

A partir de 2000 el Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY) implementó el proyecto "Búsqueda de valor agregado al henequén", del cual se ha generado tecnología para producir un destilado alcohólico a partir de piñas en decadencia, planteando el uso del henequén de doble propósito, la producción de fibra y un destilado alcohólico (Larqué-Saavedra *et al.*, 2004). La obtención del destilado alcohólico de este vegetal, motivó a escalar la producción de la

bebida alcohólica a nivel industrial (Sánchez, 2004); el registro de la patente para la fabricación de bebida alcohólica a partir del henequén (Larqué-Saavedra *et al.*, 2004) y de las marcas “Henequén” y “Sisal” para su identificación comercial.

Del *Agave foucroydes* Lem se distinguen regionalmente las variedades sac ki (henequén blanco) y yaax ki (henequén verde) que por su contenido de azúcares y rendimiento en la producción de bebidas alcohólicas son potencialmente utilizables para este fin (Martínez *et al.*, 2004). Actualmente se están realizando estudios científicos y tecnológicos enfocados a la producción de azúcares relacionados con la producción de etanol, en piñas en diferentes estados de desarrollo, aislamiento y selección de levaduras, y en la elaboración de una bebida alcohólica, con características organolépticas semejantes a las bebidas destiladas obtenidas de otros agaves (Cáceres *et al.*, 2004).

En la crónica de Rogelio de Bodeham de 1564 (Irigoyen, 1975) menciona la obtención de miel a partir del maguey (henequén) que crece alrededor de Mérida, antecedente que refleja la utilización de los azúcares de la planta para consumo humano.

En Jalisco, debido a los continuos ciclos de abundancia y escasez del agave tequilero, en las épocas de sobreproducción, el alto contenido de azúcares, entre 18 a 25 % de la piña, se desaprovechan al no ser utilizados en la fabricación del tequila, lo que planteó la necesidad de otros usos alternativos para aprovechar estos carbohidratos no estructurales. A mediados de la década de los 90s del siglo pasado surgen las tecnologías de obtención del jarabe o miel de agave tequilero y la introducción de productos edulcorantes de agaves para consumidores de miel o jarabes como la de abeja y la de maple, para los mercados nacional y extranjero (Lichtenthaler y Mondel, 1997; Partida y Gómez, 1997; Vijn y Smeekens, 1999).

Los carbohidratos no estructurales de reserva en la piña de los agaves son polifruktanos lineales como la inulina y ramificados (López *et al.*, 2003) que al hidrolizarse producen principalmente fructosa y en menor proporción glucosa y sacarosa.

En el henequén se ha reportado la presencia de fructanos en las hojas y tallo y el contenido de éstos varía con la estacionalidad climática de la zona henequenera (García, 2006).

En la búsqueda de valor agregado del henequén, el lograr incorporar en el sistema agroindustrial la obtención y producción de destilado alcohólico y de miel, a partir de los azúcares contenidos en los jugos de sus piñas del henequén, se incrementaría la diversificación de los productos agroindustriales y el aprovechamiento integral de la planta al utilizar las hojas en forma tradicional y agregar el uso industrial de las piñas.

2.1. El proceso de producción de destilado alcohólico

La obtención de bebidas espirituosas de los azúcares contenidos en los jugos de agaves como producto de la fermentación a partir de los caldos se remonta desde antes de la conquista española (Colunga-García Marín y May-Pat, 1993), y como destilados alcohólicos después de la conquista por la difusión de la técnica de destilación filipina a partir de la región costera de Colima, primero y después por la difusión del destilador tipo árabe (Colunga-GarcíaMarín y Zizumbo-Villarreal, 2007).

En la República Mexicana, se encuentran distribuidas numerosas especies del agave que son utilizadas para la obtención de destilados alcohólicos; algunas de ellas domesticadas y cultivadas como el *Agave tequilana* Weber cv. Azul para tequila (Valencia y Cházaro, 2004); el mezcal de las especies *A. angustifolia* Haw. (maguey espadín); *A. asperima* (Sinónimo) *jacobi*, (maguey de cerro, bruto o cenizo); *A. weberi* Cels ex Poisson. (maguey de mezcal); *A. potatorum* Zucc. (maguey de mezcal); *A. salmiana*

Otto.S ex. *salm ssp crassispina* (Trel.) Gentry. (maguey verde o mezcalero) y otras de explotación silvestre como *A. angustifolia* Haw. (Barraza-Morales et al., 2006) utilizada en la elaboración del bacanora de Sonora (Núñez et al., 2004); *A. maximiliana* Baker, *A. inaequidens ssp. inaequidens*, para la elaboración de la "raicilla" en la región de Talpa-Mascota en Jalisco; y *A. rhodocanta* Trel; *A. angustifolia* para la elaboración de la raicilla en el Tuito, Jalisco (Valencia y Cházaro, 2004) en el occidente de México; algunas regiones de Oaxaca con especies como *A. marmorata* Roelzl., *A. karwinskii* Zucc., *A. convallis* (*A. kerchovei* Lem.), *A. americana* L., y otras no identificadas del género Agave, semicultivadas o silvestres que se aprovechan para la elaboración del mezcal (Espinosa et al., 2004); además de la especie cultivada y utilizada en la extracción de fibra de la hoja conocida como henequén.

El proceso de producción de destilado alcohólico a partir de la piña de henequén se describe en la patente 219235 del IMPI (Larqué-Saavedra et al., 2004), la cual incluye las etapas: corte

de la piña en secciones, cocimiento, molienda o extracción del jugo, elaboración del mosto e inculo, fermentación, primera destilación o de destrozado del mosto de la que se obtiene el denominado producto ordinario, y segunda destilación o redestilación del destilado ordinario de la que se obtiene el producto blanco.

Selección de piñas

Según Larqué-Saavedra (2004) la piña del henequén es la parte central de la planta sin hojas, de la cual se aprovecha el jugo para la elaboración de un producto en forma de bebida alcohólica y se puede obtener de plantas de henequén de edad entre los 7 y 20 años; definición genérica que considera la totalidad del tallo del henequén. Sin embargo, la parte aprovechable de la planta denominada como, la piña del henequén esta integrada por el tallo más las bases de hojas, insertas en el mismo, de la sección verde y más joven del tallo que presenta características adecuadas para ser utilizada como

materia prima en el proceso de fabricación de la bebida

destilada alcohólica.

destilación o de destilado del mosto de la que se obtiene el

denominado producto ordinario. Y segunda destilación

destilación del destilado ordinario de la que se obtiene el

producto blanco.

Selección de pajas

Según Larue-Savotz (2004) la paja del trépano es la paja

central de la planta sin hojas, de la cual se aprovecha el jugo

para la elaboración de un producto en forma de bebida

alcohólica y se puede obtener de plantas de trépano de edad

entre los 7 y 20 años; definición genérica que considera la

totalidad del tallo del trépano. Sin embargo, la paja

aprovechable de la planta denominada como la paja del

trépano está integrada por el tallo más las pajas de hojas,

trachea en el mismo, de la sección verde y más joven del tallo

que presenta características adecuadas para ser utilizada como

Cocimiento

El cocimiento de la piña de henequén como en otros agaves (Cedeño y Alvarez-Jacobs, 2000; Rodríguez *et al.*, 2002), es la transferencia de calor, por convección del vapor de agua a la superficie de la piña, y al interior de la misma por conducción, lo que permite el ablandamiento de la textura del agave, debido a la pérdida de turgencia, de aire vascular y extracelular y a la desnaturalización y degradación de los componentes de la membrana celular y otros polisacáridos del agave (Lamas *et al.*, 2004); el tiempo de cocimiento juega un papel importante para alcanzar las características fisicoquímicas adecuadas en la piña.

Extracción del jugo de la piña

En la extracción del jugo de la piña cocida de agaves, incluyendo al henequén, se rompen los tejidos (Lamas *et al.*, 2004) por trituración y los azúcares son transportados por el agua celular y recuperados en el jugo. La cantidad de azúcares extraídos depende de la eficiencia de la molienda.

Elaboración de mosto de jugo de henequén

El mosto de henequén para fermentar, como el de otros agaves, se elabora con el jugo cocido con 12 °Brix o menor, y consta de compuestos derivados de la reacción de Maillard, ácidos grasos, aldehídos (Gschaelder *et al.*, 2004) y concentración de azúcares variable, principalmente fructosa, que son componentes de la piña, y que en los procesos previos se hacen presentes e influyen en las características organolépticas del producto final.

Al jugo cocido, se le adiciona sulfato de amonio como fuente de nitrógeno y se mantiene a temperatura de 30 ± 2 °C. Se agrega la levadura CICY KI (*Kluyveromyces marxianus*) y no la levadura *Saccharomyces cerevisiae*, que es la más utilizada en el proceso de fermentación alcohólica.

Fermentación

Es la transformación de los azúcares del mosto del jugo cocido del henequén, por la actividad biológica de la levadura, en alcohol etílico y otros compuestos minoritarios, que juegan un papel importante en las características del producto final. Se identifican tres etapas durante el proceso: el transporte de los azúcares, la transformación de éstos en piruvato y transformación en etanol (Gschaedler *et al.*, 2004).

Destilación

Es la separación de los componentes individuales de una mezcla líquida homogénea o mosto del jugo de agave. El principio es crear un íntimo contacto entre la mezcla líquida inicial y la fase de vapor para realizar la transferencia de masas entre ambas y lograr la separación de los componentes de la mezcla líquida inicial, al extraer principalmente el alcohol y concentrarlo en el líquido condensado final. Esto se alcanza cuando el líquido de la mezcla se vaporiza por ebullición y se

recuperan y condensan los vapores (Prado, 2004). La destilación de mosto fermentado de agave es la denominada diferencial que se realiza en dos etapas:

Primera destilación o destrozado del mosto

Se obtiene un producto denominado ordinario con un grado alcohólico entre 20 y 30% etanol volumen; del destilado se identifican las fracciones denominadas cabeza, cuerpo y cola.

El cuerpo de la destilación se obtiene en el rango de temperaturas de 65 a 98 °C, y tiene el mayor contenido de etanol y volumen del destilado aprovechable; por debajo de los 65 °C se obtiene la llamada cabeza de destilación, que se caracteriza por su alto contenido de alcohol metílico y bajo volumen, producto no aprovechable; y por arriba de los 98 °C se obtiene las colas de destilación, donde se encuentran principalmente alcoholes superiores y bajo volumen de destilado no aprovechable.

Segunda destilación, redestilación o rectificado del producto ordinario

Se obtiene un destilado con un contenido de alcohol etílico entre los 50 y 60 % de alcohol/volumen.

El cuerpo de la redestilación del ordinario se obtiene entre las temperaturas de 75 a 85 °C, y tiene el mayor contenido de etanol y volumen del destilado aprovechable; por debajo de los 75 °C se obtiene la llamada cabeza de la redestilación, que se caracteriza por su alto contenido de alcohol metílico y bajo volumen, producto no aprovechable; y por arriba de los 85 °C se obtiene las colas de destilación llamadas flemazas, donde se encuentran principalmente alcoholes superiores y bajo volumen de destilado no aprovechable.

2.2. La Importancia de la edad de la planta

Las plantaciones de henequén son establecidas con clonas obtenidas vía reproducción vegetativa, por rizoma o bulbilos (Bolio, 1914; Font Quer, 1977; Cocucci y Hunziker, 1994; Eastmond *et al.*, 2000). Bajo este sistema de propagación las plantaciones establecidas hipotéticamente son genéticamente homogéneas y con patrón de desarrollo similar.

Morfológicamente la planta puede producir de 360 a 370 hojas, las cuales se cosechan y se ubican en el centro de la planta, generalmente conocida como piña.

Se destaca el hecho de que la piña permanece en los planteles después de cosechadas las hojas, periodo comprendido entre los últimos 15 a 20 años del cultivo (Guerrero y Dzib, 1983; Ramírez *et al.*, 1984), es una estructura que funciona como un

reservorio de fotoasimilados producidos por las hojas de la planta. Cuando la planta florea, las reservas de la piña son importantes para asegurar la producción de semillas o bulbilos y asegurar la sucesión del ciclo biológico (Macossay y Castillo, 1986).

En los agaves, el tamaño de la reserva está en función de la edad de la planta. Por esta razón, la cosecha de piñas para la extracción de los azúcares a través de jugos fermentables se realiza a diferentes edades: para el tequila, el agave tequilero (*A. tequilana*), entre los cinco y diez años (Cedeño y Alvarez-Jacobs, 2000), o cuando aparece la inflorescencia o quiote, que puede ocurrir en cualquier año a partir del cuarto (Valenzuela-Zapata, 1985); para el mezcal del altiplano potosino-zacatecano, el maguey verde, entre ocho y once años (Tello-Balderas y García-Moya, 1985); para el mezcal de Oaxaca, el agave espadín (*A. angustifolia*), de por lo menos de ocho años, y para el bacanora y el mezcal papalote de Chilapa, cuyos agaves son silvestres, de edades no definidas (Illsley et al. 2004).

Debido a que el henequén, durante la etapa de producción hasta la decadencia mantiene un número de entre 25 y 30 hojas (INIA-CIAPY, 1981; Guerrero y Ramírez, 1993) con diferente grado de madurez fisiológica, aunque no hay estudios reportados relativos con la piña de henequén, se esperaría que el tamaño de la reserva en la piña no se vea afectado en el peso o volumen de la misma y mantenerse más o menos constante a través de los años de cultivo, pero el contenido de sólidos solubles y de azúcares podría incrementar conforme aumenta la edad del henequén.

El uso de la piña como una fuente de azúcares fermentables que pueden producir alcohol (Cedeño y Alvarez-Jacobs, 2000; Martínez *et al.*, 2004) fue mencionada en la prensa desde los años 1960's y en el 2003 se patentó este proceso (Larqué *et al.*, 2004). Es posible considerar de que una vez que las hojas de henequén en una plantación sean removidas tan pronto alcanzan la máxima longitud: 1) solo una pequeña proporción de

fotoasimilados son translocados al tallo. 2) que la calidad de tales fotoasimilados necesitan ser descritos y 3) el reservorio llamado piña no aumenta tanto en peso y volumen como en otros agaves donde las hojas permanecen unidas al tallo. Aun más, la cantidad y la calidad de los fotoasimilados que son acumulados en el tallo dependerá de la edad de la planta.

2.3. Importancia de la estacionalidad climática

Los vegetales reaccionan al ambiente, en particular al clima de acuerdo a su grado de plasticidad fisiológica, estructural y fenológica. De esta manera, en algunas especies la ocurrencia de las fenofases vegetativa y reproductiva pueden ser modificadas, si es que éstas presentan plasticidad fenológica. Esta plasticidad es expresada generalmente en respuesta a estímulos del clima como la temperatura, irradiación, precipitación pluvial y la humedad edáfica y del aire (Prause y Angeloni, 2000; Gastiazoro, s/a). Las plantas CAM como los agaves presentan un alto grado de plasticidad fisiológica y fenológica (Dodd *et al.*, 2002). Estos elementos climáticos presentan variaciones diarias y estacionales, estimulando respuestas fisiológicas en los vegetales y sus órganos; a corto plazo (i.e. fotosíntesis, respiración, transpiración, apertura o cierre de estomas; transporte de fotoasimilados), o estructurales a mediano y largo plazo (i.e. cambios en la estructura foliar, morfología radical).

En el henequén, parte de los fotoasimilados son almacenados como carbohidratos no estructurales en la piña de la planta, los que pueden ser utilizados para la obtención de alcohol etílico. Las hojas suculentas fotosintéticas del agave que producen los carbohidratos que eventualmente son almacenados en la piña, son afectados por los cambios ambientales estacionales (Pimienta-Barrios *et al.*, 2001; Pimienta-Barrios *et al.*, 2006), independientemente del aprovechamiento antropógena de la fibra de las hojas sea el objetivo agrícola de esta planta.

En plantas CAM como el *A. fourcroydes*, gran parte de la asimilación de CO₂ atmosférico ocurre en la noche, cuando ocurre la apertura de estomas (Nobel, 1985;), y con el aprovisionamiento de azúcares extracloroplásticos en las hojas (Chenm *et al.*, 2000); parte de esta energía reductora se emplea para la síntesis del aceptor nocturno de CO₂ (fosfoenolpiruvato), durante la fase I del metabolismo CAM, lo cual da origen al ácido málico (Osmond, 1978; Nobel, 1985). Este ácido es la

fuelle del CO₂ que es refijado por Rubisco durante el día (fase II del metabolismo CAM), alimentando de esta manera el ciclo de Calvin (Nobel *et al.*, 2002) para la formación de azúcares (fotoasimilados), que son utilizados para el crecimiento, mantenimiento, protección de la planta y para almacenarse en gran parte como carbohidratos no estructurales en los tejidos de reserva (Nobel *et al.*, 1998), lípidos (Robles, 1980) y otros (Wang and Nobel, 1998).

Las temperaturas altas (>55 °C) reducen la asimilación neta de CO₂ en *A. tequilana* debido a que estimulan la respiración, y las bajas (-6 °C) causan daño al tejido fotosintético. Las temperaturas promedio frescas día/noche (25/8 °C) aumentan la ganancia de carbono, y en menor grado también las temperaturas ligeramente frías (15/5 °C) (Nobel *et al.*, 1998; Pimienta-Barrios *et al.*, 2001; Pimienta-Barrios *et al.*, 2006). En *A. fourcroydes* la asimilación neta de CO₂ presenta una relación positiva con el incremento en el flujo de fotones para la fotosíntesis (Nobel, 1985).

La asimilación de CO₂, así como la acumulación de carbohidratos en los vegetales es afectada por la variación estacional de la temperatura, irradiación y la humedad disponible del suelo. En especies como *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (nopal) y *Stenocereus queretaroensis* Weber (Pitayo) se registraron valores más bajos de asimilación neta de CO₂ en el verano y los más altos durante el otoño e invierno (Pimienta-Barrios *et al.*, 2000), coincidiendo este incremento en la ganancia de carbono con temperaturas frescas día/noche y aumento en la irradiación debido a que se reduce la nubosidad (Pimienta-Barrios *et al.*, 2000; Nobel *et al.*, 2002). Respuesta fisiológica estacional se observó en *Agrostis stolonifera* var. *Palustris* Hudson en la cual el contenido de carbohidratos no estructurales, sacarosa y fructosa disminuyeron durante el verano, y aumentaron en el otoño (Xu y Huang, 2003). Por el contrario, en los nódulos de las raíces de *Lathyrus maritimus* L., el contenido de almidón se incrementó en el verano y disminuyó en el invierno (Chinnasamy y Bal, 2003)

En los agaves, la biosíntesis de fructanos está confinada al tejido vascular de las hojas maduras, de donde son transportados por el floema, como en *Agave deserti* (Wang and Nobel, 1998); y fructanos como la inulina son sintetizados y almacenados en el tallo de los agaves, cuya función es de reserva y como osmoprotector contra la sequía (Aspinall y Gupta, 1959; Bautista-Justo *et al.*, 2001).

En la zona henequenera, el clima varía de cálido, el más seco de los subhúmedos ($Aw_0(w)(i)$) regionalmente conocido como tropical semiárido, hasta cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw_0) (García, 1988) y probablemente los carbohidratos no estructurales presenten variación estacional relacionadas con las condiciones ambientales, y, por lo tanto, variación en la producción de alcohol (Nobel *et al.*, 1998; Pimienta-Barrios *et al.*, 2001; Ruiz-Corral, 2002). La zona henequenera presenta clima cálido durante la mayor parte del año. La temperatura media anual es mayor de 27 °C, y en el mes más frío ésta es superior a

los 18 °C. El período más cálido ocurre de abril a octubre, con un periodo fresco de diciembre a febrero y dos periodos transicionales en noviembre y marzo (Duch, 1991); además, la influencia diferencial de la cercanía marítima, en el régimen de los vientos alisios y los llamados nortes. El periodo de lluvias se presenta en verano, entre mayo y octubre y entre noviembre y abril el periodo seco; la época de nortes de noviembre a febrero, cuando se registra del 5 al 10% de la precipitación pluvial o lluvia otoño-invernal; la lluvia del mes más seco es menor de 60 mm y la humedad relativa durante el año mayor del 60%.

los 18 °C. El período más cálido ocurre de abril a octubre, con un período fresco de diciembre a febrero y dos períodos transicionales en noviembre y marzo (Duch, 1981); además, la influencia diferencial de la corriente marítima, en el régimen de los vientos alisios y los llamados nortes. El período de lluvias se presenta en verano, entre mayo y octubre y entre noviembre y abril el período seco; la época de nortes de noviembre a febrero, cuando se registra del 5 al 10% de la precipitación pluvial o lluvia otoño-invernal; la lluvia del mes más seco es menor de 60 mm y la humedad relativa durante el año mayor del 60%.

2.4. Objetivo

El objetivo de este trabajo fue: evaluar el efecto de la edad de la piña del henequén y de la variación estacional de los factores ambientales como la temperatura, la irradiación y la humedad disponible en las características físicas y químicas, relacionadas con la producción de destilado alcohólico. En este trabajo se postula que las temperaturas frescas van a favorecer la producción de destilados alcohólicos, debido a que aumentan la ganancia de carbono, reduciendo la respiración en los órganos fotosintéticos y en los tejidos de almacenamiento. Además, estudiar el efecto de la edad de la piña del henequén y la estacionalidad climática anual en la obtención de destilado etílico, posibilita la generación de tecnologías que ayuden a diversificar el aprovechamiento de esta especie.

2.4.1. Objetivos Particulares

a) **Determinar la edad del henequén más favorable para la producción de destilado alcohólico.**

b) **Cuantificar los cambios en el contenido de sólidos solubles y azúcares de la piña y en la producción del destilado alcohólico, en función de la estacionalidad climática anual.**

2.5. Hipótesis.

- La edad y el manejo del henequén, en las condiciones actuales, no influyen en el tamaño de la piña.
- El contenido de sólidos solubles totales y de azúcares utilizables para la producción de destilado alcohólico, aumenta con la edad
- La estacionalidad climática anual afecta la cantidad de sólidos solubles totales y de azúcares disponibles para la producción de destilado alcohólico en la piña de henequén.

2.6. Literatura citada

Aguilar-Vega, Cruz-Ramos C., 1994. Properties of henequen cellulose fibers. *J Appl. Polymer Sci.* 56:1245-1252.

Aspinall, G.O., Gupta, P.C., 1959. The structure of the fructosan from *Agave vera-cruz* Mill. *J. Am. Chem. Soc.* 81: 718-722.

Barraza-Morales, A., Sánchez-Teyer, F.L., Robert M., Esqueda M. y Gardea A. 2006. Variabilidad Genética en *Agave angustifolia* Haw, de la sierra sonorense, México, determinada con marcadores AFLP. *Rev. Fitotec. Mex.* 29:1-8.

Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Salcedo-Hernández, R., Parra-Negrete, L.A., 2001. Azúcares en agaves (*Agave tequilana* Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria* 11(1):33-36.

Bolio, A.J.A., 1914. Manual practico del henequén, su cultivo y explotación. 1ª. Edición. Empresa Editorial Católica, S.A. Mérida, Yucatán. pp 194.

Cáceres-Farfán, M. R., 1990. Aislamiento e identificación de saponinas esteroidales contenidas en el *Agave fourcroydes* Lemaire variedades yax-cí y cítam-cí. Tesis de licenciatura en químico biólogo bromatólogo. TL C324 1990. CICY.

Cáceres F. M, Magdub M. A., Larqué-Saavedra. A., 2004. Elaboración de una bebida alcohólica a partir de piñas de henequén *Agave fourcroydes* en IV Simposio Internacional sobre Agavaceae y Nolinaceae. Los Agaves de Importancia económica en México. Resúmenes presentaciones orales. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán, México. p 57.

Cazaurang-Martínez, M.N., Herrera-Franco, P.J., González-Chi, P.I., Aguilar-Vega, M., 1991. Physical and mechanical properties of henequen fibers. J Appl. Polymer Sci. 43:749-756.

- Cedeño, M. C. y Alvarez-Jacobs, J. 2000. Tequila production from agave. *In: The alcohol textbook*. 3rd ed. Murtagh & Associates (ed). Nottingham University Press.
- Colunga-GarcíaMarín P., May-Pat F., 1993. Agave studies in Yucatan, México. I. Past and present germoplasm diversity and uses. *Economic Botany*. 47:312-327.
- Colunga-GarcíaMarín P. 1998. Origen, variación y tendencias evolutivas del henequén (*Agave fourcroydes* Lem). *Bol. Soc. Bot. México* 62: 109-128.
- Colunga-GarcíaMarín, P y Zizumbo-Villarreal, D. 2007. Tequila and other Agave spirits from west-central Mexico: current germplasm diversity, conservation and origin. *Biodiversity and Conservation* 16(6):1653-1667.
- Cocucci, A.E., Hunzinker, A.T., 1994. Los ciclos biológicos en el reino vegetal. 2^a. Edición. Academia Nacional de Ciencias. Cordoba. Republica Argentina. 99p.
- Chenm, L.S., Lin, Q., Nose A., 2002. A comparative study on diurnal changes in metabolite levels in the leaves of three crassulacean acid metabolism (CAM) species,

Ananas comosus, *Kalanchoë daigremontiana* and *K. pinnata*. J. Exp. Bot., 53:341-350.

Chinnasamy, G., Bal, A.K., 2003. Seasonal changes in carbohydrates of perennial root nodules of beach pea. [En línea] J. Plant Physiol. <http://www.urbanfisher.de/journals/jpp>. (Agosto 2006).

Dodd, A.N, Borland, A.M., Haslam, R.P., Griffiths, H., Maxwell, K., 2002. Crassulacean acid metabolism: plastic, fantastic. J. Exp. Bot. 53:569-580.

Duch, G.J., 1991. Fisiografía del Estado de Yucatán, su relación con la agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo. Edo. de México. 223p.

Espinosa P.H.; Arredondo V.C.; Cano G.M.A.; Canseco L. A.M. y Vázquez Q. L. 2004. Diversidad genética del maguey mezcalero oaxaqueño. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Los Agaves de Importancia económica en México. Resúmenes presentaciones orales. Mérida, Yucatán, México. p 40.

Eastmond, A., Herrera, J.L., Robert, M. 2000. Historia de la Industria Henequenera. La Biotecnología aplicada al henequén: Alternativas para el futuro. CICY. México. 106p.

FAO, 2000. Situación actual y perspectivas a corto plazo para las fibras duras, el yute, kenaf y las fibras afines. Consulta sobre fibras naturales. [En línea] Roma <http://www.fao.org/DOCREP/MEETING/X7097S.HTM> (Agosto 2007).

FAO, 2001. The production of sisal, henequen and other similar hard fibres. Yute, kenaf, abaca, coir and allied fibres. Fibras bulletin [En línea] <http://www.fao.org/DOCREP/MEETING/004/Y3432M/Y3432M00.HTM> (Agosto 2007).

FAO, 2003. Fibras duras notas sobre productos básicos. Comercio y mercados: Departamento de Desarrollo Económico y social. [En línea] http://www.fao.org/es/esc/es/20953/21005/highlight_24347es.html (Agosto 2007).

Font Quer, 1977. Diccionario de Botánica. 6ª. Reimpresión.
Editorial Labor, S.A. España.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación
climática de Köppen. Cuarta edición. Instituto de
Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México.
México, D.F. 211 p.

García, A. M. A. 2006. Determinación y caracterización de
fructanos provenientes de Henequén (*Agave
fourcroydes* Lem). Tesis de Maestría en Ciencias y
biotecnología de Plantas. Centro de Investigación
Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán, México.
45p.

Gastiazoro, B.A., s/a. Fenología Agrícola. Facultad de Ciencias
Agrarias. Climatología y Fenología Agrícola. Universidad
de Comahue. Argentina. (En Línea)
[http://academicos.cualtos.udg.mx/Agroindustrias/Pagina
Fv/Lecturas/Fenologia.htm](http://academicos.cualtos.udg.mx/Agroindustrias/Pagina_Fv/Lecturas/Fenologia.htm) (Agosto 2007).

Gibson, A. C. y P. S. Nobel. 1986. The cactus primer. Harvard
University Press. Cambridge, Mass. 286 pp.

Gobierno de Tamaulipas, 2004. Superficies sembrada y cosechada, volumen y valor de la producción agrícola por tipo de cultivo, principales cultivos y municipios. Henequén. Año agrícola 2004 [En línea]. http://www.agrotamaulipas.gob.mx/informacion_sector/agricultura.htm (Agosto 2007).

Gobierno de Yucatán, 2004. Superficies sembrada y cosechada, volumen y valor de la producción agrícola por tipo de cultivo, principales cultivos y municipios. Henequén. Año agrícola 2002/2003. 2o. Informe de gobierno. Anexo estadístico. Del 01 de julio de 2003 al 30 de junio de 2004 [En línea]. www.yucatan.gob.mx. (Agosto 2006).

Gschaedler, M.A.C., Ramírez, C.J.J, Díaz, M.D.M., Herrera, L.J.E., Arellano, P.M., Arrizón, G.J. y Pinal, Z.L., 2004. Fermentación. *In*: Ciencia y Tecnología del Tequila Avances y Perspectivas. CIATEJ. Guadalajara, Jalisco, México. pp 63-120.

Guerrero, M. R., Dzib, E.R., 1983. Guía para el cultivo del henequén en plantación definitiva. Folleto para

- Pimienta-Barrios, E., Zañudo-Hernández, J., García-Galindo, J., 2006. Fotosíntesis estacional en plantas jóvenes de *Agave tequilana*. *Agrociencia* 40: 699-709.
- Prause, J., Angeloni, P., 2000. Fenología de especies forestales nativas: Abscisión de hojas. *Comunicaciones científicas y tecnológicas*. Universidad del Nordeste. Corrientes, Argentina.
- Prado, R.R., 2004. Destilación. En *Ciencia y Tecnología del Tequila Avances y Perspectivas*. CIATEJ. Guadalajara, Jalisco, México. pp 123-168.
- Ramírez, Ch.J.L., Guerrero M.R., Dzib, E. R., 1984. Normas técnicas para incrementar la productividad en la calidad de fibra del henequén. *Publicación especial No. 1*. INIA-CIAPY. Mérida, Yucatán, México. 48p.
- Robaina-Rodríguez, C.; Basterrechea-Rey, M.; Coll-Camacho, F., Padron-Palomares G., 1979. Estudio fitoquímico del *Agave fourcroydes*_(henequén). *Rev. Cub. Farm.* 13:59-61.

importancia económica en México. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán, México. 6 p

Osmond CB. 1978. Crassulacean acid metabolism: a curiosity in context. *Annu. Rev. Plant. Physiol.* 29:379–414.

Partida V.Z.; Gomez A.J.M. 1997. Method of producing fructose syrup from agave plants. World Intellectual Property Organization. Patent Cooperation Treaty (PCT) WO 97/34017.

Pimienta-Barrios, E., Zañudo, J., Yopez, E., Pimienta-Barrios, E., Nobel, P.S., 2000. Seasonal variation of net CO₂ uptake for cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) and pitayo (*Stenocereus queretaroensis*) in a semi-arid environment. *J. Arid Environments* 44:73-83.

Pimienta-Barrios, E., Robles-Murguía, C., Nobel, P.S., 2001. Net CO₂ uptake for *Agave tequilana* in warm and a temperate environment. *Biotropica* 33: 312-318.

- agaves de importancia económica en México. Resúmenes carteles. Mérida, Yucatán, México. 40p.
- Nobel, P.S., 1985. PAR, water and temperature limitations on the productivity of cultivated *Agave fourcroydes* (henequén). *J. Appl. Ecology* 22:157-173.
- Nobel, P.S., Castañeda, M., North, G.; Pimienta-Barrios, E., Ruiz, A., 1998. Temperature influences on leaf CO₂ exchange, cell viability and cultivation range for *Agave tequilana*. *J. Arid Environments* 39:1-9.
- Nobel, P.S., Pimienta-Barrios, E., Zañudo, H. J., Ramírez-Hernandez, B.C., 2002. Historical aspects and net CO₂ uptake for cultivated Crassulacean acid metabolism plants in Mexico. *Ann. Appl. Biol.* 140:133-142.
- Núñez N.L.; Esqueda V.M.; Salazar S.V.; Wong G.P.; Higuera C.I.; Vallejo C. B.; León B. J y Romo J. K. 2004. Estrategias para el desarrollo de la industria del bacanora en Sonora. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. IV Simposio Internacional sobre Agavaceae y Nolinaceae. Los agaves de

Mexicano de la Propiedad Industrial. Centro de Investigación Científica de Yucatán, México.

Lichtenthaler F W, S Mondel,1997. Perspectives in the use of low molecular weight carbohydrates as organic raw material. Pure Appl. Chem. 69:1853-1866.

Lopez M. G., Mancilla-Margalli, N. A., Mendoza-Diaz ,G. 2003. Molecular structures of fructans from *Agave tequilana* Weber var. azul. J.. Agric. Food Chem. 51:7835-7840.

Macossay V.M., Castillo B.M.E., 1986. Telchac Pueblo: una comunidad henequenera. Colección Cuadernos Universitarios. Serie Agronomía No. 14. Universidad Autonoma Chapingo. México. 178p.

Martínez, T. J., Cáceres, F. M., Colunga-GarcíaMarín P., Lappe, O. P., Larqué-Saavedra., A., 2004. Rescate del yaax ki una variedad de henequén (*A. fourcroydes* Lem) en peligro de extinción, mediante su aprovechamiento para la producción de bebidas alcohólicas. IV Symposium Internacional sobre Agavaceae y Nolinaceae. Los

de uso común. Resúmenes de las presentaciones
orales. IV Simposio Internacional Sobre Agavaceae Y
Nolinaceae. Los Agaves de Importancia Económica en
México. CICY. Yucatán, México.

INIA-CIAPY., 1981. Logros y aportaciones de la investigación
agrícola en el Estado de Yucatán. Mérida, Yucatán,
México. pp 15-22.

Irigoyen, R. 1975. Los mayas y el henequén. *In*: Ensayos
henequeneros. Ediciones Cordemex. Mérida, Yucatán.
pp 54-88.

Lamas, R.R., Sandoval, F.G.C., Osuna, T.A.A, Prado, R.R. y
Gschaedler, M.A.C., 2004. Cocimiento y Molienda. *In*:
Ciencia y Tecnología del Tequila Avances y
Perspectivas. CIATEJ. Guadalajara, Jalisco, México. pp
40-62.

Larqué-Saavedra. A., Magdub, M., A., Cáceres, F.M., 2004.
Proceso para la fabricación de bebida alcohólica a partir
del henequén (*Agave fourcroydes*). Patente de
invención. 219235. Patente otorgada por el instituto

productores No. 7. INIA-CIAPY. Mérida, Yucatán, México. 16p.

Guerrero M.R., Ramírez Ch.J.L., 1993. Cosecha. *In*: Henequén. Editores: J.A. Barrera H. y R. Díaz P. INIFAP-CIRSE. México. pp 43-45.

Herrera-Franco, P.J., Aguilar-Vega, M., 1997. Effect of fiber treatment on the mechanical properties of LDPE-henequen cellulosic fiber composites. *J. Appl. Polymer Sci.* 65:197-207.

Hinojosa, R.A., 2004. El TLCAN y los principales problemas en las cadenas productivas de algunos productos industriales: agave tequilero, henequén y algodón hueso. *Productos industriales*. Universidad Autónoma Chapingo. pp 18-61 [En línea]. www.economia.gob.mx/pics/p/p1763/Industriales.pdf.

(Agosto 2007)

Illsley G. C. y Tlacotempa Z. A. 2004. El proyecto integral del maguey y del mezcal papalote de chilapan (*Agave cupreata* Trel et berg): manejo campesino de un recurso

- Robles, S.R., 1980. Cultivo del henequén (*Agave fourcroydes*. L). En producción de oleaginosas y textiles. 1ª. Ed. Editorial Limusa. México. pp 625-641.
- Rodríguez C.W., Naranjo S., Avila N., Fajer V L., López J C., Cossio G A., Flores R. 2002. Variación de la composición de carbohidratos en diferentes extractos de *Agave tequilana* Weber. In: Congreso Científico del INCA 13. nov 12-15, La Habana, Cuba. Memorias. CD-Rom. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, 2002. ISBN 959-7023-22-9.
- Ruiz-Corral, J.A., Pimienta-Barrios, E., Zañudo-Hernández, J., 2002. Regiones térmicas óptimas y marginales para el cultivo de *Agave tequilana* en el estado de Jalisco. *Agrociencia* 36 (1): 41-52.
- Sánchez C. M., 2004. Apertura de la primera planta de licor de henequén *Agave fourcroydes* en el estado de Yucatán. IV Simposium Internacional sobre Agavaceae y Nolinaceae. Los agaves de importancia económica en

México. Resúmenes carteles. Mérida, Yucatán, México.

p 58.

Simbaña-Villarreal A., s/a . Fibras naturales. Alternativa para el desarrollo nacional. [En línea]

http://www.sica.gov.ec/agronegocios/productos%20para%20invertir/fibras/fibras_naturales_alternativa.pdf

(Agosto 2007)

Tappan Martínez, L. E., 1985. Aprovechamiento de la fibra de henequén para la obtención de ésteres y éteres de la celulosa. Tesis de licenciatura químico industrial. TI t35a

1985. CICY.

Tello-Balderas, J.J. And García-Moya, E. 1985. The mezcal industry in the altiplano potosino-zacatecano of north-central Mexico. Desert Plant 7(2): 81-88.

Valencia P, O.M. y Cházaro B, M.J. 2004. El uso de los agaves en la preparación de bebidas alcohólicas en el occidente de México. IV Simposium Internacional sobre Agavaceae y Nolinaceae. Los Agaves de Importancia

- económica en México. Resúmenes Carteles. Mérida, Yucatán, México. p 39.
- Valenzuela-Zapata, A.G., 1985. The Tequila industry in Jalisco, Mexico. *Desert Plants* 7: 65-70.
- Vela-Sosa. R., 2002. Breve reseña de la industria henequenera y sus relaciones con el exterior (apuntes para el estudio de la historia económica de Yucatán). Universidad Tecnológica Metropolitana. Maldonado editores del Mayab. pp 70-91.
- Vijn I, S Smeekens, 1999. Fructan: More than a reserve carbohydrate? *Plant Physiol.* 120:351-359.
- Villarreal R. L., Maiti F. K., Leyva, F.A., 1992. Estudio anatómico de la fibra de henequén (*Agave fourcroydes*, Lemaire) [En línea]. *Biotam.* Vol: 3, No. 3 <http://ecologia.uat.mx/biotam/v3n3/art2.html> (Agosto 2007).
- Wang, N., Nobel, P.S., 1998. Phloem transport of fructan in the Crassulacean Acid Metabolism species *Agave deserti*. *Planta Physiol.* 116:709-714.

Xu, Q., Huang B., 2003. Seasonal changes in carbohydrate accumulation for two creeping bentgrass cultivars. *Crop Science*. 43: 266-271.

Mexico Desert Plants 7: 65-70.
Vela-Sosa, R., 2002. Breve reseña de la industria henequenera y sus relaciones con el exterior (apuntes para el estudio de la historia económica de Yucatán). Universidad Tecnológica Metropolitana. Matamoros edición del Mayo, pp 70-81.

Vijn, I., S. Smekens, 1999. Fructan: More than a reserve carbohydrate? *Plant Physiol* 150:351-359.
Villmarz R. L., Matti F. K., Lavy, F. A., 1992. Estudio anatómico de la fibra de henequén (*Agave fourcroydes* Lamour.) [En línea]. *Biotam* Vol. 3, No. 3. <http://ecologia.usm.mx/biotam/vol3no3.htm> (Agosto 2007).

Wang, W., Noel, P. S., 1998. Primary transport of fructan in the *Cereulosean Acid Metabolism* species *Agave deserti*. *Plants Physiol* 118:709-714.

3. Metodología experimental

3.1. Ubicación del área experimental

El presente estudio se llevó a cabo en plantaciones cultivadas de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.) en el Rancho San Antonio Temax, localizado en el municipio de Motul, Yucatán, que se encuentra entre los 21° 03' 44.26"N y 89° 16' 26.12"W y 8 msnm, a 4.5 km al SE de la cabecera municipal, y a 10.44 km al NW del poblado más próximo "Cacalchen"; y a una distancia de 44.5 km al Este de la capital del estado. En este rancho fueron seleccionadas cinco áreas de 800 m² (dos mecatres) por cada una de las cinco edades de las plantas de henequén que fueron estudiadas.

De acuerdo a la clasificación FAO/UNESCO, los suelos de esa área son rendzinas y litosoles; someros, con profundidad que varía de 0 a 24 cm; de color café pardo; textura franco arenosa, con estructura en bloques subangulares. El pH de éstos es

alcalino y varía de 7.3 a 8.5. Con un contenido de 31.3 meq 100 g⁻¹ de Ca y 10.2 meq 100 g⁻¹ de Mg (Duch, 1988), con abundante afloramiento de roca caliza. Las calizas blandas tienen el nombre maya de *sahcab* (tierra blanca) y es un rasgo fisiográfico característico del relieve de la mayor parte de la península de Yucatán (Duch, 1991).

3.2. Elección de las edades de los plantíos

Se eligieron plantas de cinco edades: 5, 8, 15, 18 y 19 años de planteles comerciales para llevar a cabo el estudio en el citado rancho. Para cada edad fueron seleccionadas nueve plantas.

3.3. Selección de planteles

En cada área seleccionada, se evaluó la heterogeneidad de los planteles realizando un análisis de la altura de las plantas de la población (Figura 3.1), medida desde el suelo hasta el ápice de la espina terminal del cogollo o de la hoja no desenvuelta. Los estimadores poblacionales de tendencia central, media y

mediana; y de dispersión, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación, se usaron como criterios base para la selección de las unidades (individuos) experimentales.

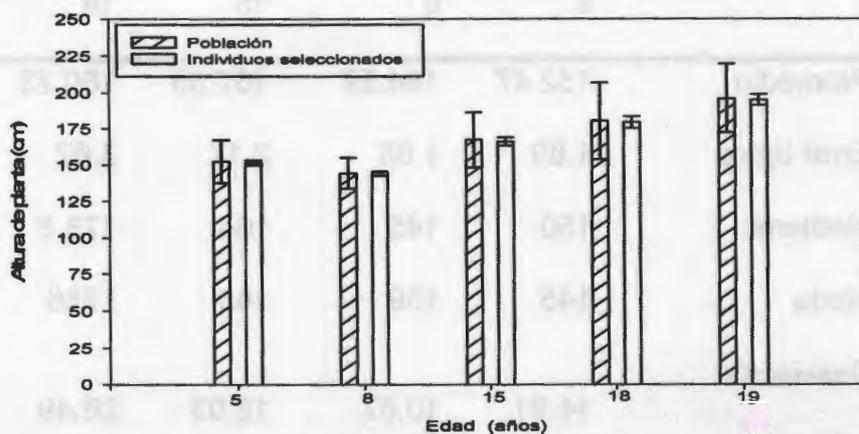


Figura 3.1. Variación de las poblaciones de henequén seleccionadas por edades y de los individuos elegidos como unidades experimentales.

La heterogeneidad de la población se evaluó considerando la cercanía entre la media aritmética y la mediana, en donde se observaron separaciones entre ellas de -2.47 hasta 2.2 cm; y la dispersión de la población, en donde se apreciaron desviaciones estándar de entre 10.67 y 26.49 cm y coeficientes de variación de 7.39 a 11.92 % en las poblaciones. Se calcularon los intervalos de confianza al 95% de probabilidad para cada edad (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Variación de la altura de las plantas de los planteles comerciales de henequén seleccionados por edades.

Parámetro	Edad de establecimiento (años)				
	5	8	15	18	19
Promedio	152.47	144.39	167.36	180.23	195.9
Error típico	1.89	1.08	2.17	3.67	3.24
Mediana	150	145	164	178.5	198
Moda	145	139	145	1756	203
Desviación estándar	14.91	10.67	19.03	26.49	23.34
Varianza	222.38	115.85	362.23	701.98	544.85
Coef. Var. (%)	9.78	7.39	11.67	14.7	11.92
n	62	97	77	52	52
$P_{\alpha/2}(Z) \geq 0.05$	1.65	1.65	1.65	1.65	1.65
LCI (0.05)	149.34	142.6	163.78	174.17	190.58
LCS (0.05)	155.59	146.18	170.94	186.29	201.24

Los planteles comerciales son heterogéneos (Figura 3.2), debido a que los plantíos se realizaron con vástagos (hijuelos) de rizoma, con altura de cogollo de 40-50 cm, procedentes de vivero o de plantaciones establecidas de orígenes desconocidos, pudiendo ser de varios planteles y edades diferentes, y esto se reflejó en variación en la altura de las plantas.

Se eligió como unidad experimental a los individuos ubicados dentro del intervalo de confianza de $\mu \pm z$ ($P_{\alpha/2} \geq 0.05$) para altura de planta y se valoró la homogeneidad de los mismos, lográndose reducir la diferencia entre la media aritmética y mediana de -1.23 a 0.43 cm y disminuir la desviación estándar a 1.44 hasta 3.92 y coeficientes de variación de 1 hasta 2.19 % (Cuadro 3.2), lo que permitió homogeneizar la población con plantas seleccionadas de acuerdo a esta variable (Figura 3.3) y programar las fechas de cosecha en arreglo a la estacionalidad del clima.

Cuadro 3.2. Altura (cm) de los individuos seleccionados como unidades experimentales según su edad. $\mu \pm z$ ($P_{\alpha/2} \geq 0.05$).

Parámetro	Edad de establecimiento (años)				
	5	8	15	18	19
Media (cm)				179.2	
	151.50	144.07	166.15	3	195.13
Error típico	0.54	0.38	0.78	1.09	0.97
Mediana	151.0	144.5	166.0	178.0	195.0
Moda	150.0	145.0	164.0	176.0	191.0
Desviación					
estándar	1.88	1.44	2.82	3.92	3.74
Varianza	3.55	2.07	7.97	15.36	13.98
Coef. Var. (%)	1.24	1.00	1.70	2.19	1.92

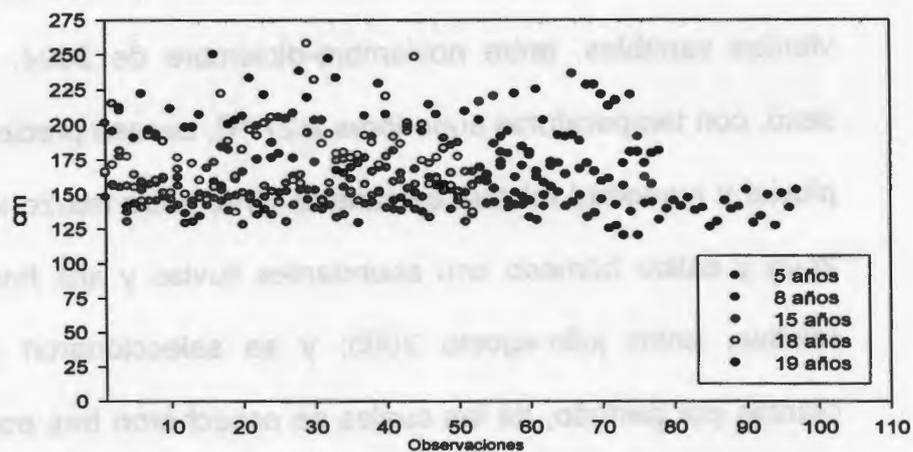


Figura 3.2. Heterogeneidad en la altura de planta de los planteles comerciales de henquén seleccionado:

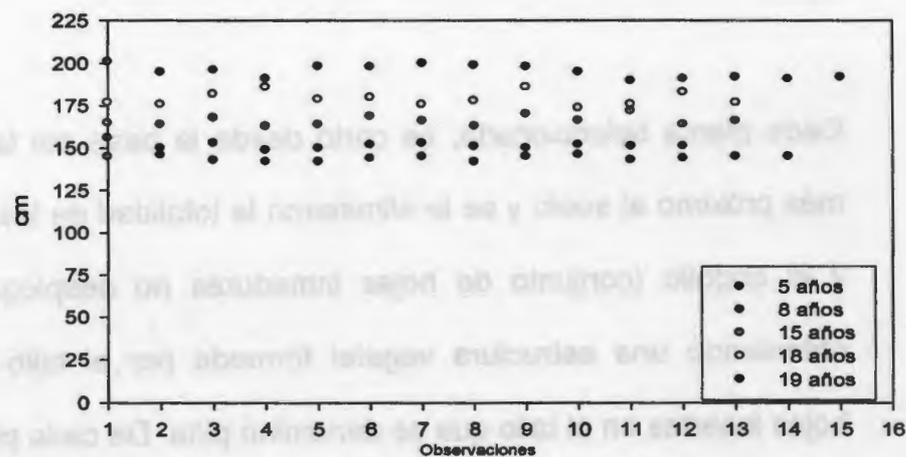


Figura 3.3. Altura de planta de los individuos de henquén seleccionados.

3.4. Cosecha

Con base en la información meteorológica y los climas s característicos de la región henequenera, se definieron tres períodos de cosecha: clima templado seco, con temperaturas

entre 18° y 27 °C, lluvias invernales entre el 5 y 10% del total y vientos variables, entre noviembre-diciembre de 2004, cálido-seco, con temperaturas superiores a 27 °C, escasa precipitación pluvial y humedad relativa cercana al 60%, entre marzo-abril de 2005 y cálido húmedo con abundantes lluvias y alta humedad relativa, entre julio-agosto 2005; y se seleccionaron quince plantas por período, de las cuales se cosecharon tres por cada edad.

Cada planta seleccionada, se cortó desde la base del tallo, lo más próximo al suelo y se le eliminaron la totalidad de las hojas y el cogollo (conjunto de hojas inmaduras no desplegadas), obteniendo una estructura vegetal formada por el tallo y las hojas insertas en el tallo que se denominó piña. De cada piña se obtuvo la sección verde de la misma, localizada en la parte apical de la estructura y representa aproximadamente el 20% de la misma, eliminando la parte seca, que comprende aproximadamente el 80% complementario.

3.5. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental factorial 5 edades x 3 épocas climáticas con 3 repeticiones (Cuadro 3.3); la unidad experimental fue la planta individual seleccionada. Se utilizó el software Statgraphic 5.1 para la realización del análisis de varianza (ANOVA) y prueba de medias, por el método de diferencia mínima significativa (DMS al 95%), de las variables en estudio.

Edad	Repeticiones	Época	Repeticiones	Edad	Repeticiones
1	1	1	1	1	1
1	2	1	2	1	2
1	3	1	3	1	3
2	1	2	1	2	1
2	2	2	2	2	2
2	3	2	3	2	3
3	1	3	1	3	1
3	2	3	2	3	2
3	3	3	3	3	3

Cuadro 3.3. Diseño experimental factorial 5 edades x 3 épocas climáticas con 3 repeticiones

Época climática	Edad de establecimiento (años)				
	5	8	15	18	19
Nortes	1	1	1	1	1
Nov-Dic	2	2	2	2	2
2004	3	3	3	3	3
Secas	1	1	1	1	1
Mar-Abr	2	2	2	2	2
2005	3	3	3	3	3
Lluvias	1	1	1	1	1
Jul-Ago	2	2	2	2	2
2005	3	3	3	3	3

Las variables cuantificadas fueron: a) rendimiento de campo (kg piña⁻¹); b), sólidos solubles totales (°Brix) en jugo de piña fresca y cocida; c) volúmen del jugo cocido; d) contenido de azúcares totales (g l⁻¹) y reductores (g l⁻¹) del jugo cocido; e) volumen de destilado ordinario y rectificado o blanco (ml l⁻¹); y f) riqueza alcohólica (g l⁻¹ Etanol).

3.6. Determinación del rendimiento de campo

A la piña se le midió la longitud con un flexómetro marca "Stanley" de 5 m, y el peso fresco con balanza granataria Sartorius LA820. Después ésta se etiquetó y colocó en una bolsa de plástico, para ser transportada a los laboratorios del Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C., para realizar las determinaciones químicas previamente mencionadas.

3.7. Determinación de sólidos solubles totales

Las piñas colectadas se cortaron longitudinal y transversalmente, obteniéndose entre 8 a 16 secciones de cada piña fresca.

De la piña fresca se extrajo tejido del tallo y de las bases de hojas, de cuatro secciones diferentes seleccionadas de forma aleatoria en fresco o crudo; se mezclaron y homogeneizaron, se obtuvo jugo fresco de los tejidos mediante un extractor metálico manual, el cuál fue colectado en un vaso de precipitado "Pyrex" de 50 ml. Del jugo extraído se tomaron alícuotas de aproximadamente 0.2 ml con una pipeta Pasteur y se colocaron sobre la platina del refractómetro marca Westover RHB 32 y se procedió a la lectura y registro del valor en °Brix.

Para la determinación de sólidos solubles totales de la piña cocida se procedió de forma análoga a lo realizado en la piña fresca, utilizando las mismas secciones del tallo y bases de hojas después del cocimiento de la piña.

El contenido de sólidos solubles del jugo cocido se determinó después de la molienda de la piña que se extrajo el jugo cocido de donde se tomaron alícuotas directamente del líquido y se colocaron sobre la platina del refractómetro procediendo a la lectura y registro del valor en °Brix.

Las determinaciones de sólidos solubles totales en todos los casos se realizaron por triplicado.

3.8. Determinación de azúcares totales y reductores

El contenido de azúcares totales del jugo cocido, se determinó de acuerdo al método Fenol-Ácido Sulfúrico (Dubois *et al.*, 1956) modificado por Castillo (1992), el que se describe a continuación: En un tubo de ensayo marca "Pyrex" se colocó 1.0 ml de cada concentración, se le agregó 1.0 ml de Fenol al 5%, se adicionó directa y bruscamente 5.0 ml de ácido sulfúrico; se dejó reposar 10 min y se enfrió en hielo o agua fría por 10 min. Las muestras fueron leídas en un espectrofotómetro "Barnstead International" Modelo SP-830 Plus a 490 nm. Al jugo cocido previa a la cuantificación de azúcares totales, se le estimó el

intervalo de dilución requerido para proceder a determinar los azúcares totales.

El contenido de azúcares reductores del jugo cocido se determinó con el método del ácido 3,5, dinitrosalicílico (DNS) (Sumner, J B. 1921) modificado por Castillo, 1992), procediendo de la siguiente manera: En un tubo de ensayo marca "Pyrex" de colocó 0.5 ml de cada concentración y se le agregó 1.5 ml de solución de DNS, se agitó y se colocó a baño maría durante 15 minutos, se enfrió a temperatura ambiente. Se adicionaron 8 ml de agua destilada y se agitó con un agitador Vortex Las muestras fueron leídas en un espectrofotómetro Barnstead Internacional Modelo SP-830 Plus a 550 nm.

Al jugo cocido, previa a la cuantificación de azúcares reductores, se estimó el intervalo de dilución con agua destilada, requerido para proceder a determinar los azúcares reductores.

3.9. Determinación de etanol.

Se cuantificó el contenido de etanol del primer destilado denominado "producto ordinario" y del redestilado denominado "producto blanco o rectificado", de acuerdo al método del Dicromato de Potasio (Williams, 1950), modificado por Castillo (1992), procediendo de la siguiente manera: En un tubo de ensayo marca "Pyrex" se colocó 1 ml de cada concentración y se le agregó 2 ml de solución de dicromato de potasio, se agitó y se dejó reposar durante 10 minutos. Se adicionaron 5 ml de agua destilada y se agitó con un agitador Vortex. Las muestras fueron leídas en un espectrofotómetro Barnstead Internacional Modelo SP-830 Plus a 585 nm.

Al destilado ordinario y blanco, previa a la cuantificación de etanol, se estimó el intervalo de dilución requerido para proceder a determinar la riqueza alcohólica. Colocando 1 ml de destilado ordinario o blanco en un tubo de ensayo y procediendo de acuerdo al método.

3.10. Literatura citada

Castillo V. A. 1992. Comparación de diferentes fuentes de nutrientes para el crecimiento y fermentación de *Saccharomyces cerevisiae* en melaza de caña. Tesis de Licenciatura de Químico Farmacobiólogo. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. pp 1-42.

Dubois, M; Giles, K and Hamilton, J. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry* 28:350-356.

Duch, G.J., 1988. La Conformación Territorial del Estado de Yucatán. Universidad Autónoma de Chapingo. Edo. de México. 180p.

Duch, G.J., 1991. Fisiografía del Estado de Yucatán, su relación con la agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo. Edo. de México. 223p.

Sumner, J.B., 1921. Dinitrosalicylic acid: A reagent for the estimation of sugar in normal and diabetic urine. *J. Biol. Chem* 47: 5-9.

Williams, M.B., 1950. Colorimetric determination of ethyl alcohol.

Analytical Chemistry 22(12): 1956-1961.

Cuadro 4.1. Análisis de varianza (ANOVA) de las variables en estudio de 5 edades del henequén y 3 épocas climáticas de cosecha.

VARIABLE	EDAD			ÉPOCA CLIMÁTICA			EDAD x ÉPOCA CLIMÁTICA		
	Fc	p	SE	Fc	p	SE	Fc	p	S
Peso Fresco (kg piña ⁻¹)	0.8800	0.4854	ns	0.3000	0.7422	ns	0.6700	0.7156	ns
Peso Cocido (kg piña ⁻¹)	0.4600	0.7651	ns	1.0300	0.3694	ns	0.6500	0.7328	ns
Jugo Cocido (l piña ⁻¹)	2.2400	0.0886	ns	7.5100	0.0023	**	1.4900	0.2040	ns
SST de la piña fresca (°Brix)	3.5900	0.0165	*	47.4300	0.0000	**	2.6700	0.0240	*
SST de la piña cocida (°Brix)	2.8300	0.0419	*	16.6600	0.0000	**	1.5000	0.1991	ns
SST del jugo cocido (°Brix)	1.2900	0.2962	ns	2.8700	0.0721	ns	2.5700	0.0287	*
Azúcares Totales del jugo cocido (g l ⁻¹)	0.7200	0.5840	ns	2.7500	0.0804	ns	0.7700	0.6316	ns
Azúcares reductores del jugo cocido (g l ⁻¹)	5.5700	0.0018	**	15.8000	0.0000	**	2.9100	0.0158	*
Producción 1er. destilado (ml l ⁻¹ de mosto)	14.0400	0.0000	**	6.6600	0.0040	**	6.4600	0.0001	**
Producción 2o. destilado (ml l ⁻¹ de destilado ordinario)	2.6800	0.0509	ns	35.6100	0.0000	**	1.1800	0.3426	ns
Etanol del 1er. Destilado (g l ⁻¹)	0.6500	0.6311	ns	28.3400	0.0000	**	0.2900	0.9649	ns
Etanol del 2o. Destilado (g l ⁻¹)	1.0800	0.3856	ns	8.2200	0.6129	ns	0.7900	0.6129	ns

**Significancia Estadística 0.01

* Significancia Estadística 0.05

4.1. La importancia de la edad del henequén en la producción de destilado alcohólico

4.1.1. Peso fresco y cocido de la piña

El rendimiento de la piña en fresco y de la piña cocida no presentó evidencia significativa de que fuera diferente entre edades. En fresco fluctuó entre 5.29 ± 0.69 y 6.77 ± 0.53 kg piña⁻¹ (Figura 4.1a) y cocida entre 4.78 ± 0.62 y 5.76 ± 0.49 kg piña⁻¹ (Figura 4.1a). Se observó cierta tendencia a disminuir el peso conforme aumenta la edad de la piña, tanto fresca como cocida, en cualquier época climática.

4.1.2. Volumen de jugo cocido

El volumen de jugo cocido obtenido de la piña fue semejante entre edades, con excepción a los 18 años, cuya producción osciló entre 2.18 ± 0.28 y 3.09 ± 0.37 l piña⁻¹, manifestando una tendencia notoria al obtenerse mayor volumen a edades tempranas (5 y 8 años) que a tardías (Figura 4.1b).

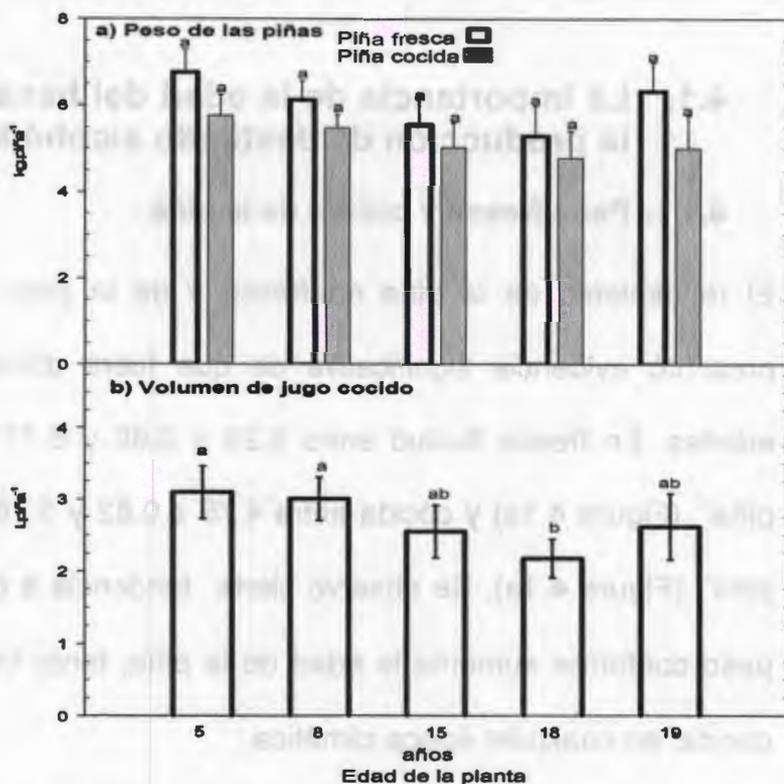


Figura 4.1. Peso de las piñas de henequén (Kg) según edad de la planta a la cosecha (a) y el volumen de jugo cocido (L) que se obtiene de las mismas (b). Datos con la media de resultados obtenidos de las cosechas realizadas de noviembre 2004 a agosto 2005. Et²n=9. Letras iguales son del mismo nivel de significancia estadística. DMS al 0.05.

4.1.3 Contenido de sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles (°Brix) del jugo de la piña fresca varió de 11.79 ± 1.05 a 15.27 ± 1.93 °Brix, mostrando una tendencia a incrementar en la mayor edad (19 años). Después

del cocimiento, los sólidos solubles del jugo en la piña cocida oscilaron entre 12.30 ± 1.06 y 18.01 ± 1.99 °Brix; apreciándose un ligero aumento en los °Brix de la piña cocida, sin embargo, no fueron lo suficientemente grandes como para considerarse diferentes entre edades (Figura 4.2a).

Los sólidos solubles totales presentaron diferencia estadística; la edad de mayor cuantía fue la de 19 años con 16.15 ± 1.24 °Brix, y las edades de 5, 8 y 15 y 18 años se agrupan como las de menor contenido de sólidos solubles totales, con valores entre 11.45 ± 1.05 y 13.15 ± 1.17 °Brix (Figura 4.2b).

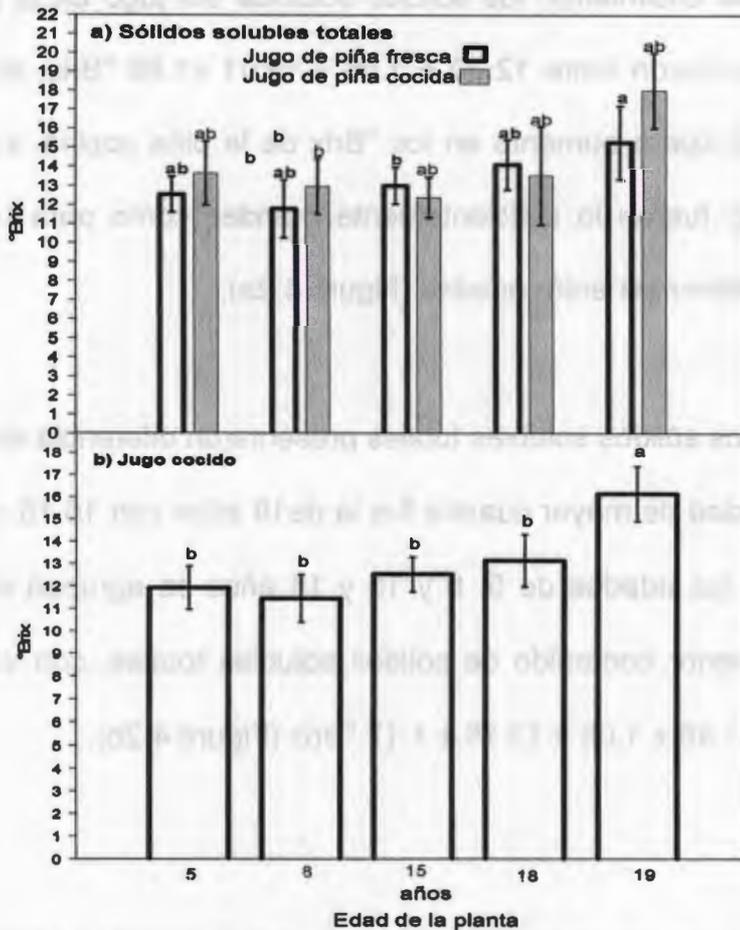


Figura 4.2. Contenido de sólidos solubles totales en la piña (a) y en el jugo de la piña de henequén (b) de diferente edad. Datos con la media de resultados obtenidos de las cosechas realizadas de noviembre 2004 a agosto 2005 \pm Et; n=9. Letras iguales son del mismo nivel de significancia estadística DMS al 0.05

4.1.4. Contenido de azúcares reductores en el jugo cocido

El contenido de azúcares reductores (AR) presentó diferencias significativas entre edades; la edad de mayor concentración de

azúcares fue 19 años con $107.31 \pm 11.55 \text{ g l}^{-1} \text{ AR}$; seguido por las edades de 18 y 5 años con $95.46 \pm 10.90 \text{ g l}^{-1} \text{ AR}$ y $94.66 \pm 12.30 \text{ g l}^{-1} \text{ AR}$ respectivamente; y las edades con menor contenido, fueron 15 y 8 años, con valores de $75.14 \pm 5.91 \text{ g l}^{-1} \text{ AR}$ y $69.88 \pm 4.60 \text{ g l}^{-1} \text{ AR}$; manifestándose una tendencia a aumentar el contenido de azúcares reductores conforme aumenta la edad de la piña, a excepción de la edad de 5 años. (Figura 4.3).

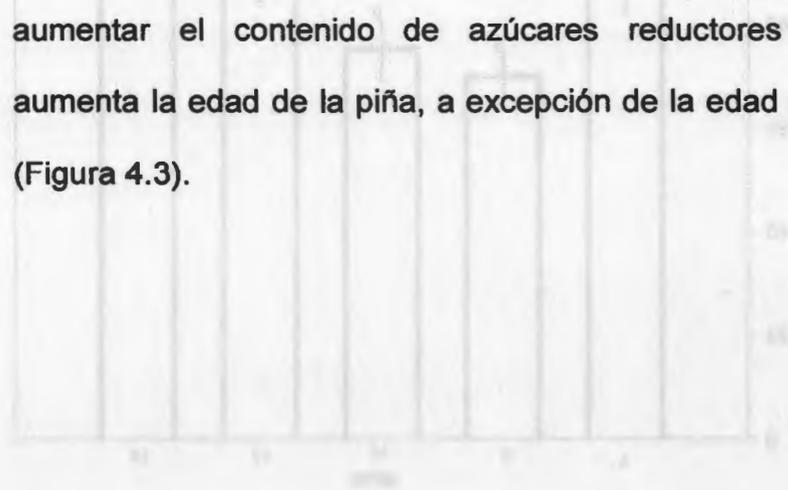


Figura 4.3. Contenido de azúcares reductores en la piña en diferentes edades. El contenido de azúcares reductores en la piña aumenta con la edad, a excepción de la edad de 5 años.

4.1.2. Producción de destilado alcohólico

El volumen del primer destilado (ml l⁻¹ de mosto), también llamado ordinario, que producen las piñas cosechadas se distorsiona debido a los significativamente dentro. Las piñas de

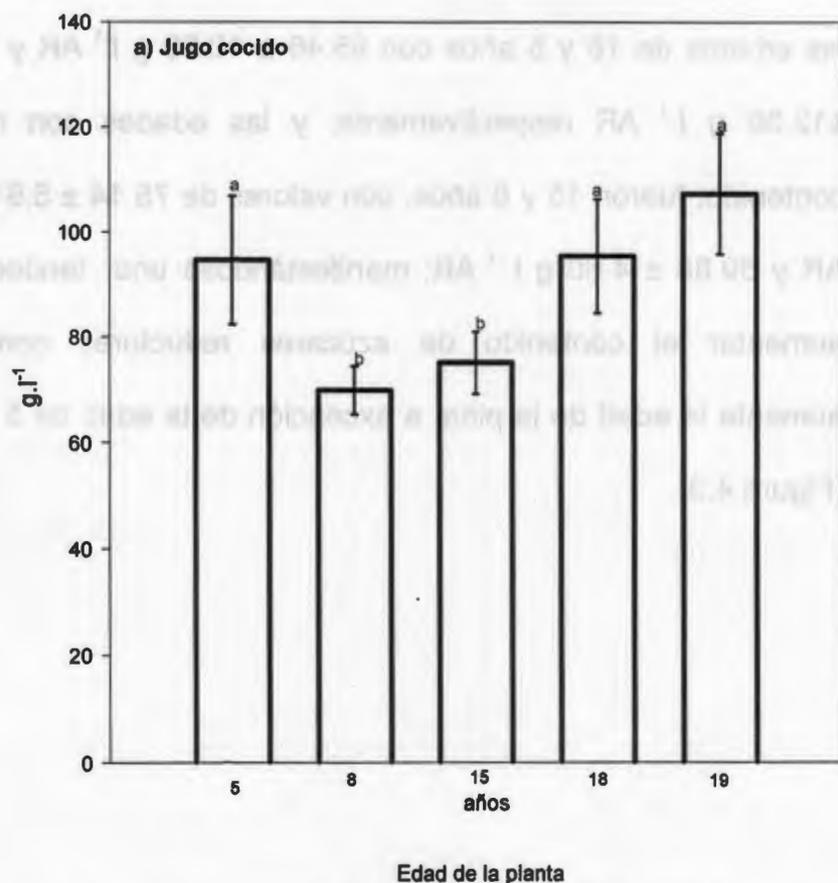


Figura 4.3. Contenido de azúcares reductores en el jugo cocido de piñas de henequén de diferentes edades. Datos con la media de resultados obtenidos de las cosechas realizadas de noviembre 2004 a agosto 2005. Et: n=9. Letras iguales son del mismo nivel de significancia estadística DMS al 0.05.

4.1.5. Producción de destilado alcohólico

El volumen del primer destilado (ml l^{-1} de mosto), llamado también ordinario, que producen las piñas cosechadas de diferentes edades fue significativamente distinto. Las piñas de

18 y 19 años producen los mayores volúmenes y se consideran de alta producción, con rendimiento de 142 ± 22.36 ml y 159 ± 48.28 ml respectivamente. Las 15, 5 y 8 años produjeron bajos volúmenes y se consideran de baja producción, con rendimientos de 59.78 ± 15.69 , 34.38 ± 10.14 y 27.90 ± 3.99 ml respectivamente (Figura 4.4a).

El volumen del redestilado o destilado blanco (ml l^{-1} de destilado ordinario) fue significativamente diferente en cada una de las edades analizadas. La más productora fue la piña de 19 años con 108.15 ± 29.52 ml; de producción intermedia, fueron las piñas de 18 y 15 años con 70.52 ± 19.57 y 98.4 ± 23.5 ml; y las de menor producción fueron las de 8 y 5 años con 56.85 ± 15.22 y 66.68 ± 21.49 ml (Figura 4.4b).

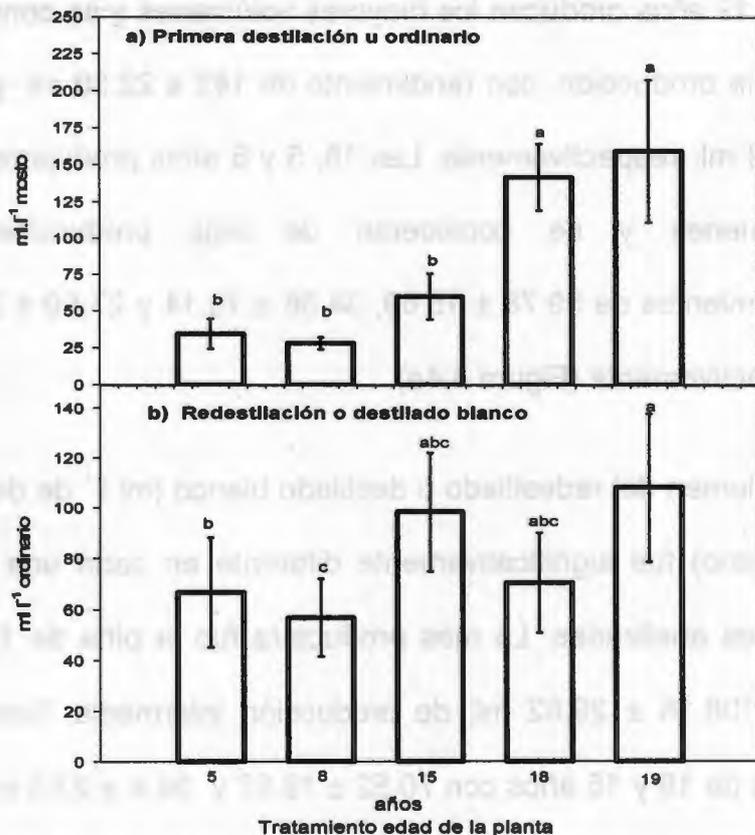


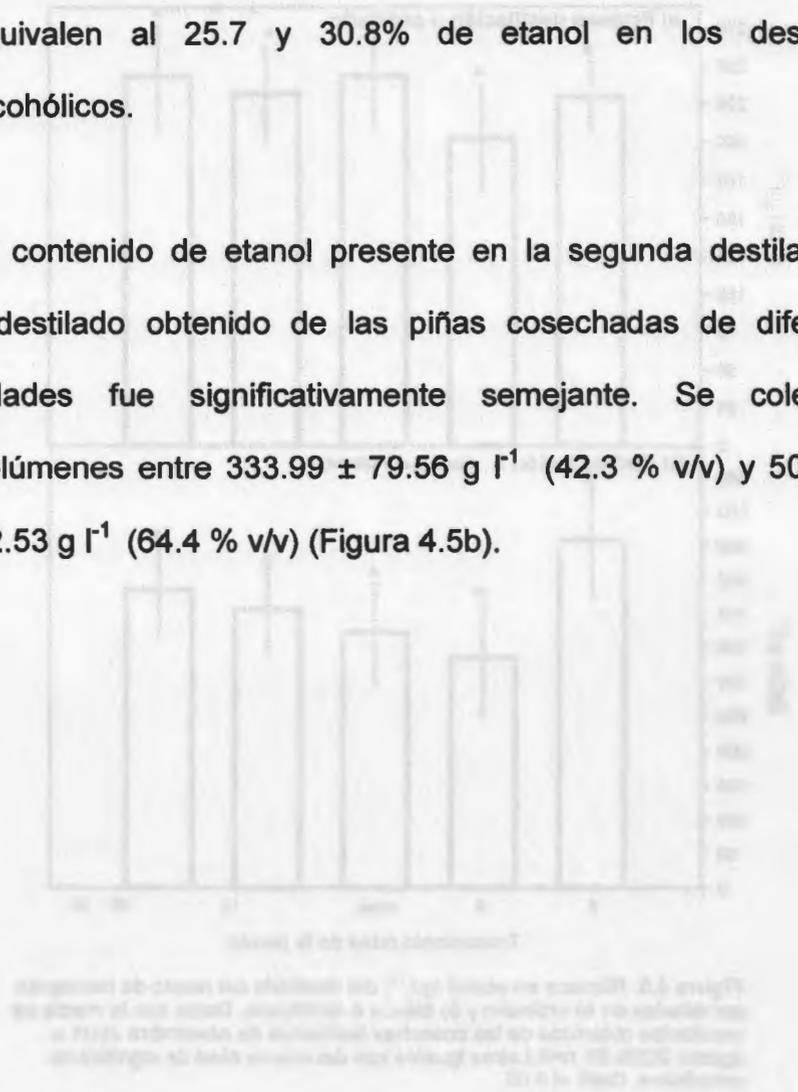
Figura 4.4. Volúmen de la primera destilación (a) del jugo de henequén y del redestilado (b) por edades. Datos con la media de resultados obtenidos de las cosechas realizadas de noviembre 2004 a agosto 2005 $E\pm n=9$. Letras iguales son del mismo nivel estadística. DMS al 0.05.

4.1.6. Contenido de etanol presente de los destilados alcohólicos

El contenido de etanol presente en el primer destilado u ordinario obtenido de las piñas de diferentes edades fue significativamente similar. Se colectaron volúmenes de $202.90 \pm$

35.2 g l⁻¹ hasta 243.57 ± 33.80 g l⁻¹ de etanol (Figura 5a) que equivalen al 25.7 y 30.8% de etanol en los destilados alcohólicos.

El contenido de etanol presente en la segunda destilación o redestilado obtenido de las piñas cosechadas de diferentes edades fue significativamente semejante. Se colectaron volúmenes entre 333.99 ± 79.56 g l⁻¹ (42.3 % v/v) y 508.52 ± 82.53 g l⁻¹ (64.4 % v/v) (Figura 4.5b).



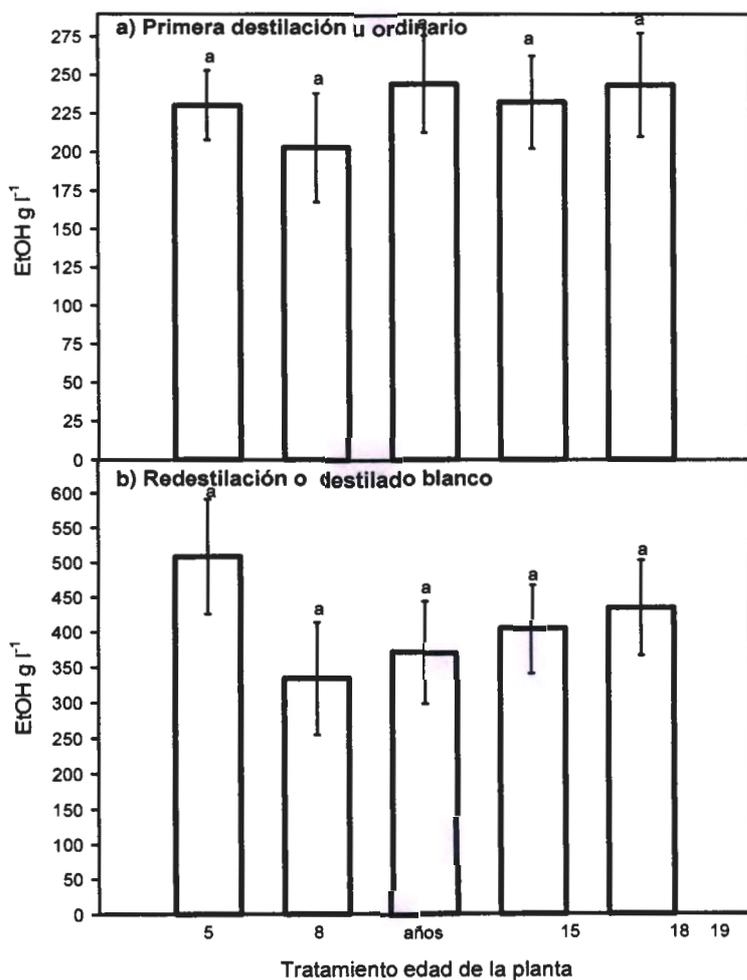


Figura 4.5. Riqueza en etanol (g.L^{-1}) del destilado del mosto de henequén por edades en a) ordinario y b) blanco o rectificado. Datos con la media de resultados obtenidos de las cosechas realizadas de noviembre 2004 a agosto 2005; Et: $n=9$. Letras iguales son del mismo nivel de significancia estadística DMS al 0.05

4.2. La importancia de la estacionalidad climática en la producción de destilado alcohólico del henequén

4.2.1. Peso fresco y cocido de la piña

La estacionalidad climática no afectó el rendimiento en peso fresco de las piñas, los cuales oscilaron entre 5.84 ± 0.39 y 6.32 ± 0.46 kg piña⁻¹. (Figura 4.6a). Una tendencia similar se observó con el peso de las piñas cocidas, que variaron de 4.76 ± 0.36 a 5.68 ± 0.40 kg piña⁻¹ (Figura 4.6a).

4.2.2. Volumen del jugo cocido

La estacionalidad climática afectó la producción de jugo cocido. En la época de lluvias se obtuvieron 3.42 ± 0.22 l piña⁻¹, valor significativamente mayor al registrado en las época seca y de nortes, que oscilaron entre 2.25 ± 0.28 y $2.61.09 \pm 0.26$ l piña⁻¹ (Figura 4.6b).

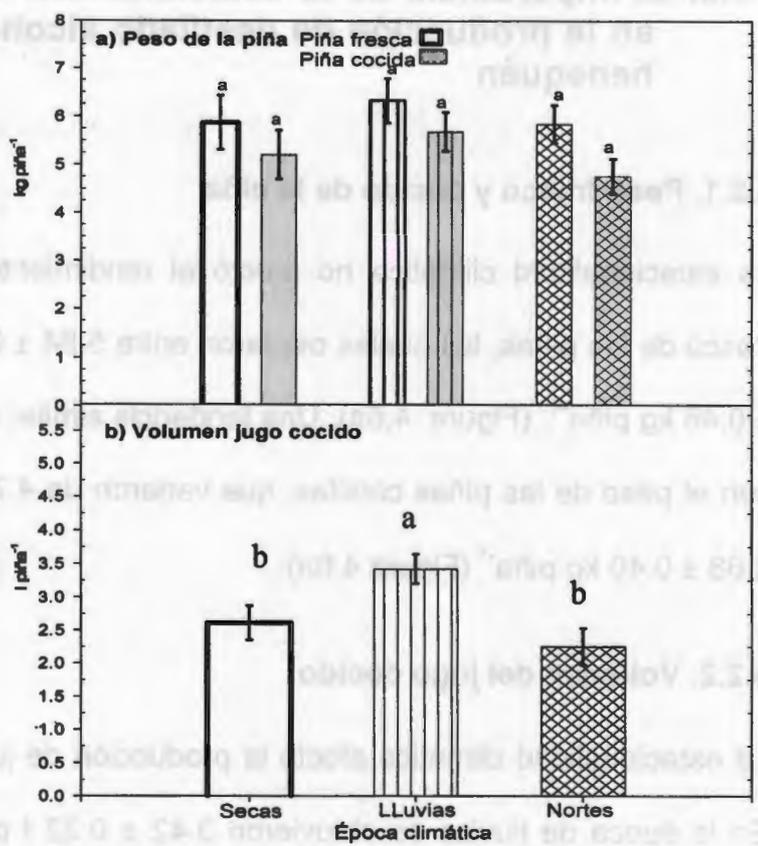


Figura 4.6. Efecto de la estacionalidad climática en el peso de la piña (kg.piña⁻¹) de henequén a) y volumen del jugo cocido b). Datos con la media de resultados obtenidos de las piñas cosechas de noviembre 2004 a agosto 2005 Et: n=15. Letras iguales son del mismo nivel de significancia estadística. DMS al 0.05.

4.2.3 Contenido de sólidos solubles totales

En la época de secas fueron registrados los más altos contenidos de sólidos solubles totales en la piña de henequén (en la fresca 17.40 ± 0.71 °Brix y en la cocida 18.91 ± 1.20

°Brix), y fueron significativamente superiores a los observados en la época de lluvias (en piña fresca con 12.86 ± 0.80 °Brix y en piña cocida con 12.39 ± 1.41 °Brix); y en la época de nortes (en piña fresca 9.76 ± 0.57 °Brix y en la cocida 11.04 ± 0.71 °Brix) (Figura 4.7a).

Los sólidos solubles totales del jugo cocido presentaron diferencias relacionadas con la estacionalidad climática. En la época de secas se obtuvo el contenido de sólidos solubles totales significativamente más alto (16.55 ± 0.69 °Brix), superior al observado durante el período de lluvias (13.15 ± 1.17 °Brix) y cuando ocurren los nortes (11.61 ± 0.57 °Brix) (Figura 4.7b).

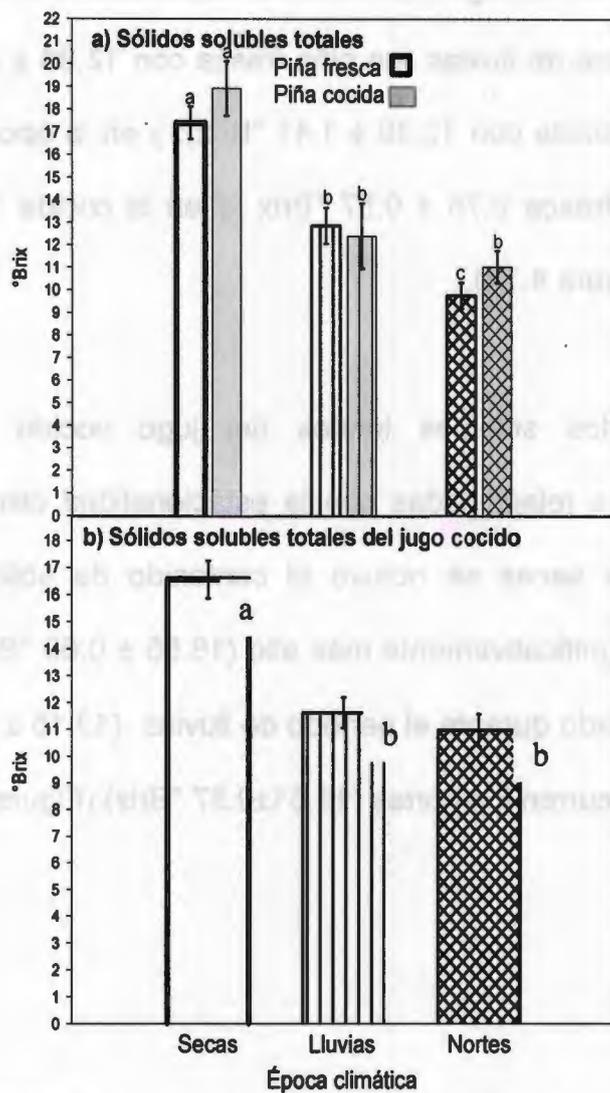


Figura 4.7. Efecto de la estacionalidad climática en el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) de la piña a) y del jugo cocido de henequén b) . Datos con la media de resultados obtenidos de las piñas cosechas de noviembre 2004 a agosto 2005 Et: n=15. Letras iguales son del mismo nivel de significancia estadística. DMS al 0.05.

4.2.4. Contenido de azúcares reductores en el jugo cocido

El contenido de azúcares reductores (AR) también fue afectado por la estacionalidad. En el período de secas se presentó el más alto contenido de azúcares reductores ($111.84 \pm 9.30 \text{ g l}^{-1}$), y mayor que en las épocas de lluvias ($78.13 \pm 5.01 \text{ g l}^{-1}$) y nortes ($75.51 \pm 5.34 \text{ g l}^{-1}$) entre 43.14 % y 48.11% (Figura 4.8).

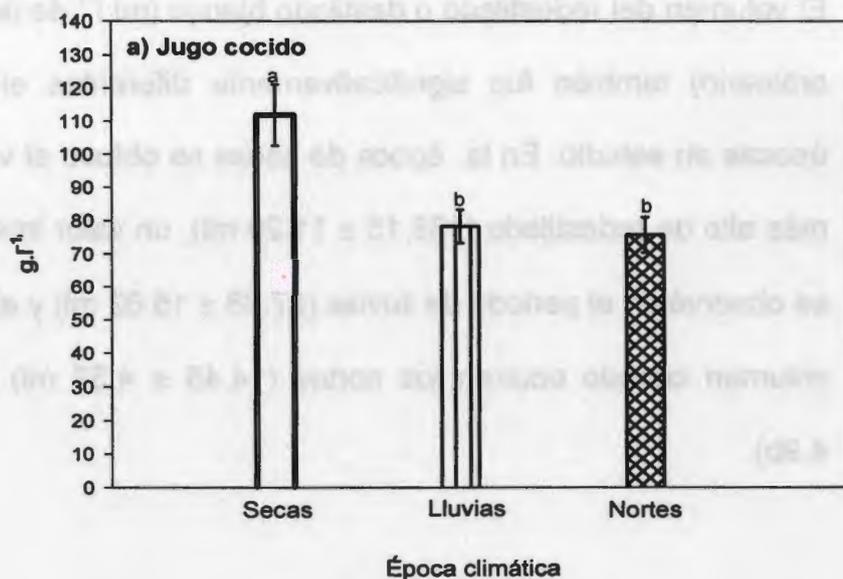
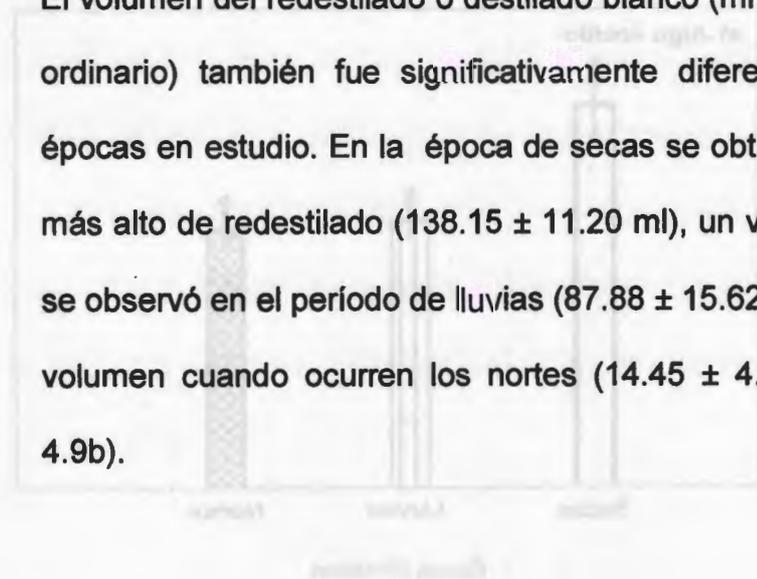


Figura 4.8. Efecto de la estacionalidad climática en el contenido de azúcares reductores: del jugo cocido de la piña de henequén. Datos con la media de resultados obtenidos de las piñas cosechas de noviembre 2004 a agosto 2005 Et: n=15. Letras iguales son del mismo nivel de significancia estadística. DMS al 0.05.

4.2.5. Producción de destilado alcohólico

El volumen del primer destilado alcohólico u ordinario (ml l^{-1} de mosto) se vio afectado por la estación climática. En la época de nortes se obtuvo un volumen de $114.31 \pm 35.47 \text{ ml}$ y $89.83 \pm 11.70 \text{ ml}$ en la de secas, las que fueron significativamente superiores a la época de lluvias ($49.37 \pm 13.89 \text{ ml}$) (Figura 4.9a).

El volumen del redestilado o destilado blanco (ml l^{-1} de destilado ordinario) también fue significativamente diferentes entre las épocas en estudio. En la época de secas se obtuvo el volumen más alto de redestilado ($138.15 \pm 11.20 \text{ ml}$), un valor intermedio se observó en el período de lluvias ($87.88 \pm 15.62 \text{ ml}$) y el menor volumen cuando ocurren los nortes ($14.45 \pm 4.37 \text{ ml}$) (Figura 4.9b).



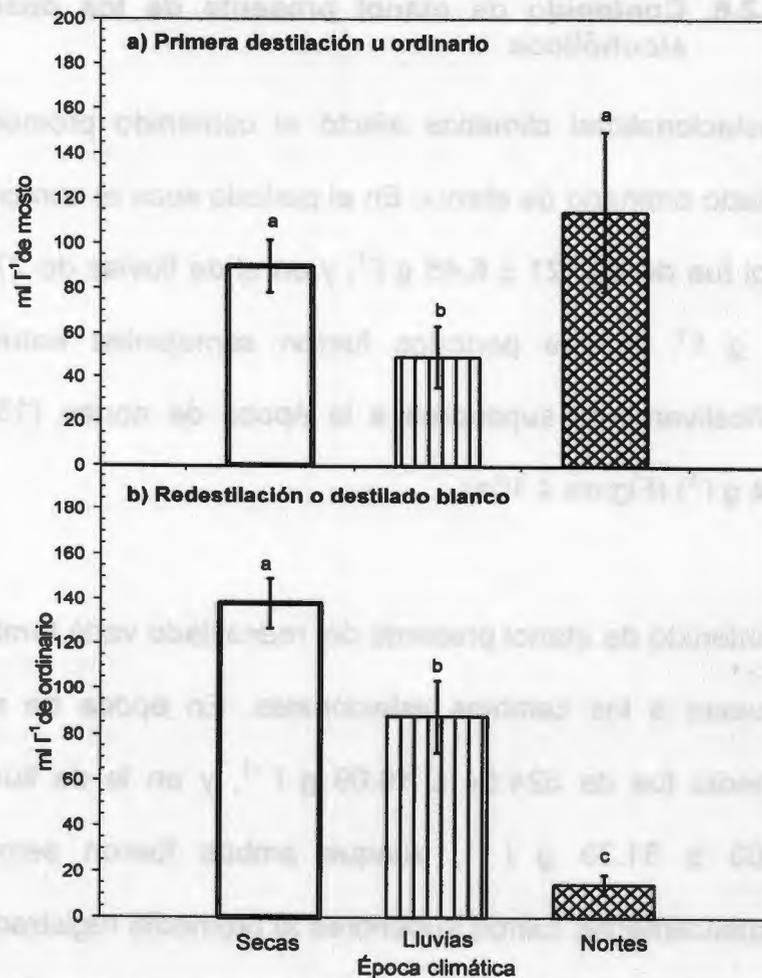


Figura 4.9. Efecto de la estacionalidad climática en el volumen del destilado alcohólico de la pifa de henequén en: a) primera destilación u ordinario y b) redestilado o destilado blanco. Datos con la media de resultados obtenidos de las pifas cosechas de noviembre 2004 a agosto 2005 Et:n=15. Letras iguales son del mismo nivel de significación estadística. DMS al 0.05.

4.2.6. Contenido de etanol presente de los destilados alcohólicos

La estacionalidad climática afectó el contenido promedio del destilado ordinario de etanol. En el período seco el contenido de etanol fue de $285.21 \pm 6.48 \text{ g l}^{-1}$, y en el de lluvias de $277.62 \pm 5.91 \text{ g l}^{-1}$. Ambos períodos fueron semejantes entre si, y significativamente superiores a la época de nortes ($131.78 \pm 23.84 \text{ g l}^{-1}$) (Figura 4.10a).

El contenido de etanol presente del redestilado varió también en respuesta a los cambios estacionales. En época de seca el promedio fue de $524.54 \pm 10.09 \text{ g l}^{-1}$, y en la de lluvias de $456.03 \pm 31.39 \text{ g l}^{-1}$, aunque ambas fueron semejantes estadísticamente; fueron superiores al promedio registrado en el tiempo en que suceden los nortes ($251.29 \pm 77.80 \text{ g l}^{-1}$) (Figura 4.10b).

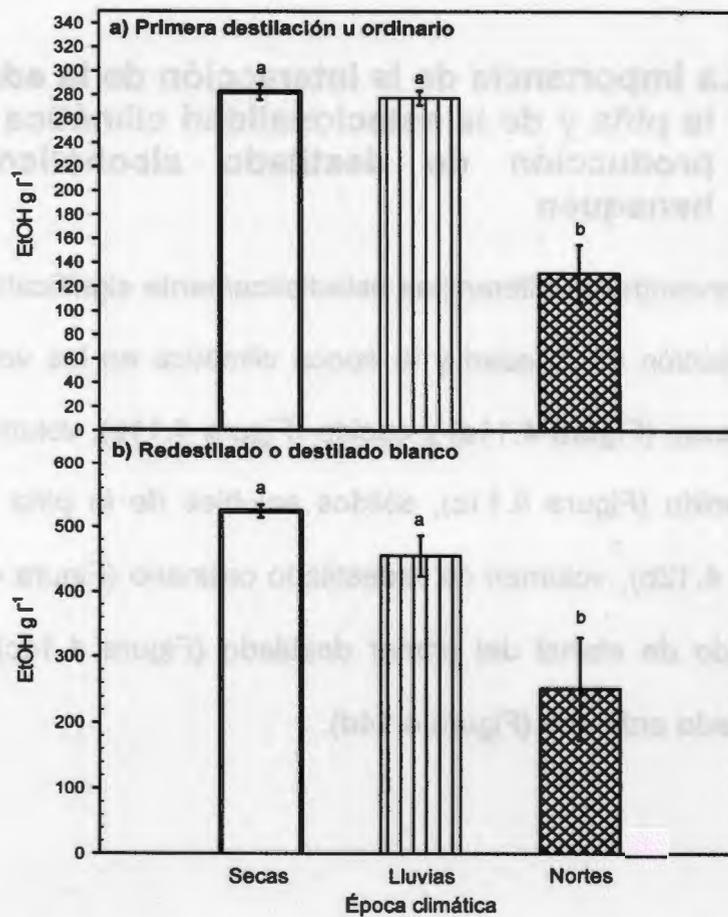
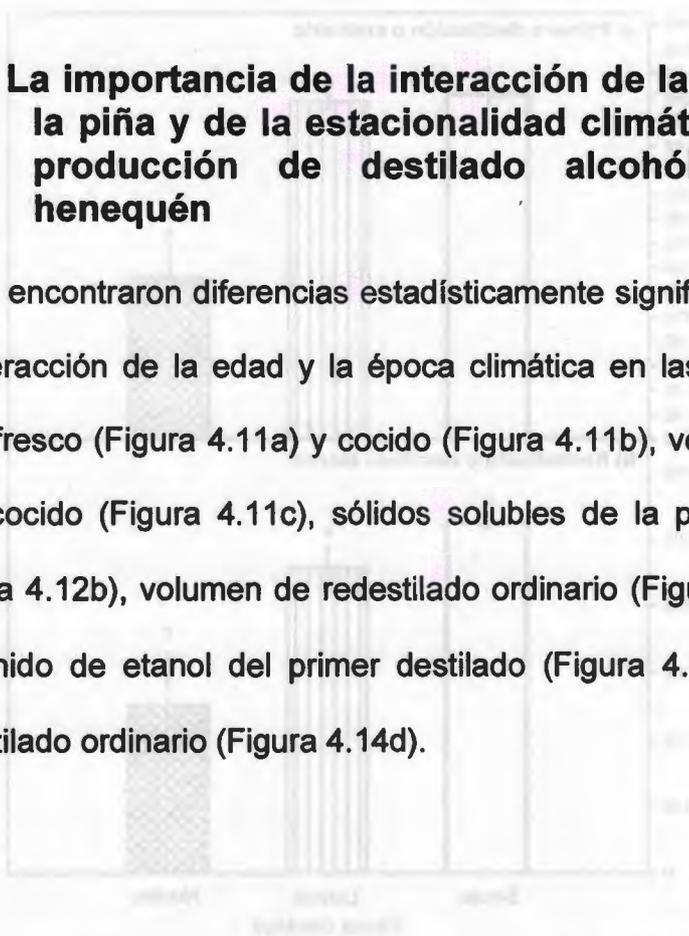


Figura 4.10. Efecto de la estacionalidad climática en el contenido de etanol (g.L^{-1}) presente en el destilado de la piña de henequén en: a) primera destilación u ordinario y b) redestilado o destilado blanco. Datos con la media de resultados obtenidos de las piñas cosechas de noviembre 2004 a agosto 2005 $\text{Et: } n=15$. Letras iguales son del mismo nivel de significancia estadística. DMS al 0.05.

4.3. La importancia de la interacción de la edad de la piña y de la estacionalidad climática en la producción de destilado alcohólico del henequén

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la interacción de la edad y la época climática en las variables peso fresco (Figura 4.11a) y cocido (Figura 4.11b), volumen del jugo cocido (Figura 4.11c), sólidos solubles de la piña cocida (Figura 4.12b), volumen de redestilado ordinario (Figura 4.14b), contenido de etanol del primer destilado (Figura 4.14c) y del redestilado ordinario (Figura 4.14d).



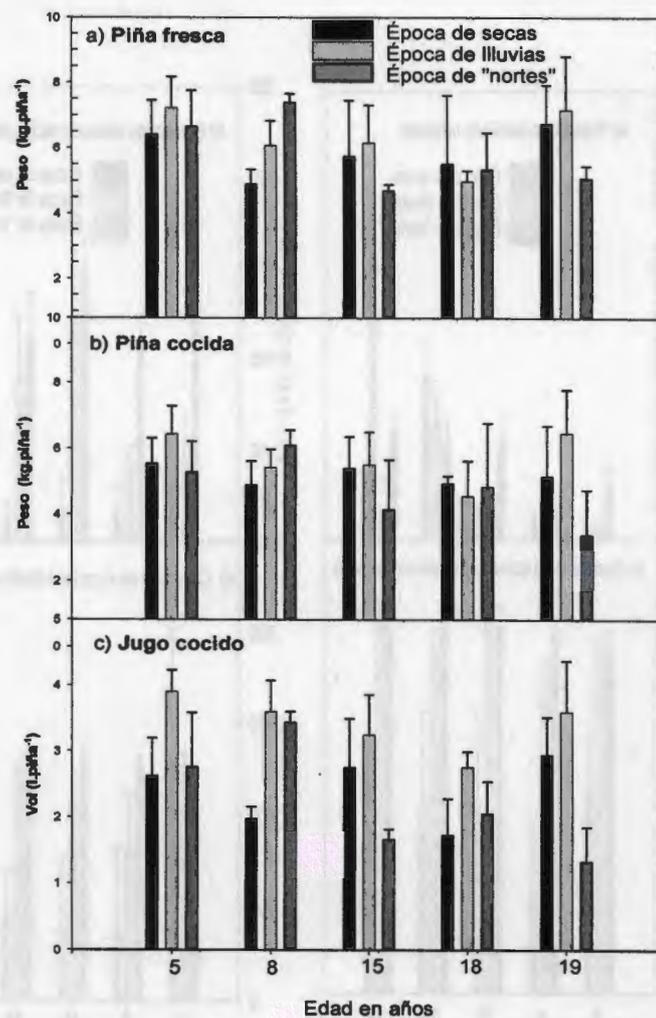


Figura 4.11. Variación del peso fresco (a) y cocido (b) y volumen del jugo cocido (c) de piñas de henequén cosechadas de diferentes edades y época climática anual durante el año. Dato: Media \pm error estándar; n = 3.

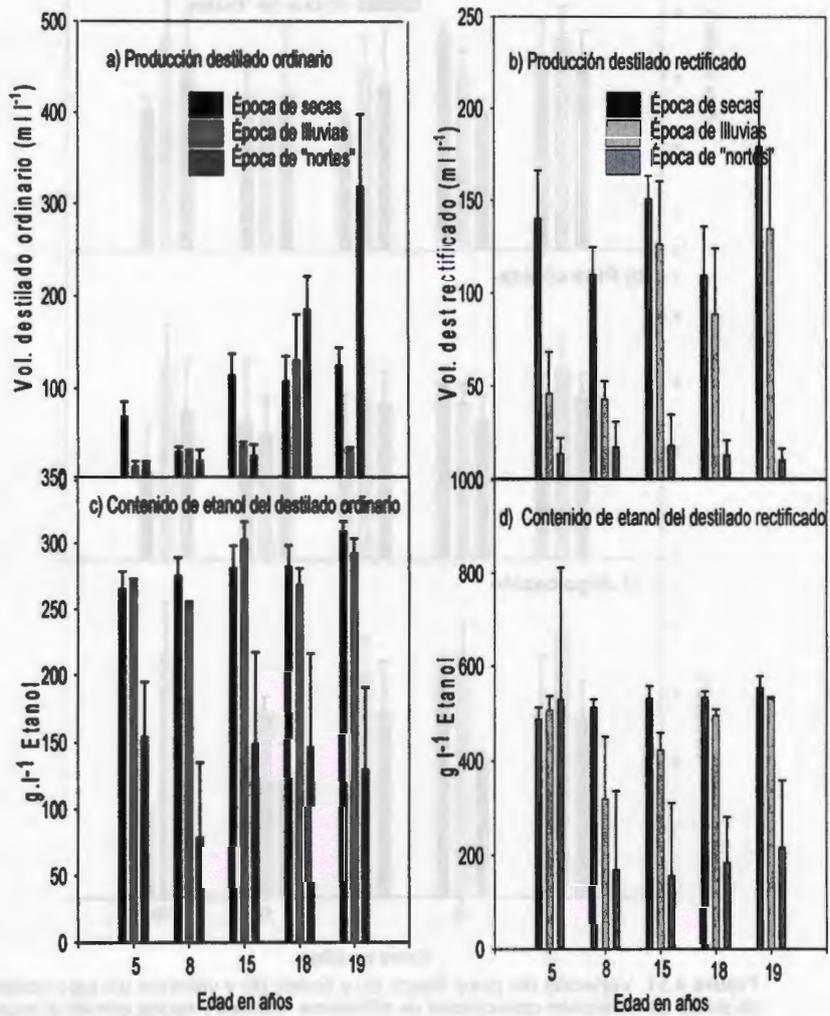


Figura 14.4. Volumen de destilado ordinario (a) y re destilado del ordinario (b); y contenido de etanol del destilado ordinario (c) y del redestilado ordinario (d), obtenido de la pïna de henequén cosechada a diferentes edades y època climática estacional. Dato: Media \pm error estándar; n = 3.

4.3.1. Contenido de sólidos solubles totales

El contenido de sólidos solubles totales se vio afectado por la acción conjunta de la edad de la piña y la estacionalidad climática.

El contenido de sólidos solubles totales de la piña fresca y del jugo cocido mostró una clara tendencia a incrementar su contenido conforme aumentó la edad de la piña de 10.96° hasta 16.15 °Brix, principalmente entre los 15 y 19 años con las diversas épocas climáticas, apreciándose más en la época de secas que en las otras épocas climáticas (Figura 4.12a y 4.12c), presumiblemente atribuible a la disponibilidad de agua del agua del suelo relacionada con el grado de hidratación de la piña, aunque el contenido de sólidos solubles totales de la piña cocida no presentó diferencias estadísticas en la interacción de la edad de piña y las épocas climáticas, presenta la misma tendencia que en la piña fresca y el jugo cocido (Figura 4.12b).

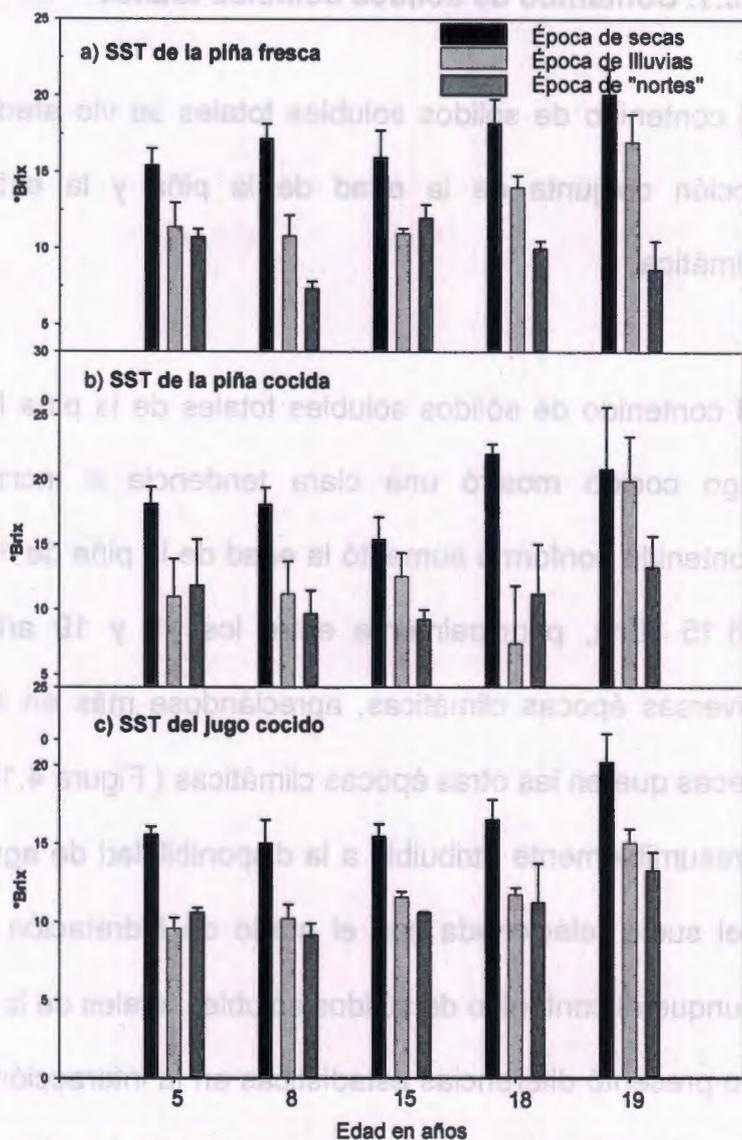


Figura 4.12. Contenido de sólidos solubles totales (SST) en la piña fresca (a), cocida (b) y del jugo cocido (c) de piñas de henequén cosechadas de diferentes edades y época climática anual durante el año. Dato: Media \pm error estándar; n = 3.

4.3.2. Contenido de azúcares reductores en el jugo cocido

El contenido de azúcares reductores (AR) fue afectado por la interacción de la edad de la piña y la estacionalidad climática. De la misma forma que el contenido de sólidos solubles totales, el contenido azúcares reductores aumentó con la edad de la piña, en donde la mayor concentración de carbohidratos se alcanza en la época de secas, seguida por la época de lluvias y de nortes (Figura 4.13) épocas climáticas directamente relacionadas con el grado de hidratación de las piñas por la disponibilidad de agua. Sin embargo, en la época de secas en piñas de 5 años, el contenido de azúcares reductores fue alto, el comportamiento fue anómalo desviándose de la tendencia general; situación no aclarada aún.

Las edades de 19, 18 y 5 años tuvieron los valores más altos (107.3 a 94.6 g l⁻¹) disminuyendo el contenido entre 21 y 35 % en las edades de 8 y 15 años; y la época de secas el contenido

de azúcares reductores fue de 112 g l^{-1} , disminuyendo entre 30 y 32 % en las épocas de lluvias y nortes (Figura 4.13).

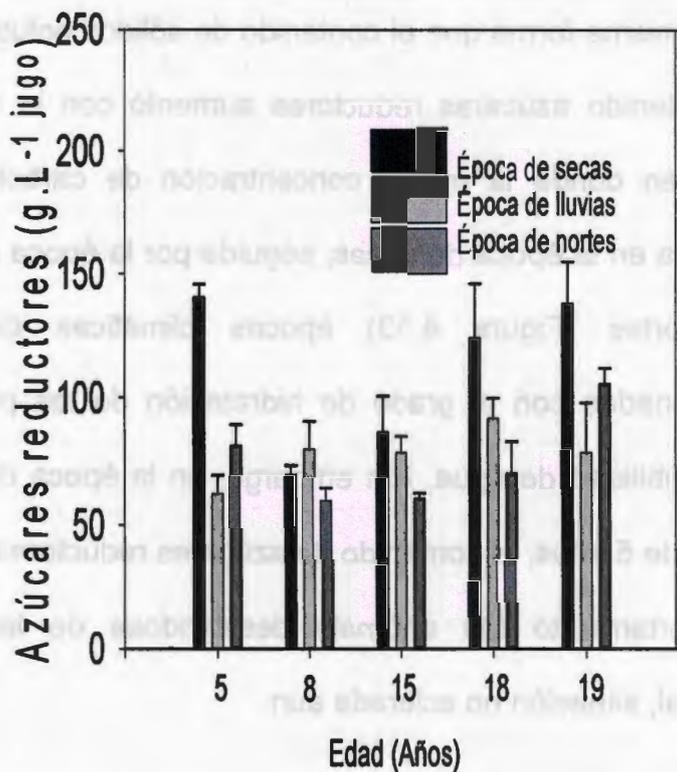


Figura 4.13. Contenido de azúcares reductores presentes en el jugo cocido de las piñas de henequén cosechadas en diferentes edades y diferentes épocas climáticas durante el año. Datos: Media \pm S.E.:n=3

4.3.3. Producción de destilado alcohólico

El volumen del primer destilado alcohólico u ordinario (ml l^{-1} de mosto) es afectado por la acción conjunta de la edad de la piña y la estación climática. La producción del destilado ordinario aumenta conforme aumenta la edad de la piña, siendo más notorio en la época de nortes que en otra época climática (Figura 4.14a). En la época de nortes el volumen mínimo obtenido fue de 17 ml l^{-1} de mosto en piñas de 5 años, aumentando gradualmente hasta alcanzar la máxima producción de destilado ordinario de 319 ml l^{-1} de mosto en piñas de 19 años (Figura 4.14a); en la época de secas el volumen mínimo que se obtuvo fue de 31 ml l^{-1} de mosto en piñas de 8 años, aumentando la producción de destilado ordinario hasta 125 ml l^{-1} de mosto en piñas de 19 años ; mientras que en la época de lluvias, la de menor producción de destilado ordinario, el menor volumen fue de 15 ml l^{-1} de mosto en piñas de 5 años y la más alta producción de 130 ml l^{-1} de mosto en piñas de 18 años (Figura 4.14a), periodo climático con poca respuesta en la producción de destilado ordinario e irregular.

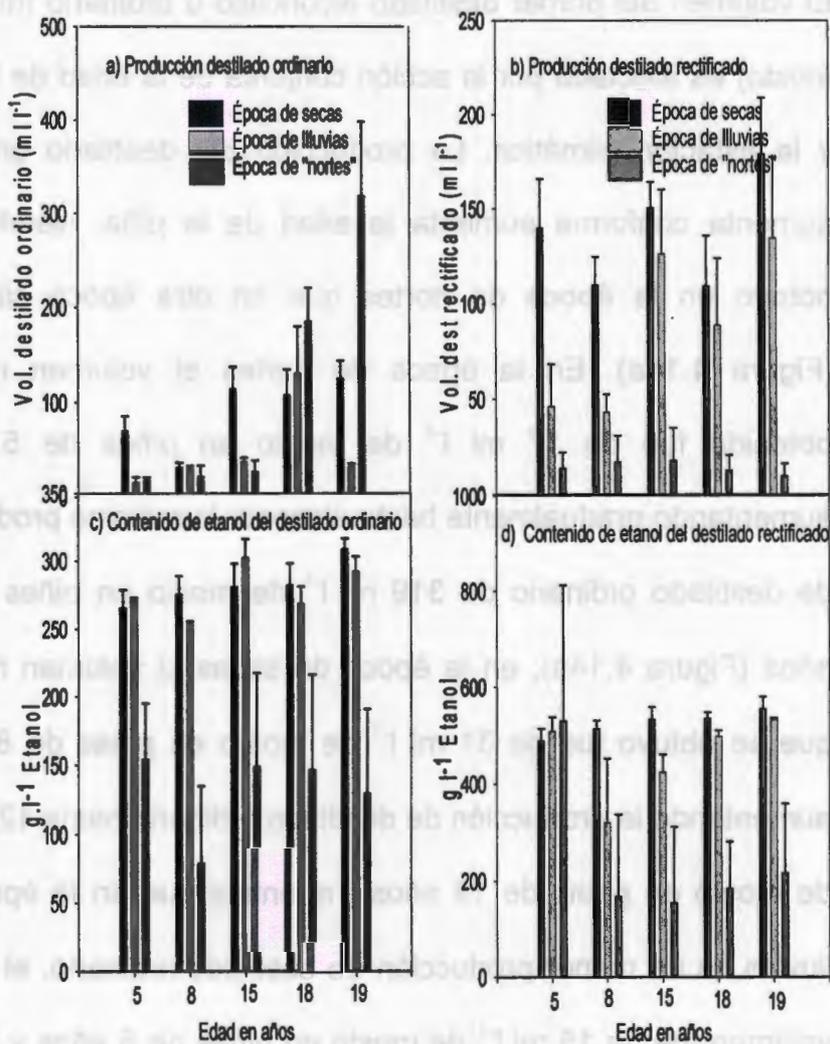


Figura 14.4. Volumen de destilado ordinario (a) y redestilado del ordinario (b); y contenido de etanol del destilado ordinario (c) y del redestilado ordinario (d), obtenido de la piña de henequén cosechada a diferentes edades y época climática estacional. Dato: Media \pm error estándar; n = 3.

5. Discusión.

El henequén tuvo en el pasado gran relevancia económica y social en el estado de Yucatán por la calidad de la fibra que se obtiene de las hojas, habiendo logrado ser una de las fibras naturales de mayor demanda a nivel mundial. Su empleo en la producción de productos como jarcias, empaques, rellenos en embalajes, materiales compuestos entre otros más, generó alrededor de esta planta una cultura y desarrollo tecnológico del cuidado y manejo de las hojas para alcanzar las características industriales adecuadas.

El cultivo agroindustrial del henequén centró todos sus esfuerzos agronómicos a la producción y colecta de hojas a partir de los 5 hasta los 20 años, 15 años de producción agroindustrial en el cual la planta realiza sus actividades fisiológicas y metabólicas soportada exclusivamente en las 15 a 20 hojas más jóvenes, que deben realizar un esfuerzo grande

para sobreponerse al estrés inducido por el corte de las hojas y la deshidratación por las heridas, además de la cicatrización de los órganos cortados, del crecimiento del tallo, la producción de nuevas hojas y maduración de las mismas, así como el mantenimiento de la planta.

El actual sistema de producción, a través del tiempo ha relegado la importancia de uso que tienen otros órganos como mencionan Colunga-GarcíaMarin y May-Pat (1993), como el tallo y las bases de las hojas adheridas o piña, que contienen compuestos orgánicos como carbohidratos no estructurales principalmente fructanos (García, 2006), que aportan la fructosa y minoritariamente glucosa de los sólidos totales (Ayora-Cámara, 1986; Barahona, 1987) y poseen características físicas y químicas que le incorporan riqueza agroindustrial y le agregan valor a la planta.

Por las características morfológicas del tallo, de forma cilíndrica, donde se insertan las bases de las hojas, la piña puede alcanzar

un tamaño superior a 1.5 m, antes de la emisión del vástago floral, lo que ocurre aproximadamente a los 20 años de edad, sin embargo, el corte periódico de 6 a 8 hojas cada 3 o 4 meses por año, independientemente del estrés inducido, provoca que las bases de las hojas se deshidraten y progresivamente se necrosen, formando una estructura o piña seca solamente de soporte de la sección viva de la planta. La parte viva de la planta es la superior, la más joven del tallo, donde están insertas las hojas enteras y las más jóvenes no desenvueltas, cuyo tallo y base de las hojas verdes forman la piña fresca, donde se almacenan los carbohidratos no estructurales aprovechables.

La eliminación de hojas de henequén con estándares industriales, condiciona a la planta a aclimatarse con pocas hojas maduras expuestas, que probablemente su capacidad de producción de fotosintetizados sea muy limitada para estimular la diferenciación de tejidos nuevos, o la aceleración en la maduración de las hojas nuevas o en procesos de adaptación fisiológica. La cicatrización de heridas seguramente demandará

la aportación de energía y probablemente la última prioridad de la planta de henequén sea la formación de la piña como estructura de reserva.

Las edades estudiadas corresponden al periodo producción de hojas con fines de aprovechamiento agroindustrial de la fibra del cultivo. Aunque se esperaría que durante este periodo el tamaño de la piña aumentara, el resultado es que la piña es pequeña (entre 5.2 y 6.8 kg) y semejante en todas las edades. Esto es debido al corte periódico de las hojas que limitan el desarrollo de la piña durante todo el periodo de producción de hojas. En otras especies de agaves, cuyo uso es la producción de bebidas, el desarrollo de la piña es cuidado y vigilado, como en algunas especies silvestres o semicultivadas que son utilizadas en la producción de mezcal, bacanora, raicilla, o fomentado y manejado agronómicamente, para la producción de tequila y mezcal principalmente (Valenzuela-Zapata, 1985; Cedeño y Alvarez-Jacobs, 2000; Bautista-Justo *et al.*, 2001), conservando al menos el 50% de la longitud de las hojas a lo largo del tallo de

la planta, para favorecer la síntesis y transporte de azúcares en la estructura de reserva y desarrollo de la piña.

El tamaño de la piña del henequén es la respuesta a los cuidados agronómicos que recibe el vegetal a lo largo del ciclo cultivo, la estacionalidad climática anual influye en forma imperceptible cada año, por lo que no afectó el desarrollo de la piña durante el periodo de estudio. Por la alternancia de las diferentes épocas climáticas a lo largo del ciclo agrícola del henequén, aspecto no investigado aún, debería realizarse una investigación en continuo de estos factores, desde el establecimiento del plantel hasta su decadencia (largo plazo), para determinar la influencia de la estacionalidad climática en el ciclo de cultivo.

El peso de la piña es la suma de la biomasa, los minerales y el agua: En la biomasa están contenidos los carbohidratos no estructurales y los sólidos solubles totales que dan riqueza

agroindustrial a estos órganos, que pueden ser procesados industrialmente y obtener alcohol etílico y/o miel de henequén.

Los carbohidratos no estructurales de la piña se hidrolizan con el cocimiento incrementándose el contenido de sólidos solubles y la generación de compuestos que generan aromas y sabores característicos (Lamas *et al.*, 2004), pero también con las altas temperaturas se desnaturalizan las proteínas y ablandan las membranas celulares de los tejidos, provocando la salida de agua y sólidos de la célula, por esta razón, el peso cocido de la piña presentó una ligera disminución del peso con respecto a la piña fresca, pero similar en todas las edades y épocas climáticas.

El contenido de humedad de la piña, aunque depende de varios factores, está relacionado con la capacidad de hidratación y el tamaño de la misma; que posterior al cocimiento, se denomina jugo cocido y es la mezcla de sólidos solubles y agua que se extrae de la piña.

La producción de jugo cocido de la piña de henequén, dada las características de desarrollo de la misma, no se vio influenciada por la edad de la piña al momento de la cosecha, conserva las características físicas similares reportadas en jugo de otros agaves como color, apariencia y turbidez. Como consecuencia, el mosto producido también es semejante. Sin embargo, al estar la planta expuesta a diversas condiciones ambientales a través del año, la humedad, la sequía, las bajas y altas temperaturas juegan un papel importante en la producción del jugo cocido, principalmente cuando hay disponibilidad de agua en el suelo, como ocurre durante la época de lluvias. Durante esta época la toma de este recurso por la planta induce la formación de raíces finas o de lluvia en plantas CAM como los agaves (Gibson y Nobel, 1986; Pimienta *et al.*, 2001); también se reduce la transpiración, ya que aumenta la humedad relativa del aire y se favorece la hidratación de la piña y obteniéndose los mayores volúmenes de jugo (3.4 l piña^{-1}) en contraste con la época de secas, en la que se reduce la humedad disponible en el

ambiente; y de nortes, cuando las temperaturas son más frescas debido a su disminución y a la ocurrencia de vientos de velocidad variable.(Duch, 1991).

Las plantas jóvenes (5 a 8 años) que están en la etapa inicial de producción de hoja, están en mejores condiciones fisiológica y metabólicamente que las plantas adultas (15 a 19 años), debido a que las segundas tienen más tiempo sujetas al estrés inducido debido al corte de hojas, situación que se ve profundizada por la estacionalidad climática, que interactúa con la edad de la planta. Razón por la cual, de las piñas jóvenes en la época de lluvias se obtienen mayores volúmenes de jugo, en comparación con el obtenido en las piñas adultas en las épocas de secas y de nortes.

La planta de henequén, como otros vegetales, conforme mayor cantidad de actividades fisiológicas realiza, mayor cantidad de compuestos ricos en energía requiere. Un indicador de estos requerimientos es la cantidad de sólidos solubles totales. El

contenido de sólidos solubles de la piña está relacionado positivamente con el grado de hidratación de los tejidos de la misma, pues permite regular la hidratación de la piña de henequén en las diversas épocas climáticas; y por el contenido energético que tiene sus componentes, principalmente los azúcares. El contenido de sólidos solubles de la piña fresca y del jugo cocido del henequén fue mayor en las edades adultas, esto sugiere que las reservas de la piña son más fácilmente hidrolizadas conforme aumenta la edad de la planta, lo que probablemente sea indicativo de una mayor disponibilidad de compuestos energéticos para la etapa reproductiva, cuya variación fue influenciada por la época climáticas, presentando el mayor contenido de sólidos solubles en el periodo seco, cuando hay poca disponibilidad de agua, hidratación y transpiración de la planta (Pimienta-Barrios *et al.*, 2000, Pimienta-Barrios *et al.*, 2001), factores que provocan la deshidratación de los tejidos y favorece la concentración de los sólidos presentes; observándose el efecto opuesto en los periodos húmedos del año, principalmente en piñas de edades

tempranas, respuesta también señalada en otros especies de agave utilizadas para la producción de etanol.

Los sólidos solubles totales son principalmente azúcares reductores. En las piñas de henequén los azúcares reductores variaron entre 70 y 111 mg l⁻¹ y presentan un comportamiento similar a los sólidos solubles. La ocurrencia fue mayor en plantas adultas (18 y 19 años) y en las más jóvenes (5 años) que inician el periodo productivo de corte de hojas; edades donde puede existir una alta actividad metabólica en la formación de nuevos órganos tales como hojas nuevas y diferenciación de estructuras reproductivas. En el periodo seco del año la respuesta es notoriamente contrastante con las épocas de lluvias y nortes. Con base en lo expuesto, se asevera que la estacionalidad climática influyó en la acumulación de los azúcares reductores, como ocurre en otras plantas CAM (Pimienta-Barrios *et al.*, 2000) y con otros tipos de metabolismos fotosintéticos (Chinnasamy y Bal, 2003; Xu and Huang, 2003).

Lo anterior refleja que la disponibilidad de compuestos energéticos para realizar las actividades fisiológicas y metabólicas indispensables para el mantenimiento y producción de hojas es la época de poca disponibilidad de agua en el suelo y altas temperaturas, relacionada con la edad o estado de desarrollo; a mayor edad mayor requerimiento de compuesto ricos en energía y mejor eficiencia fisiológica y metabólica. En plantas jóvenes, durante el periodo de disponibilidad de agua ambiental y temperaturas templadas, la disponibilidad de azúcares reductores es menor, debido a las condiciones más propicias para la síntesis de tales compuestos energéticos.

Con base en lo antes señalado, el contenido de azúcares reductores de la piña de henequén es la fuente de riqueza agroindustrial para la producción de destilado alcohólico y miel de esta planta, igual que el agave tequilero (*A. tequilana*) para el tequila de Jalisco, el agave espadín (*A. angustifolia*) para el mezcal de Oaxaca y otras especies más de este género botánico.

La producción de destilado, en la primera destilación ordinaria se obtuvo de piñas adultas (18 y 19 años), mismas que presentaron los contenidos de sólidos solubles y azúcares reductores más altos. A mayor edad de la piña mayor volumen de destilado, respuesta que es afectada por la estacionalidad del clima. Contrario a lo esperado, el mayor volumen del primer destilado se obtuvo en la época de nortes, periodo en el que el contenido de sólidos solubles y azúcares reductores eran bajos, seguida por la de secas con los contenidos más altos de sólidos solubles totales y azúcares reductores, aspecto no clarificado que merece profundizar su estudio.

El volumen del redestilado del ordinario o destilado blanco es semejante en cualquier edad, pero notoriamente afectado por la época climática., En la época de secas se obtuvo el mayor volumen del redestilado.

El contenido de etanol de los destilados fue semejante durante el periodo productivo de hojas del henequén. Los destilados ordinario y blanco, tuvieron el mismo contenido de alcohol etílico independientemente de las edades de las piñas; y debido a la eliminación del agua del destilado ordinario aumentó el contenido de etanol en el redestilado o destilado blanco.

La cantidad del alcohol etílico se vio influenciada por la época climática: El contenido de etanol de los destilados ordinario y blanco solamente se vio afectada en la época de nortes, al disminuir el contenido de alcohol en 45% en el ordinario y 48 % en el blanco, en relación a las épocas de secas y lluvias. Esta respuesta está claramente asociada con los contenidos de sólidos solubles totales y azúcares reductores.

Estas evidencias permiten aseverar que el contenido de sólidos solubles y azúcares en las piñas, agregan riqueza agroindustrial al cultivo, porque de estos azúcares se produce alcohol etílico.

Para recuperar esta riqueza e incorporarla en el sistema de producción agroindustrial del henequén, habrá que reconsiderar el manejo agronómico que en el cultivo se practica, pues con estas potencialidades de producción y usos alternativos deberá considerarse tanto la producción de hojas como el cuidado y desarrollo de la piña, para fomentar un sistema de producción agroindustrial de doble o triple propósito, es decir para fibra, etanol y miel de henequén.

5.1. Literatura citada

Ayora-Cámara, M.E. 1986. Determinación de las principales características físicas y químicas del jugo fresco de henequén (*Agave fourcroydes*). *Gestión Tecnológica* 4:7-12.

Barahona, P.L.F., 1987. Determinación de los azúcares presentes en el jugo de henequén (*Agave fourcroydes*) y su variación en el proceso de fermentación. Tesis de licenciatura de Ingeniero Industrial en Química. Instituto Tecnológico de Mérida. Mérida, Yucatán, México. p 90.

Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Salcedo-Hernández, R., Parra-Negrete, L.A., 2001. Azúcares en agaves (*Agave tequilana* Weber) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria* 11(1):33-36.

Cedeño, M. C. y Alvarez-Jacobs, J. 2000. Tequila production from agave. *In: The alcohol textbook*. 3rd ed. Murtagh & Associates (ed). Nottingham University Press.

Colunga-GarcíaMarín P., May-Pat F., 1993. Agave studies in Yucatan, México. I. Past and present germoplasm diversity and uses. *Economic Botany*. 47:312-327.

Chinnasamy, G., Bal, A.K., 2003. Seasonal changes in carbohydrates of perennial root nodules of beach pea. [En línea] *J. Plant Physiol.* <http://www.urbanfisher.de/journals/jpp>. (Agosto 2006).

Duch, G.J., 1991. Fisiografía del Estado de Yucatán, su relación con la agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo. Edo. de México. 223p.

García, A. M. A. 2006. Determinación y caracterización de fructanos provenientes de Henequén (*Agave fourcroydes* Lem). Tesis de Maestría en Ciencias y biotecnología de Plantas. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán, México. 45p.

Gibson, A. C. y P. S. Nobel. 1986. The cactus primer. Harvard University Press. Cambridge, Mass. 286 pp.

- Lamas, R.R., Sandoval, F.G.C., Osuna, T.A.A, Prado, R.R. y Gschaedler, M.A.C., 2004. Cocimiento y Molienda. *In: Ciencia y Tecnología del Tequila Avances y Perspectivas*. CIATEJ. Guadalajara, Jalisco, México. pp 40-62.
- Pimienta-Barrios, E., Zañudo, J., Yepez, E., Pimienta-Barrios, E., Nobel, P.S., 2000. Seasonal variation of net CO₂ uptake for cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) and pitayo (*Stenocereus queretaroensis*) in a semi-arid environment. *J. Arid Environments* 44:73-83.
- Pimienta-Barrios, E., Robles-Murguía, C., Nobel, P.S., 2001. Net CO₂ uptake for *Agave tequilana* in warm and a temperate environment. *Biotropica* 33: 312-318.
- Valenzuela-Zapata, A.G., 1985. The Tequila industry in Jalisco, México. *Desert Plants* 7: 65-70.
- Xu, Q., Huang B., 2003. Seasonal changes in carbohydrate accumulation for two creeping bentgrass cultivars. *Crop Science*. 43: 266-271.

- Lima, R.R., Sandoval, F.G.C., Ocaña, T.A.A., Prado, R.R. y
 Geschwiler, M.A.C., 2004. Coccinella y Mollusca. In:
 Ciencia y Tecnología del Tejido Avance y
 Perspectivas. CIATEL. Guadalupe, Jalisco, México. pp
 40-62.
- Pimenta-Batiz, E., Zañudo, J., Ypez, E., Pimenta-Batiz, E.,
 Nobel, P.S., 2000. Seasonal variation of net CO₂ uptake
 for cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) and piñazo
 (*Stenocereus queretlanensis*) in a semi-arid
 environment. *J. Arid Environments* 44:73-83.
- Pimenta-Batiz, E., Robles-Murgula, C., Nobel, P.S., 2001. Net
 CO₂ uptake for *Agave tequilana* in warm and a
 temperate environment. *Biologica* 33: 312-318.
- Valenzuela-Zapata, A.G., 1985. The Tequila industry in Jalisco,
 México. *Desert Plants* 7: 65-70.
- Xu, Q., Huang, B., 2003. Seasonal changes in carbohydrate
 accumulation for two creeping bentgrass cultivars. *Crop
 Science*, 43: 268-271.

6. Conclusiones

- 1. De la piña de henequén se puede obtener destilado alcohólico.**
- 2. La materia prima utilizable para la producción de destilados alcohólico está contenida en la piña fresca de henequén, y la cantidad aprovechable depende del tamaño de la piña.**
- 3. La piña de henequén contiene sólidos solubles totales, principalmente, azúcares reductores que pueden ser transformados en alcohol etílico y define la calidad de la materia prima.**
- 4. El tamaño y peso de la piña de henequén resulta ser pequeño a cualquier edad de la planta durante el periodo de producción agroindustrial de fibras, debido al estrés inducido por el corte de hojas.**

5. La edad de la piña afecta favorablemente la acumulación de sólidos solubles totales y de azúcares reductores, y la producción del primer destilado, siendo las piñas de 18 y 19 años las que presentan las mejores condiciones para la obtención de destilado alcohólico con contenido de etanol de hasta 500 g l^{-1} .

6. La estacionalidad climática anual no afecta al tamaño y peso de la piña de henequén.

7. Las épocas climáticas de la región influyen notoriamente en el contenido de sólidos solubles totales y de azúcares reductores, siendo la época de secas la más favorable con los mayores contenidos de sólidos solubles, seguido por las épocas de lluvias y la de nortes.

8. La producción del destilado etílico ordinario fue mejor en la época de nortes y de secas que en la época de lluvias;

y el redestilado fue mejor en las épocas de secas y lluvias, en contraste a la época de nortes.

9. El contenido de etanol del destilado ordinario y del redestilado fue mejor en las épocas de secas y lluvias, comparativamente a la época de nortes.

10. Las piñas de henequén como materia prima para la producción de destilado alcohólico, son aptas y pueden utilizarse todo el año, sin embargo, la mejor producción y eficiencia en la obtención de alcohol etílico se obtiene en las épocas de seca y lluvias.

y el destilado fue mejor en las épocas de secas y
lluvias, en contraste a la época de noches.

9. El contenido de etanol del destilado ordinario y del
destilado fue mejor en las épocas de secas y lluvias,
comparativamente a la época de noches.

10. Las pajas de herpuén como materia prima para la
producción de destilado alcohólico, son aptas y pueden
utilizarse todo el año, sin embargo, la mejor producción y
eficiencia en la obtención de alcohol etílico se obtiene en
las épocas de secas y lluvias.

7. Perspectivas.

El cultivo de henequén actual, cuyo uso es la obtención agroindustrial de fibra de las hojas, de continuar bajo el mismo sistema de producción y uso, su destino puede ser el del cultivo de traspatio.

El contenido de sólidos solubles totales y de azúcares reductores en las piñas de henequén posibilita grandemente la incorporación de usos alternos y complementarios en el corto plazo, como la producción de alcohol etílico y jarabe de henequén al de la producción de fibra, incorporando al sistema de producción agroindustrial valor agregado e importancia económica y social.

La importancia de los usos alternos, como la producción de alcohol etílico y del jarabe de henequén, es la utilización de los productos para consumo humano, como bebida alcohólica destilada análoga al mezcal y el tequila; y el jarabe de

henequén, que se obtiene del jugo cocido, como un alimento energético con alto contenido de fructosa en un amplio sector de la población, desde infantes hasta personas de la tercer edad.

Otros usos potenciales para consumo humano de la piña de henequén son la obtención de inulina, carbohidrato no estructural de donde se pueden obtener los fructooligosácaridos (FOS) como prebióticos, además del aprovechamiento de la médula y fibras cortas del tallo como fibras dietéticas.

También, el aprovechamiento de los jugos de las hojas que se obtiene del desfibrado, podría aprovecharse, igual que el jugo de la piña, para la obtención de alcohol anhidro para su uso como biocombustible.

Para la generación y aprovechamiento de los usos alternos que del cultivo del henequén se pueden obtener es necesario considerar prioritariamente el favorecer el desarrollo del tamaño

y peso de la piña y mantener o mejorar el contenido de sólidos solubles totales y de azúcares reductores.

Con base en la importancia del desarrollo y aprovechamiento de la piña, el establecimiento del cultivo de henequén deberá considerarse de múltiples propósitos para realizar las prácticas agrícolas adecuadas y obtención de hojas que favorezcan el crecimiento de la piña previa evaluación científica, tales como:

1. El corte de hojas solamente realizarlo una vez por año en vez de tres o cuatro cortes por año.
2. Iniciar el corte de hojas a partir del séptimo u octavo año.
3. Establecimiento del cultivo por ciclo corto de máximo 10 años, sin corte de hojas, y cosechar simultáneamente piñas y hojas.

4. Utilización de clonas de henequén con alto potencial de desarrollo de piñas y hojas.

Actividades que podrán incorporarle valor agregado al cultivo, y nuevos sistemas de producción que generen riqueza y derrama de las mismas en el sector social.

PRODUCTOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1. **Publicación Científica.** Artículo enviado a FITOTECNIA MEXICANA. Titulo: EL JARABE DE HENEQUÉN (*Agave fourcroydes* Lem).

Referencia: RFM/06013. Estado: **Aceptado** como nota científica. Se anexa comunicación con la revista.



REVISTA FITOTECNIA MEXICANA

25 de junio del 2007

DR. ALFONSO LARQUÉ SAAVEDRA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A.C.
CALLE 43 No. 130
COL. CHUBURNÁ DE HIDALGO
97200 MÉRIDA, YUCATÁN

Nos complace informarle que su contribución con clave: **RFM/06013**:

EL JARABE DEL HENEQUÉN (AGAVE POURCROYDES LEM.)

Está ahora en la versión formateada y ha sido programada para ser publicado en el próximo número de nuestra Revista. Con el fin de que este programa se realice conforme lo previsto, le solicitamos que en un plazo no mayor de 3 días hábiles revise cuidadosamente esta versión, sin hacer cambios mayores ni adicionar información.

Favor de usar color rojo para indicar las correcciones a los errores tipográficos que encuentre y con azul los cambios que, en su caso tenga a bien hacer en el texto.

Agradeciendo su pronta atención a esta solicitud, le envío un cordial saludo.

ATENTAMENTE

VÍCTOR A. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ
Director

c/anexo:

WACH/arty*



REVISTA FITOTECNIA MEXICANA

25 de Junio del 2007

DR. ALFONSO LARQUÉ SAAVEDRA
CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA DE YUCATÁN, A.C.
CALLE 43 No. 130
COL. CHUBURNÁ DE HIDALGO
97200 MÉRIDA, YUCATÁN

Estimado Dr. Larqué:

Me es grato informarle que su contribución titulada:

EL JARABE DEL HENEQUÉN (*AGAVE POURCROYDES LEM.*)

está lista para ser publicada en la Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 30 del año 2007.

Por tal motivo, le ruego hacer el pago por derechos de publicación ya sea directamente en la oficina sede la SOMEFI o mediante depósito bancario a nombre de **SOCIEDAD MEXICANA DE FITOGENÉTICA, A.C. BANCOMER, Suc. Texcoco** con número de cuenta 0445602750 por la cantidad de: \$ 1,200.00 (Un doscientos pesos 00/100 M.N.). Este pago es necesario para confirmar la publicación del trabajo.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente y aprovecho la ocasión para enviar un cordial saludo.

ATENTAMENTE


VÍCTOR A. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ
DIRECTOR

VANG/gmb*



REVISTA FITOTECNIA MEXICANA

9 ABRIL 2000

DR. ALFONSO LARQUÉ SAAVEDRA

CICY, A.C.
CALLE 43 NÚM. 130
COL. CHUBURNÁ DE HIDALGO
97200 MÉRIDA, YUCATÁN

Estimado Dr. Larqué:

Me permito informarle que durante la etapa de revisión de estilo de su contribución con RFM/06013 (Segunda Versión), se detectaron algunos aspectos que deben corregirse o aclararse, en su defecto, de acuerdo con las normas actuales de la Revista Fitotecnia Mexicana.

La nueva versión corregida, tanto en disco como en copia impresa, deberán ser remitidas a la Revista, en un plazo de 10 días naturales a partir de la fecha en la que usted recibe. También se deberá anexar una lista de respuestas de los autores a cada uno de los comentarios y sugerencias hechos por los revisores.

Agradezco de antemano la atención que se sirva prestar a la presente, así como su amable preferencia por nuestra Revista.

ATENTAMENTE

VÍCTOR A. GONZÁLEZ HERNÁNDEZ
Director

NOTA: Favor de devolver la versión que se anexa.

Adj. gnt

JARABE DE HENEQUÉN (*Agave fourcroydes* Lem.)

JARABE FROM HENEQUEN (*Agave fourcroydes* Lem.)

Orlando Rendón-Salcido, Abdo Magdub-
z, Laura Hernández-Terrones
y Alfonso Larqué-Saavedra*

Instituto Científico de Yucatán, A. C. Calle 43 No. 130,
Mérida, 97200, Mérida, Yucatán
Correos electrónicos: (larque@ciicy.mx)

RESUMEN

Se realizó la obtención de jarabe a partir de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.) y de algunas de sus características de las mismas piñas de henequén de 15 a 18 años de edad raste 4 h a una presión de 1.0 kg cm⁻², las que molieron para extraer las jugas que luego se concentraron el jarabe. Los resultados señalaron que este jarabe contiene 7 % de fructosa y 13.7 % de glucosa, 3623 µg g⁻¹ de magnesio (Mg), 665 µg g⁻¹ de potasio (K), 24 µg g⁻¹ de hierro (Fe), 24 µg g⁻¹ de aluminio (Al), 2 µg g⁻¹ de manganeso (Mn) y 1 µg g⁻¹ de arsénico (As), plomo (Pb) ni cadmio (Cd). El jarabe de henequén puede ser utilizado en la dieta humana. Este nuevo producto puede dar valor agregado a la planta y favorecer su preservación.

Agave fourcroydes, jarabe, azúcares, minerales

SUMMARY

Jarabe de henequén (*Agave fourcroydes* Lem.) was obtained from some of its characteristics of the same piñas of henequén of 15 to 18 years old, raste 4 h at 1.0 kg cm⁻²; thereafter, the 'piñas' were molten, and this one was concentrated to a syrup. The results indicated that this syrup contains 7 % of fructose and 13.7 % of glucose; 3623 µg g⁻¹ of magnesium (Mg), 665 µg g⁻¹ of potassium (K), 24 µg g⁻¹ of iron (Fe), 24 µg g⁻¹ of aluminum (Al), 2 µg g⁻¹ of manganese (Mn) and 1 µg g⁻¹ of arsenic (As), lead (Pb) or cadmium (Cd) were detected. From henequén syrup can give and promote its preservation.

Agave fourcroydes, syrup, sugars, minerals.

INTRODUCCIÓN

El henequén (*Agave fourcroydes*, Lem.) es el pilar de la agroindustria de producción de fibra en el Estado de Yucatán. Por sus propiedades físicas y químicas, dicha fibra es utilizada en cordelería, jarcias, reforzamiento de materiales compuestos y textiles. Para su extracción se utilizan aproximadamente 20 hojas por año y en las plantaciones quedan las piñas (el tallo más las bases de hojas) como subproducto de desecho al final del ciclo productivo (15 años), que corresponden a la tercera parte más joven de los tallos.

A lo largo de varios años, los agaves acumulan en el tallo reservas de carbohidratos no estructurales que pueden ser fermentados y utilizados para la obtención de bebidas alcohólicas como tequila, mezcal, bacanora, entre otros (Sánchez-Marroquín y Hope, 1953; Aguilar-Cisneros *et al.*, 2002; Larqué-Saavedra *et al.*, 2004), así como carbohidratos estructurales que conforman a las fibras de las hojas (Colunga-GarcíaMarín y May-Pat, 1993).

En las piñas los carbohidratos de reserva son principalmente polifruktanos, como inulina (Legorreta-Peyton y Ogura-Fujii, 2002; López *et al.*, 2003), cuya hidrólisis produce de 80.0 a 93.5 % de fructosa como principal componente (Sánchez-Marroquín y Hope, 1953; Ayora-Cámara, 1986). Esta característica ha permitido que estos polifruktanos sean utilizados en la elaboración de edulcorantes de alta fructosa (Lichtenthaler y Mondel, 1997; Vijn y Smeekens, 1999).

La propuesta de explotar los azúcares de los agaves para la elaboración de jarabe es reciente, y no hay publicaciones con suficiente información científica o tecnológica sobre el tema para tener un marco de referencia comparativo. El jarabe más conocido es el de *A. tequilana* y de otros agaves como *A. americana* (Prado, 2005¹), *A. potatorum*, *A. salmiana* y *A. atrovirens*, en los que se han reportado altos contenidos de fructosa, regulares en glucosa y bajos de sacarosa e inulina (HIDEA, S.A. de C.V./Natura²; Colibree Company Inc/Nektul³). Para el jarabe de maple (*Acer saccharum* Marsh) se ha reportado un bajo contenido de monosacáridos (fructosa + glucosa) y alto en

¹ Prado O (2005) El agave americano (*Agave americana* L.) un abastecedor en el Perú. Chiric Chiric año 8 No. 2. (<http://www.chirichiric.org/agave/Agaveata.htm>)

HIDEA, S. A. de C. V. s/a. Natural. El perfecto sustituto del azúcar <http://www.naturai.com.mx/acer/acerdelagave/historia.html>; (Agosto 2006)

³ Colibree, Company Inc. s/a. Nektul Organic Agave Syrup. Chemical Analysis. Nota 5 A. de C.V (<http://www.agavenectar.com/product.html>; Agosto 2006)

EL JARABE DE HENEQUÉN (*Agave fourcroydes*, Lem)

SYRUP FROM HENEQUEN (*Agave fourcroydes*, Lem)

**Luis Alberto Rendón-Salcido, Abdo Magdub-Méndez, Laura
Hernández-Terrones y Alfonso Larqué-Saavedra***

**Sometido a:
Revista Fitotecnia Mexicana
Nota Científica
RFM/06013**

**Solicitud de Patente:
Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).
Fecha de presentación. Marzo 17 2006.**

**Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Calle 43 No.
130. Col Chuburná de Hidalgo. 97200, Mérida, Yuc.**

*** Autor para correspondencia: larque@cicy.mx**

RESUMEN

Se presenta evidencia de la obtención de jarabe a partir de henequén (*Agave fourcroydes*, Lem.) y de algunas de sus características de composición. Se utilizaron piñas de henequén de 15 a 18 años de edad que se cocieron durante 4 h a una presión de 1.0 kg.cm², de las que posteriormente se molieron para extraer los jugos, los que se concentraron para obtener el jarabe. Los resultados señalaron que este jarabe contiene 85.7 % de fructosa y 13.7 % de glucosa, 3623 µg g⁻¹ de calcio (Ca), 470 µg g⁻¹ de magnesio (Mg), 665 µg g⁻¹ de potasio (K), 99 µg g⁻¹ de zinc (Zn), 36 µg g⁻¹ de hierro (Fe), 24 µg g⁻¹ de aluminio (Al), 8 µg g⁻¹ de cobre (Cu), 2 µg g⁻¹ de manganeso (Mn) y 1 µg g⁻¹ de cromo (Cr). No se detectó arsénico (As), plomo (Pb) ni cadmio (Cd). Por su riqueza en fructosa, Ca, K y Mg, el jarabe de henequén puede incorporarse en la dieta humana. Este nuevo producto puede dar valor agregado a esta planta y favorecer su preservación.

Palabras claves: *Agave fourcroydes*, jarabe, azúcares, minerales.

SUMMARY

Syrup from henequen (*Agave fourcroydes*, Lem.) was obtained and its composition was determined. Henequen piñas, 15 to 18 years old, were cooked for 4 h at 1.0 kg.cm^{-2} . The obtained juice was concentrated to a syrup which contains 85.7 % of fructose and 13.7 % of glucose; $3623 \mu\text{g g}^{-1}$ calcium (Ca), $470 \mu\text{g g}^{-1}$ magnesium (Mg), $665 \mu\text{g g}^{-1}$ potassium (K), $99 \mu\text{g g}^{-1}$ zinc (Zn), $36 \mu\text{g g}^{-1}$ iron (Fe), $24 \mu\text{g g}^{-1}$ aluminum (Al), $8 \mu\text{g g}^{-1}$ copper (Cu), $2 \mu\text{g g}^{-1}$ manganese (Mn) and $1 \mu\text{g g}^{-1}$ chromium (Cr). No arsenic (As), lead (Pb) or cadmium (Cd) were found. Because of its levels of fructose, Ca, K and Mg, the henequen syrup might be incorporated into the human diet. This finding can give and added value to the plant as renewable resource

Key Words: *Agave fourcroydes*, syrup sugars, minerals.

INTRODUCCIÓN

El henequén (*Agave fourcroydes*, Lem.) es el pilar de la agroindustria de producción de fibra en el Estado de Yucatán. Por sus propiedades físicas y químicas dicha fibra es utilizada en cordelería, jarcias, reforzamiento de materiales compuestos y textiles. Para su extracción se utilizan aproximadamente 20 hojas por año y en las plantaciones quedan las piñas (el tallo más las bases de hojas) como subproducto de desecho al final del ciclo productivo (15 años), que corresponden a la tercera parte más joven de los tallos.

A lo largo de varios años en los agaves se acumulan en el tallo reservas de carbohidratos no estructurales que pueden ser fermentados y utilizados para obtener bebidas alcohólicas como tequila, mezcal, bacanora, entre otros (Sánchez-Marroquín y Hope, 1953; Aguilar-Cisneros *et al.*, 2002; Larqué-Saavedra *et al.*, 2004), así como carbohidratos estructurales que conforman a las fibras de las hojas (Colunga-GarcíaMarín y May-Pat, 1993).

En las piñas se ha revelado que los carbohidratos de reserva son principalmente polifructanos, como inulina (Legorreta-Peyton y

Ogura-Fujii, 2002; López *et al.*, 2003), cuya hidrólisis produce de 80.0 a 93.5 % de fructosa como principal componente (Sánchez-Marroquín y Hope, 1953; Ayora-Cámara, 1986). Esta característica ha permitido que estos polifruktanos sean utilizados en la elaboración de edulcorantes de alta fructosa (Lichtenthaler y Mondel, 1997; Vijn y Smeekens, 1999).

La propuesta de explotar los azúcares de los agaves para la elaboración de jarabe es reciente y no hay publicaciones con suficiente información científica o tecnológica sobre el tema, para tener un marco de referencia comparativo. El jarabe más conocida es el de *A. tequilana* y de otros agaves como *A. americana* (Prado, 2005¹), *A. potatorum*, *A. salmiana* y *A. atrovirens*, en las que se han reportaron altos contenidos de fructosa, regulares en glucosa y bajos de sacarosa e inulina (IIDEA, S.A. de C.V./ Natural²; Colibree

¹ Prado O (2005) El agave americano (*Agave americana* L): uso alimentario en el Perú. Chloris Chilensis. Año 8 No 2 URL: <http://www.chlorischile.agavepardo/Agavetexto.html>

² IIDEA, S.A. de C.V. s/a. Naturel. El perfecto sustituto del azúcar. <http://www.naturel.com.mx/acercadelagave/historia.html>. (Agosto 2006).

Company Inc/Nekutli³). Para el jarabe de maple (*Acer saccharum* Marsh) se ha reportado un bajo contenido de monosacáridos (fructosa + glucosa) y alto en sacarosa (Michigan Maple Syrup Association⁴) o la del tubérculo andino yacón (*Smallanthus sonchifolius*) que contiene fructosa, glucosa y sacarosa en concentraciones equivalentes (Manrique *et al.*, 2005). De igual forma se ha reportado que el jarabe de *A. tequilana* contiene Cu, Fe, As, Na, K, Mg y Ca (Colibree Company Inc/Nekutli; *Opus cit.*) que se considera bajo en K, Ca, Mg, Mn y P en comparación con el jarabe de maple cuyo contenido es muy variable (Michigan Maple Syrup Association; *Opus cit.*).

La piña del henequén se ha utilizada en la fabricación de una bebida alcohólica a nivel industrial con base en la patente IMPI

³ Colibree, Company Inc. s/a.Nekutli. Organic Agave Syrup. Chemical Análisis. Nekutli S.A. de C.V. <http://www.agavenectar.com/product.htmlr> (Agosto 2006).

⁴ Michigan Maple Syrup Association. Information & Figures. Nutritional value of pure maple syrup. http://www.mi-maplesyrup.com/MMSA/mmsa_about.htm (Agosto 2006).

219235 (Larqué-Saavedra *et al.*, 2004) y se pretende que con la obtención de jarabe de henequén se aumenten las alternativas de uso relacionadas con el aprovechamiento de este recurso renovable.

El objetivo de este trabajo fue obtener jarabe a partir de los carbohidratos de reserva del henequén y cuantificar sus contenidos de azúcares y minerales, así como comparar dicha composición con los jarabes comerciales de *A. tequilana*, yacón y maple.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para este estudio se utilizaron plantas de henequén cultivadas en plantaciones comerciales de la Comunidad de Kopté, en el Municipio de Motul, Yucatán, México, de donde se seleccionaron tres piñas de henequén de entre 15 y 18 años de establecidas.

Para la obtención del jarabe se eligieron las piñas morfológicamente similares, y con un contenido mínimo de 12 °Brix determinados con un refractómetro de mano Westover RHB-32. Cada piña fue cortada en ocho fracciones, que se cocieron en una olla de presión de 21 L de capacidad, marca "Presto" durante 4 h a 1 kg cm⁻². Posterior a la cocción de los trozos, se extrajo el jugo

en un molino tipo trapiche. El jugo extraído de cada piña se evaporó en olla de acero inoxidable a fuego directo a $85\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta obtener un producto con un contenido de sólidos de 69 °Brix.

Cada piña correspondió a una unidad experimental y fue procesada en forma independiente. Las determinaciones analíticas se hicieron por triplicado y se reportan sus valores promedio \pm desviación estándar.

La densidad aparente (g mL^{-1}) del jugo y jarabe se determinó según la norma mexicana NMX-CH-050-1984 que se basa en el principio de Arquímedes.

La presencia de minerales se determinó por espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) “IRIS Intrepid II XDL. ThermoElectron Co” acoplado con nebulizador ultrasónico “CETAC U5000AT⁺”. El método consiste en la digestión de las muestras en un horno de microondas “CEM, MARS-Xpress” de placa giratoria y extracción de gases, con control computarizado de temperatura, presión y potencia. Se prepararon tres muestras por duplicado, y los controles, un blanco de agua y otro de ácido, para el

control del proceso de digestión y análisis. Cada muestra de 2 g de jarabe se colocó en un recipiente de Teflón® que se ubicó en el sistema de microondas con los parámetros de digestión: potencia 60 %, 10 min para alcanzar 200 °C y digestión por 15 min (Bhandari y Amarasiriwardena, 2000). Una vez concluido el proceso de digestión, se enfriaron por completo los recipientes dentro del sistema, se transfirieron a un matraz volumétrico de 250 mL y se diluyeron con agua MilliQ. Los elementos cuantificados fueron Al, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Pb y Zn. Para su cuantificación se prepararon soluciones estándar de calibración de 0.05, 0.15, 0.50, 1.00 y 5.00 $\mu\text{g mL}^{-1}$ y una solución multi-elemento para cada concentración.

Los contenidos de sacarosa, glucosa, fructosa y azúcares reductores se determinaron en el Laboratorio Central Regional de la SAGARPA en Mérida, Yucatán, conforme a la Norma Mexicana de Miel NMX-F-036-1997 según la metodología establecida; para sacarosa y glucosa se usó el método descrito por Barnham y Trinder (1972); la de fructosa se hizo con el método de fosforilación enzimática mediante el kit. Boehringer Mannheim/R-Biopharm y se leyó en el espectrofotómetro a 430 nm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso para la obtención de jarabe de henequén requiere de la cocción de la piña para que se produzca la hidrólisis de los carbohidratos de reserva de las bases de la hoja y del tallo y la extracción del jugo que contiene los azúcares en los sólidos solubles totales, etapas que son semejantes al proceso utilizado en la producción de jarabe de otras especies de agaves (Partida y Gómez, 1997) y del tubérculo yacón (*Smallanthus sonchifolius*) (Manrique *et al.*, 2005). Una vez obtenido el jugo, se favorece su concentración por eliminación de agua hasta alcanzar la densidad y consistencia del jarabe, en un proceso semejante al descrito para concentrar el aguamiel *A. americana* (Pardo, 2005) y *A. atrovirens*, y de la savia del maple.

Los resultados obtenidos indicaron que por cada kilogramo de peso fresco de piña de henequén se obtuvieron 600 mL de jugo cocido, que produjeron 130 mL de jarabe. De manera semejante, los sólidos solubles totales de la piña cruda fueron de 12.5 °Brix, que

se elevaron en 43 % en el jugo cocido, debido a la hidrólisis de carbohidratos no estructurales, y se incrementaron hasta 551 %.

Estos datos permiten establecer comparaciones con los datos reportados para otros jarabes (Cuadro 1). Los sólidos solubles del jarabe de henequén fueron mayores que los del jarabe de maple (Michigan Maple Syrup Association; *Opus cit.*) pero menores respecto al jarabe de *A. tequilana* (Colibree Company Inc/Nekutli; *Opus cit.*) y del yacón (Manrique *et al.*, 2005).

La densidad aparente del jugo crudo del henequén fue $1.01 \pm 0.01 \text{ g mL}^{-1}$, que aumentó en 3 % en el jugo cocido y en 28.7 % en el jarabe (Cuadro 1). La densidad aparente del jarabe de henequén se ubica en el límite inferior del valor de los jarabes, según la farmacopea británica (Kirk *et al.*, 2000), y por tanto es inferior que las densidades aparentes reportada de *A. tequilana* (1.38), de yacón (1.35) o el jarabe de maple (1.37).

En los azúcares totales se encontró que la fructosa fue la de mayor proporción, seguida de la glucosa y mientras que la sacarosa prácticamente estuvo ausente. Entre los monosacáridos se determinó

una relación de 6.27 veces fructosa por cada unidad de glucosa

(Cuadro 2).

Se ha reportado que en el jarabe de agaves la fructosa es dominante, hecho que no se presenta en otros jarabes de origen vegetal, como la del yacón o de maple, pero el de henequén es similar al de otros agaves (Sánchez-Marroquín y Hope, 1953; López *et al.*, 2003). Los niveles de glucosa fueron semejantes a los de yacón y maple, pero inferiores en 50 % al jarabe de *A. tequilana* (Colibree Company Inc/Nekutli; *Opus cit.*). La sacarosa en el jarabe de henequén y *A. tequilana* fue inferior a la reportada para el jarabe del yacón, o de maple en la que este azúcar es el más abundante (Michigan Maple Syrup Association; *Opus cit.*). Estos resultados permiten enfatizar el hecho de que el jarabe de henequén es de los más ricos en fructosa y con bajos contenidos de glucosa y sacarosa (Cuadro 2).

En las cenizas del jarabe de henequén se detectaron niveles por arriba de $3600 \mu\text{g g}^{-1}$ Ca y $460 \mu\text{g g}^{-1}$ de Mg, cifras que son muy superiores a los de otros jarabes de origen vegetal. Los niveles de K

de $665 \mu\text{g g}^{-1}$ fueron mayores a los que se encuentran en el jarabe de *A. tequilana*. Se detectó la presencia de Zn, Fe y Al con valores entre 9 y $24 \mu\text{g g}^{-1}$, y Cu, Mn y Cr entre 8.5 y $1.3 \mu\text{g g}^{-1}$ (Cuadro 3). No se detectaron metales pesados como As, Pb o Cd. Los minerales Zn, Fe, Cu y Mn del jarabe de henequén están dentro del intervalo señalado en el jarabe de maple (Michigan Maple Syrup Association; *Opus cit.*). Los niveles de Al y Cr no se pudieron comparar por no estar reportados en los otros jarabes vegetales pero deberán analizarse por su importancia dentro del marco de inocuidad alimentaria.

Estos resultados permiten señalar que de la piña de henequén se puede obtener jarabe comparable a otros de origen vegetal, particularmente a los de otros agaves. García⁵ (2006) reportó que la inulina y los polifruktanos están presentes en la piña y hojas del henequén. Estos polímeros son ampliamente conocidos por sus aspectos benéficos en la salud humana, por lo que el no hidrolizarlos

⁵ **García A M A (2006)** Determinación y caracterización de fructanos provenientes de Henequén (*Agave fourcroydes*, Lem.). Tesis de Maestría en Ciencias y Biotecnología de Plantas. Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. Mérida, Yucatán, México. 45 p.

como en el presente estudio también puede ofrecer una ventana de oportunidad en el sector agroindustrial, de manera paralela a lo planteado en la obtención del jarabe.

Es necesario estudiar en mayor profundidad este tipo de jarabe para tener la seguridad en su consumo como alimento, además de verificar los datos de productividad requeridos para su explotación agroindustrial. Los resultados apoyan la propuesta de uso del henequén con doble propósito: fibra y azúcares no estructurales.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar-Cisneros B O, M G López, E Richling, F Heckel, P Schreir (2002) Tequila authenticity assessment by headspace SPME-HRGG-IMRS analysis of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratios of ethanol. *J. Agric. Food Chem.* 50:7520-7523.

Ayora-Cámara M E (1986) Determinación de las principales características físicas y químicas del jugo fresco de henequén (*A. fourcroydes*). *Gestión Tecnol.* 4:7-12.

Bhandari, S A, D Amarasiriwardena (2000) Closed-vessel microwave acid digestion of commercial maple syrup for the determination of lead and seven other trace elements by inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Microchem. J.* 64:73-84.

Barham D, P Trinder (1972) An improved colour reagent for the determination of blood glucose by the oxidase system. *Analyst* 97:142-145.

Bhandari S A, D Amarasiriwardena (2000) Closed-vessel microwave acid digestion of comercial maple syrup for the determination of lead and seven other tracer elements by inductively coupled plasma-mass spectrometry. *Microchem. J.* 64:73-84.

Colunga-GarcíaMarín P, F May-Pat (1993) Agave studies in Yucatan, México. I. Past and present germplasm diversity and uses. *Econ. Bot.* 47:312-327.

Kirk R S, R Sawyer, H Egan (2000) Azúcares y conservadores. *In: Composición y Análisis de Alimentos de Pearson.* J L Ríos Pérez (trad.). 3a. Reimpresión. Cía. Editorial Continental, S.A. de C.V. México. pp:200-257.

Larqué-Saavedra A, A Magdub-Méndez, M Cáceres-Farfán (2004) Proceso para la fabricación de bebida alcohólica a partir del henequén (*Agave fourcroydes*). Patente de invención. 219235, otorgada por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Centro de Investigación Científica de Yucatán, México.

Legorreta-Peyton E, T Ogura-Fujii (2002) Proceso, composición y usos de inulina de agave en polvo y solución. Patente de invención WO

02/0666517 A1. Organización Mundial de la Propiedad Industrial. Tratado de Cooperación en Materia de Patentes (PCT).

Lichtenthaler F W, S Mondel (1997) Perspectives in the use of low molecular weight carbohydrates as organic raw material. *Pure Appl. Chem.* 69:1853-1866.

Lopez M G, N A Mancilla-Margalli, G Mendoza-Diaz (2003) Molecular structures of fructans from *Agave tequilana* Weber var. azul. *J. Agric. Food Chem.* 51:7835-7840.

Marique I, A Párraga, M Hermann (2005) Descripción del proceso y el jarabe de jarabe de Yacón. *In: Jarabe de Yacón: Principios y Procesamiento. Serie: Conservación y Uso de la Biodiversidad de Raíces y Tubérculos Andinos: Una Década de Investigación para el Desarrollo (1993-2003) No. 8a.* Centro Internacional de la Papa, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Fundación Erbacher, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación. Lima, Perú. pp:11-22.

NMX-F-036-1997. Norma Mexicana de Miel. Alimentos-Miel-Especificaciones y Métodos de Prueba. Determinación del Hidroximetilfurfural. pp:14-16.

NMX-CH-050-1984. Métodos de Determinación-Medición de la Densidad de Líquidos- Principio de Arquímedes. pp:1-8.

Partida V Z, A J M Gomez (1997) Method of producing fructose syrup from agave plants. World Intellectual Property Organization. Patent Cooperation Treaty (PCT) WO 97/34017.

Sánchez-Marroquín A, P H Hope (1953) Agave Juice. Fermentation and chemical composition studies of some species. *J. of Agric. Food Chem.* 1:246-249.

Southgate D A T (1991) The carbohydrates in foods. *In: Determination of Food Carbohydrates.* 2nd ed. Elsevier Applied Science. London and New York. pp:9-57.

Vijn I, S Smeekens (1999) Fructan: More than a reserve carbohydrate? *Plant Physiol.* 120:351-359.

CUADROS

Cuadro 1. Información básica de características estimadas en el proceso de obtención de el jarabe de Henequén. Se anota información reportada de otras jarabes para fines comparativos.

Variable	Henequén		Agave tequilana ⁺	Yacón ⁺	Maple ⁺	
	Piña Cruda	Jugo Cocido	Jarabe	Jarabe	Jarabe	
Peso (kg)	14.7±4.4					
Volumen (L)		8.7±1.3	1.8±0.3			
Sólidos solubles totales (°Brix)	12.5±0.2	18.0±1.8	69.4±6.4	76.8- 77.4	73.0	66.0-6
Densidad aparente (g mL ⁻¹)	1.01±0.0	1.04±0.0	1.30±0.04	1.38	1.35	1.37
	1	3				

Datos: Media(±)desv. estandar; n=3

⁺Colibree, Company Inc. s/a.Nekutli. Organic Agave Syrup.
Chemical Análisis. Nekutli S.A. de C.V.

<http://www.agavenectar.com/product.htmlr> (Agosto 2006)

⁺⁺Manrique *et al.*, (2005).

⁺⁺⁺ Michigan Maple Syrup Association. Information & Figures.

Nutritional value of pure maple syrup. http://www.mi-maplesyrup.com/MMSA/mmsa_about.htm (Agosto 2006)

Cuadro 2. Presencia de azúcares en el jarabe de henequén. Se anota información reportada de otras jarabes para fines comparativos.

<u>Azúcar</u>	<u>Jarabe de henequén</u>		<u>Jarabe de Agave tequilana</u> ⁺	<u>Jarabe de Yacón</u> ⁺⁺
Nombre	g/100 g de jarabe	(%)	(%)	(%)
Sacarosa	0.3	0.6	1.1- 1.4	12.2-20.0
Glucosa	6.2	13.66	26.5-28.8	2.6-15
Fructosa	38.9	85.68	67.2-69.7	7.9-25
Azúcares totales (sacarosa + glucosa + fructosa)	45.4	100.0		

Los datos son de una muestra representativa atendiendo la Norma Mexicana de Miel NMX-F-036-1997.

⁺Colibree, Company Inc. s/a.Nekutli. Organic Agave Syrup. Chemical Análisis. Nekutli S.A. de C.V.

<http://www.agavenectar.com/product.htmlr> (Agosto 2006)

⁺⁺Manrique *et al.* (2005).

⁺⁺⁺Michigan Maple Syrup Association. Information & Figures.

Nutritional value of pure maple syrup. http://www.mi-maplesyrup.com/MMSA/mmsa_about.htm (Agosto 2006)

Cuadro. 3. Contenido de minerales (Mg g^{-1}) de el jarabe de henequén. Se anota información reportada de otras jarabes para fines comparativos.

Elemento ^d	Jarabe de Henequén ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Jarabe de <i>Agave tequilana</i> ^e ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Jarabe de Yacón ⁺⁺ ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Jarabe de Maple ⁺⁺⁺ ($\mu\text{g g}^{-1}$)
Aluminio (Al)	24.04 ± 0.28			
Arsénico (As)	N.D. ^f	< 1		
Calcio (Ca)	3,623.0 ± 37.0	< 15		400-2100
Cadmio (Cd)	N.D.	N.D.		
Cromo (Cr)	1.38 ± 0.11	N.D.		
Cobre (Cu)	8.53 ± 0.11	< 1		0-2
Hierro (Fe)	36.79 ± 0.34	< 1		0-36
Potasio (K)	665.35 ± 5.0	< 10	< 1 (%).	1300-3900
Magnesio (Mg)	469.60 ± 2.0	< 10		12-360
Manganeso (Mn)	2.52 ± .08			2-220
Plomo (Pb)	N.D.	N.D.		
Zinc (Zn)	99.31 ± 0.65			0-90

Dato: Media/±) desv. estándar, n=3

^dDeterminación por Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente ICP-OES.

^f N.D. No Detectado.

+ Colibree, Company Inc. s/a.Nekutli. Organic Agave Syrup.

Chemical Análisis. Nekutli S.A. de C.V.

<http://www.agavenectar.com/product.html>. Agosto 2006.

****Manrique et al. (2005).**

*****Michigan Maple Syrup Association. Information & Figures.**

Nutritional value of pure maple syrup. http://www.mimapplesyrup.com/MMSA/mmsa_about.htm. Agosto 2006.

Elemento	Unidad	Valor	Referencia
Aluminio	(µg g ⁻¹)	24.04 ± 0.28	
Arsenico	(µg g ⁻¹)	N.D.	> 1
Bario	(µg g ⁻¹)		
Cadmio	(µg g ⁻¹)	0.23 ± 0.17	< 12
Cobalto	(µg g ⁻¹)	N.D.	
Cromo	(µg g ⁻¹)	N.D.	
Cupero	(µg g ⁻¹)	1.38 ± 0.11	> 1
Cobre	(µg g ⁻¹)	8.23 ± 0.11	> 1
Hierro	(µg g ⁻¹)	36.70 ± 0.34	> 1
Plomo	(µg g ⁻¹)	662.32 ± 2.0	< 10
Magnesio	(µg g ⁻¹)	469.60 ± 2.0	< 10
Manganeso	(µg g ⁻¹)	2.22 ± 0.08	
Mercurio	(µg g ⁻¹)	N.D.	
Niobio	(µg g ⁻¹)	N.D.	
Zinc	(µg g ⁻¹)	92.31 ± 0.82	

Datos: Media ± desv. estándar, n=3
 Determinación por Espectrometría de Emisión Óptica con Plasma
 Análisis Instrumental ICP-OES
 N.D. No Detectado

Solicitud de patente: Enviada a Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. Título: PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE MIEL DE HENEQUÉN.

Inventores: LUIS ALBERTO RENDÓN SALCIDO; MAGDUB MENDEZ ABDO JESÚS; LARQUÉ SAAVEDRA FRANCISCO ALFONSO. Fecha de solicitud: 23 de Abril de 2006.
Avances: Aprobado en el análisis de forma. Se anexa solicitud oficial (pendiente de incluir)

PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE MIEL DE HENEQUÉN

Instituto
Mexicano
de la Propiedad
Industrial



- Solicitud de Patente
 Solicitud de Registro de Modelo de Utilidad
 Solicitud de Registro de Diseño Industrial

Modelo Industrial Dibujo Industrial

INSTITUTO MEXICANO
DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL
División Divulgación

Ex. de título YU/a. 2006/0
Fecha 23/02/2006 H
Folio YU/2006/000043



Antes de llenar la forma leer las consideraciones generales al reverse

I	DATOS DEL (DE LOS) SOLICITANTE(S)
	<p>El solicitante es el inventor <input type="checkbox"/> El solicitante es el causahabiente <input type="checkbox"/></p> <p>1) Nombre (s): CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTIFICA DE YUCATAN A.C</p> <p>2) Nacionalidad (es): MEXICANA</p> <p>3) Domicilio; calle, número, colonia y código postal: CALLE 43 No. 130 DE LA COLONIA CHUBURI</p> <p>Población, Estado y País: MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO</p> <p>4) Teléfono (clave): (999) 981 39 14 Y 981 39 21</p>
II	DATOS DEL (DE LOS) INVENTOR(ES)
	<p>6) Nombre (s): A) FRANCISCO ALFONSO LARQUÉ SAAVEDRA B) ABDO JESÚS MAGDUB MÉNDEZ C) LUIS ALBERTO RENDON SALCIDO</p> <p>7) Nacionalidad (es): MEXICANAS</p> <p>8) Domicilio; calle, número, colonia y código postal: A) Calle 39 x 36-C No. 144 de la de la Colonia I B) Calle 18-A No. 433 de la Colonia Petzanché, C) Calle 28 No. 387 x 1-E y 3 de la Col. Bugami</p> <p>Población, Estado y País: MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO</p> <p>9) Teléfono (clave): (999) 981 39 14 Y 981 39 21 10) Fax (clave): (999) 981 39 21</p>
III	DATOS DEL (DE LOS) APODERADO(S)

PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE MIEL DE
HENEQUÉN

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

El henequén (*Agave fourcroydes*) es una de las 300 especies de agaves que existen en América, y es mundialmente conocido por la producción y calidad de su fibra. En México, por la superficie cultivada de henequén, está plenamente identificada su importancia como proveedor de fibra natural para la elaboración de diversos productos, como cordeles, jarcias, bolsas, alfombras, costales, hilos y artesanías diversas; al igual que la de *Agave tequilana* y *Agave angustifolia* como especies cultivadas para la producción de las bebidas destiladas, conocidas como tequila y mezcal, respectivamente.

Para aprovechar industrialmente la fibra del henequén nativo de la Península de Yucatán, México, se elaboraron las patentes nacionales: MX 149426, MX146655, MX155519, MX146419, relacionadas con el proceso industrial: alimentación automática de hojas, cribas para la recuperación y exprimido del bagazo, y limpia de los manojos de fibra; además, la patente MX 9204126

del leño ecológico para la generación de energía calorífica ambiental.

A nivel internacional, se identificaron las patentes ES 2077539, ES 2092153, ES 91103641, ES 0808953 y ES 0810329, relativas a la producción de materiales como manta orgánica biodegradable, material estatificado plano, estera de protección contra la erosión, materiales aislantes y estera vegetal protectora contra la erosión; la US 3928121 para la obtención de un concentrado en polvo fermentable y celulosa sin cocción; y la IMPI 219235, cuya denominación es "PROCESO PARA LA FABRICACIÓN DE BEBIDA ALCOHÓLICA A PARTIR DE HENEQUÉN (*Agave fourcroydes*)". Esta última patente está directamente relacionada con el potencial de aprovechamiento que el agricultor henequenero regional puede hacer del recurso renovable que posee.

Una vez que el henequén ha concluido su periodo de producción de hojas para la extracción de fibras, en el plantel quedan como

subproductos de desecho las denominadas piñas, que son los tallos y las bases de hojas de las plantas, mismas que son ricas en azúcares de reserva y pueden ser utilizadas para la obtención de miel de henequén. Como se indica más adelante, en esta invención se propone un proceso específico para el henequén (*Agave fourcroydes*), en donde se describen las etapas de elaboración de la miel de henequén, la cual tiene alto contenido de fructosa, sabor y aroma característicos, y calidad para el consumo en la dieta alimenticia cotidiana.

En el mercado de alimentos actualmente existe la miel de agave con diferentes colores y características organolépticas, atributos directamente relacionados con las técnicas de obtención de la miel, como lo refiere la patente WO 97/34017 (US Patent 5846333), misma que señala:

a) el proceso térmico utilizado por la industria tequilera para la producción de jarabe o miel de fructosa, donde el color, sabor y aroma pueden no ser críticos; proceso que se basa en la

coagulación de los coloides del extracto de la planta de agave; y

se utiliza tierra de diatomeas para favorecer la coagulación de los agregados que son separados por centrifugación o filtración.

Además, menciona que el jarabe o miel de fructosa es de baja pureza, de color amarillento o café, con contaminantes como el hidroximetilfurfural;

b) proceso de hidrólisis ácida, el cual requiere del uso de ácidos minerales como ácido sulfúrico o ácido fluorhídrico, cuyo producto es de mediana pureza, su color es amarillento con tintes cafés, y puede contener contaminantes como el hidroximetilfurfural;

c) la hidrólisis enzimática, mediante la utilización de la enzima inulasa, la separación de la fructosa por centrifugación, el tratamiento con carbono activado, el filtrado a través de un intercambiador iónico ácido y otro intercambiador iónico básico y la evaporación; y

d) hidrólisis enzimática con la variante de ultrafiltración con la utilización de membranas para la separación de aminoácidos, péptidos y minerales solubles.

De acuerdo a los procesos c) y d), la fructosa obtenida es de alta calidad.

Es notorio que la patente WO 97/34017 (US Patent 5846333) menciona que por el método enzimático, el aroma y el sabor característicos de la planta de agave son eliminados, produciendo una miel o jarabe decolorada, con olor y sabor neutro no distintivo de la especie vegetal de la cual se origina. Es importante señalar que la miel o jarabe de agave, como la de maple, se obtiene del jugo que se extrae de la planta, que es una mezcla, principalmente, de azúcares simples, minerales y agua. Por la evaporación térmica del agua, se favorece la concentración de los azúcares, mismos que por efecto del calor desarrollan la coloración café amarillenta, ámbar e incluso oscura. A este efecto se le identifica como reacción de Maillard, reacción química no enzimática entre los aminoácidos y los azúcares reductores que produce el compuesto identificado como 5-(hidroximetil)-2-furfuralaldehído o 5-hidrometilfurfural (HMF), el cual influye en el olor y sabor de la miel o jarabe y es

el responsable de la coloración café cobrizo de diversos alimentos que contienen harinas y azúcares al ser calentados (pan tostado, vinagre, vino tinto, brandy, jugo de frutas, cerveza, leche, miel de abeja, etc.). El HMF se emplea para predecir la frescura y la calidad de la miel de abeja, pero está presente en una amplia variedad de alimentos.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION.

La presente invención se refiere al proceso de elaboración de miel con alto contenido de fructosa a partir del henequén, utilizando como materia prima el jugo de la piña, considerada como un subproducto no aprovechable del cultivo de este vegetal.

Para esta invención se define como piña de henequén la parte central de la planta, integrada por el tallo más las bases de hojas insertas, verdes o verde-amarillentas, parcial o totalmente

hidratadas, no secas, que quedan después del corte de las hojas o pencas industrialmente aprovechables.

En el proceso de elaboración de miel de henequén producto de esta invención, el jugo contenido en la piña, materia prima considerada hasta ahora como desperdicio del cultivo, incorpora el aprovechamiento de este material en forma integral y diversifica el uso de la planta, aportando otro elemento más de utilización del recurso en beneficio de los productores henequeneros de la región y como alternativa de materia prima para la elaboración de miel de henequén con sabor y aroma claramente distintivo de la especie.

La presente invención permite la obtención de resultados reproducibles, logrando al mismo tiempo, un producto de calidad para su uso y consumo seguro.

Por medio de la invención indicada en este documento, cualquier persona en el campo de la invención podrá fabricar

miel de henequén a partir del jugo extraído de la piña del henequén.

El proceso de elaboración de miel de henequén inicia con la selección de las plantas de henequén, que consiste en cosechar, jimar o piñar aquellas plantas que se encuentran entre los 5 y 20 años de establecido el cultivo o hasta la emisión inicial o visible del varejón, quiote, inflorescencia u órgano reproductivo. A estas plantas se les corta la totalidad de las hojas presentes, incluyendo las del cogollo, y se deja la piña para el proceso de elaboración de miel.

Las piñas de henequén se pueden cortar en trozos o no, y se cuecen en cualquier de las siguientes formas: 1.- Con calor en a) hornos de mampostería, b) hornos de tierra con piedras calientes y tapado, c) hornos de material de construcción tipo panadería o similares; por un periodo de tiempo que varía entre 12 hasta 72 horas.

2.- A presión de vapor de agua, entre 0.7 y 1.2 kg/cm² por un periodo mínimo de 4 horas y máximo de 8 horas, pudiendo realizarse de la siguiente manera: a) si la cocción de las piñas se realiza en autoclave con inyección de vapor de agua, cuya fuente de calor y vapor de agua es una caldera con sistema de desmineralización de agua, no se adiciona agua a la autoclave; b) si la cocción se realiza en un contenedor hermético, cuya fuente de calor es una resistencia eléctrica o quemador de gas butano doméstico u algún otro combustible, se requiere adicionar del 1.0 al 1.5% del volumen del contenedor con agua desmineralizada o purificada.

3.- Por cocción de los trozos de piña en agua caliente, hasta adquirir la consistencia blanda del tejido y el cambio en la coloración a café ambarina del mismo; después de transcurrido el tiempo de cocción, sea cual fuere el procedimiento utilizado (calor, presión de vapor de vapor de agua o cocción en agua), se dejan enfriar las piñas cocidas y se procede a la extracción del jugo —cuya característica distintiva es el color que varía

entre café ámbar hasta café oscuro— por algún método convencional, tal como molino de masas tipo trapiche, prensa hidráulica, u otro sistema que cumpla con esta función, para obtener el máximo volumen posible de jugo cocido, el cual tendrá entre 10 y 24°Brix dependiendo de la época cuando se coseche la piña. El jugo extraído se filtra, pudiendo ser a través de tamices, centrifugación, ultracentrifugación con membranas, columnas intercambiadoras aniónicas y/o cationes, o la combinación de diferentes sistemas de filtración.

El jugo cocido se coloca en un contenedor u olla de acero inoxidable sin tapadera y con amplia superficie de evaporación; el contenedor del jugo se coloca directamente sobre una fuente de calor eléctrica, de gas doméstico o de algún otro tipo de combustible, o indirectamente sobre baño maría, a temperatura mínima de 55°C y hasta una máxima de 87°C, para eliminar gran parte del agua contenida en el jugo.

Durante el proceso de evaporación térmica deberá agitarse, manual, mecánica o automáticamente, en forma lenta y

constantemente el jugo, hasta alcanzar la consistencia deseada, cuya densidad aparente está comprendida entre 1.19 y 1.3 kg/lit y de 63 a 73°Brix .

REIVINDICACIONES

Un proceso para la elaboración de miel de henequén, caracterizado porque dicho producto se obtiene, específicamente, del jugo de la piña de henequén (*Agave fourcroydes*), y dicho proceso comprende los siguientes pasos:

- la selección de las plantas de henequén entre los 5 y 20 años de establecido el cultivo, o hasta la emisión inicial o visible del varejón, qurote, inflorescencia u órgano reproductivo;
- el corte de las piñas de henequén en trozos;
- la cocción de las piñas con calor, presión de vapor de agua o cocción en agua;
- el enfriado de las piñas cocidas, se puede realizar a temperatura ambiente o con ventilador de aspas;
- la extracción del jugo (cuya característica distintiva es el color que varía entre café ámbar hasta café oscuro) por algún método convencional, el cual tendrá entre 10 y 24°Brix, dependiendo de la época cuando se coseche la piña;
- el filtrado del jugo extraído, por algún sistema de filtración;

la evaporación térmica, la cual se realiza directamente sobre una fuente de calor eléctrica, de gas doméstico o de algún otro tipo de combustible, o indirectamente sobre baño maría, a una temperatura mínima de 55°C hasta una máxima de 87°C para eliminar gran parte del agua contenida en el jugo; el alcance de la consistencia y viscosidad deseada, cuya densidad aparente está comprendida entre 1.19 y 1.3 kg/lt y de 63 a 73°Brix.

Un proceso para la elaboración de miel de henequén, caracterizado porque dicho producto se obtiene, específicamente, del jugo de la piña de henequén (*Agave fourcroydes*), y dicho proceso comprende los siguiente pasos:

- la selección de las plantas de henequén entre los 5 y 20 años de establecido el cultivo, o hasta la emisión inicial o visible del varejón, quiote, inflorescencia u órgano reproductivo;
- el uso de las piñas de henequén sin trocear;
- la cocción de las piñas con calor, presión de vapor de agua o cocción en agua;

el enfriado de las piñas cocidas, se puede realizar a temperatura ambiente o con ventilador de aspas;

la extracción del jugo (cuya característica distintiva es el color que varía entre café ámbar hasta café oscuro) por algún método convencional, el cual tendrá entre 10 y 24°Brix, dependiendo de la época cuando se coseche la piña;

el filtrado del jugo extraído por algún sistemas de filtración;

la evaporación térmica, la cual se realiza directamente sobre una fuente de calor eléctrica, de gas doméstico o de algún otro tipo de combustible, o indirectamente sobre baño maría, a una temperatura mínima de 55°C hasta una máxima de 87°C para eliminar gran parte del agua contenida en el jugo;

el alcance de la consistencia y viscosidad deseada, cuya densidad aparente está comprendida entre 1.19 y 1.3 kg/lt y de 63 a 73°Brix.

El proceso de elaboración de miel de conformidad con la reivindicación 1 y 2 en el inciso c) de la cocción, las piñas de henequén se cuecen en cualquier de las siguientes formas:

Con calor en la) hornos de mampostería, lb) hornos de tierra con piedras calientes y tapado, lc) hornos de material de construcción tipo panadería o similares; por un periodo de tiempo que varía entre 12 hasta 72 horas.

A presión de vapor de agua, entre 0.7 y 1.2 kg/cm² por un periodo mínimo de 4 horas y máximo de 8 horas, pudiendo realizarse de la siguiente manera: lla) si la cocción de las piñas se realiza en autoclave con inyección de vapor de agua, cuya fuente de calor y vapor de agua es una caldera con sistema de desmineralización de agua, no se adiciona agua a la autoclave; llb) si la cocción se realiza en un contenedor hermético, cuya fuente de calor es una resistencia eléctrica o quemador de gas butano doméstico u algún otro combustible, se requiere adicionar del 1.0 al 1.5% del volumen del contenedor con agua desmineralizada o purificada.

Por cocción de los trozos de piña en agua caliente, hasta adquirir la consistencia blanda del tejido y el cambio en la coloración a café ambarina del mismo;

Durante el proceso de elaboración de miel de henequén, de acuerdo a la reivindicación 1 y 2 en el inciso e) la extracción del jugo debe hacerse por algún método convencional, como: a) molino de masas tipo trapiche, b) prensa hidráulica manual, mecánica o automatizada u otro sistema que cumpla con esta función.

Con base en la reivindicación 1 y 2 en el inciso f) el jugo debe ser filtrado a través de: a) tamices, b) centrifugación, c) ultracentrifugación con membranas, d) columnas intercambiadoras aniónicas y/o cationes y/o e) combinación de diferentes sistemas de filtración.

De acuerdo con la reivindicación 1 y 2 en el inciso g) la evaporación térmica se debe realizar a temperatura mínima de 55°C hasta temperatura máxima de 87°C.

En correspondencia a la reivindicación 1 y 2) en el inciso h) la miel de henequén (*Agave fourcroydes*) debe tener la densidad aparente entre 1.19 y 1.3 kg/lit y de 63 a 73°Brix,

RESUMEN DE LA INVENCION

Las piñas son ricas en azúcares de reserva y pueden ser utilizadas para la obtención de miel de henequén, producto de la presente invención que incorpora el aprovechamiento de este material en forma integral y diversifica el uso de esta planta, aportando otro elemento más de utilización del recurso en beneficio de los productores henequeneros de la región y como alternativa de materia prima para la elaboración de miel de henequén con sabor y aroma claramente distintivo de la especie.

La presente invención considera las etapas de: selección de plantas, cocción, extracción, filtrado del jugo cocido y evaporación térmica para la obtención de la miel de características organolépticas específicas del henequén, y permite obtener resultados reproducibles, logrando al mismo tiempo, un producto de calidad para su uso y consumo seguro.

Titular: Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.

Domicilio: Calle 43 #130, Col. Chuburná de Hidalgo, 97200,
Mérida, Yucatán, MÉXICO

Denominación: PROCESO PARA LA ELABORACIÓN DE MIEL
DE HENEQUÉN.

Clasificación:

Inventor(es): LUIS ALBERTO RENDÓN SALCIDO; MAGDUB
MENDEZ ABDO JESÚS; LARQUÉ SAAVEDRA
FRANCISCO ALFONSO

Fecha de presentación: 23 de abril de 2006

3. **Publicación Científica. Artículo enviado Revista Fitotécnica Mexicana.. Titulo: SUGAR AND ALCOHOLIC BYPRODUCT IN HENEQUEN AS INFLUENCED BY AGE OF THE PLANT AND CLIMATE**

**SUGARS AND ALCOHOLIC BYPRODUCT IN
HENEQUEN AS INFLUENCED BY AGE OF THE
PLANT AND CLIMATE**

L. A. Rendón Salcido¹, P. Colunga-GarcíaMarín¹, L. F Barahona Pérez¹, E. Pimienta-Barrios², A. Magdub-Méndez¹, A. Larqué Saavedra^{6*}

¹ Centro de Investigación Científica de Yucatán. Calle 43 No. 130. Col Chuburná de Hidalgo. C.P. 97200. Mérida, Yucatán. México. Phone: (999) 942-8330. Fax (999) 9813900.

² Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. Carr. Km. 15.5 Guadalajara-Nogales, Predio las Agujas, Mpio. de Zapopan, Jal. Phone: (33)3682-0374

^{6*} Corresponding author: larque@cicy.mx

SUGARS AND ALCOHOLIC BYPRODUCT IN HENEQUEN AS INFLUENCED BY AGE OF THE PLANT AND CLIMATE

OPTION

INFLUENCE OF CLIMATE AND PLANT AGE ON SUGARS AND ALCOHOLIC BYPRODUCT IN HENEQUEN

Abstract

Henequen (*Agave fourcroydes*, Lem) is a well known fiber producing plant cultivated in the Yucatan peninsula in Mexico. Recent studies have revealed that the stem known as "piña" is a metabolic sink for non structural carbohydrates that may be fermented to produce an alcoholic spirit similar to mezcal or tequila. The aim of this work was to determine how the age of the plant and climatic factors affect the capacity of the plant to produce alcohol. "Piñas" of 5, 8, 15, 18 and 19 year-old plants were harvested during the dry period and in the two rainy periods of the year. The fresh weight of the "piñas" varied from 5.2 to 6.7

kg. They were cut into small pieces and cooked, after which they were pressed to extract the juice from the tissue. The juice was fermented with *Kluyveromyces marxianus* native yeast isolated from the henequen, and distilled to obtain the alcoholic product. Results showed that 19 year-old plants yield the highest volume of alcohol production (159.02 mL per liter of juice). "Piñas" harvested in the dry period of the year produce greater quantities of ordinary alcohol than those harvested during the rainy seasons.

Keywords: *Agave fourcroydes*, "piña", sugars, alcohol.

1. Introduction

Henequen (Agave fourcroydes, Lem.) is a well known fiber producing agave that grows in the Yucatan peninsula in Mexico.

It thrives in shallow infertile soil conditions and its leaves are harvested for fiber production. This process usually starts 4 years after planting and continues over a period of 20 years¹, after which the size of the leaves begins to decrease as vegetative growth declines and the mature plant prepares to produce flowers. It is clear that a great proportion of the carbohydrates produced by the leaves is diverted to fiber formation following a metabolic pathway not fully described as yet, although some of the carbohydrates are transported to the stem until reproductive growth begins.

Metabolism translocation and accumulation of carbohydrates in henequen has not been widely studied to date. It is well known however, that such carbohydrates in other Agave species are

hydrolyzed and fermented to produce spirits such as tequila or mescal^{2,3,4}.

Previous reports have established that the henequen juice obtained from the leaves presents values between 10.2 and 11.5 °Brix, containing 64 g.L⁻¹ of carbohydrates of which 25 g.L⁻¹ are reducing sugars mainly fructose and glucose and sucrose a non reducing sugar,^{5,6}.

The “piña” is an important reservoir of carbohydrates of non structural sugars such as inulin⁷⁻⁸⁻⁹⁻¹⁰. These polymers when hydrolyzed yield mainly fructose, glucose and sucrose which represent between 24 and 27 % of the total carbohydrates present. The juice obtained from the henequen “piña” has values of at least 9 -14° Brix¹¹.

Carbohydrates are produced via photosynthesis, and seasonal variation in climatic factors is known to affect the gas exchange performance of the plant, which ultimately affects carbon gain in

photosynthetic organs, and the movement of such photoassimilates to storage organs of economical importance^{12,13}. For instance, net CO₂ uptake in Agave tequilana is drastically reduced by temperatures over 35 °C and fresh (cool?) day/ night temperatures of 24/14°C increase both atmospheric CO₂ assimilation and the accumulation of sugars in the stem¹². Fresh climates favor sugars production in agaves, growing under optimal soil moisture condition¹³. Reports on henequen confirm that the daily net CO₂ assimilation varies from 250 to 350 mmol.m⁻².d⁻¹ at its highest of 10, 20 mol.m⁻² PAR and temperatures of 30/20 °C¹⁴.

Previous work in this laboratory has demonstrated that spirits can be obtained from the "piña" of henequen¹⁵, therefore the aim of this study was to determine the effects of age and seasonal climatic variation on the accumulation of carbohydrates in the "piña" of A. fourcroydes and their subsequent conversion to alcohol.

2. Materials and methods

A henequen plantation located in San Antonio Temax, Motul, Yucatan, Mexico was selected for the present study. The plot is located 8 m above sea level and the plant thrives in stony rendzines and litosol soil slightly alkaline with pH values between 7.3 to 8^{16,17}. Climatological data for the study site, from 1961 to 2004, were plotted to define the harvest periods for the present study (Fig.1). The harvest periods were: 1.- November-December (Autumn rainy season), 2.- March-April (Dry season) and 3.- July-August (Summer rainy season).

A selection of 5, 8, 15, 18 and 19 year-old henequen plants was available in the plantation, therefore groups of fifteen plants of each age were marked for subsequent work. A factorial experimental design was used. Data were analyzed using the Statgraphic 5.1 software.

Three plants were harvested during each climatic period by removing the leaves. Fresh weight of the "piñas" and the axial length were recorded, they were then cut into pieces and cooked in an autoclave at 1 kg.cm^{-2} pressure for 4 h. The cooked "piñas" were pressed to collect the juice, which was adjusted to 12 °Brix with water for subsequent fermentation.

Ammonium sulphate $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (1.5 g per L^{-1} of juice) was added to the juice as a source of nitrogen and maintained at $30 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ in darkness as suggested by the patent (CICY, 2004). Once the temperature conditions were reached, 100 mL.L^{-1} (3.5×10^7 yeasts mL^{-1}) of the CICY KI (Kluyveromyces marxianus) yeast were added to ferment the juice.

After a fermentation period of 48 – 72 hr, an initial distillation was carried out at temperatures ranging from 65 to 98°C , the resulting alcohol was denominated "ordinary". This product was then subjected to a second distillation at temperatures between 75 and 85°C . and this alcohol was named "white".

Throughout the process, the °Brix values of the soluble solution content were recorded using a Westover RHB32 refractometer.

Reducing sugars were estimated in the cooked juice using the 3.4. Dinitrosalicylic acid (DNS) method by Sumner (1921) modified by Castillo¹⁸ as follows: 1.5 mL of DNS was added to samples of 0.5 mL of juice, these were then placed in a water bath, allowed to boil for 15 min and left to reach room temperature. Eight mL of distilled water were added and read at 550 nm using a spectrophotometer Barnstead SP-830.

The ethanol present in the first and second distilled products was estimated using the potassium dichromate essay by Williams and Resse adapted by Castillo¹⁸ as follows: 2 mL of potassium dichromate solution were added to samples of 1 mL of distilled product, mixed and left to rest for 10 min. Five mL of distilled water were added to the sample and read at 585 nm.

3. Results

3.1 Fresh and cooked weight of the “piña”

The fresh weight of the “piñas” collected throughout the year under different climatic conditions was between 5.2 and 6.7 kg/piña (Table 1) and the weight of cooked “piñas” was between 4.7 and 5.7 kg/piña (Table 2). No statistical differences due to the age of the plant or the climatic period of the harvest were detected for the fresh weight measurements,

3.2. Volume of the juice

The volume of the juice collected from “piñas” of different ages showed significant differences (Table 1). 5 – 8 year-old “Piñas” produced volumes of 3.0 L.piña⁻¹ while those from the 15 to 19 year-old plants showed a reduction to between 15.3% - 33.9% of this production. The climatic period of the harvest affected the final volume of juice collected from the cooked “piñas”. “Piñas” collected in the dry period gave values of 2.6 L.piña⁻¹, while in

the summer rainy period, the volume of juice was higher (3.4 L.piña⁻¹) and tended to diminish to 2.2 L.piña⁻¹ in the autumn rainy period (Table 2).

3.3. Soluble solutes content (°Brix)

Age had a significant effect on the content of °Brix in the “piñas” of henequen. The °Brix present in fresh “piñas” of different ages showed values that varied from 11.7 in 8 year-old plants to 15.2 in 19 year-old plants. The soluble solutes present in uncooked “piñas” harvested during the dry period reached the greatest values of 17.4 °Brix while the lowest values were recorded in “piñas” harvested in the autumn rainy period with 9.7 °Brix. (Table 3)

The °Brix of the soluble solutes present in the cooked juice of different ages was significantly different (Table 4). The highest values were found in 19 year-old “piñas” with 16.1 °Brix, whereas those from the 5, 8, 15 and 18 year-old plants had

lower contents, reaching values between 18.5 and 29.1 % less than 19 year-old "piñas".

The climatic conditions of the harvest also had a significant effect on the °Brix of cooked "piña" juice (Table 5). The juice from the dry period had values of 16.5 °Brix. However, these values decreased in the rainy periods, by 30.0% in the summer rainy period and by 33.8% in the autumn rainy period. These data indicate that the highest values of °Brix are found in 19 year-old plants harvested during the dry period.

3.4. Reducing sugars content

The reducing sugars content in the juice of cooked "piñas" of different ages were significantly different. "Piñas" of 19, 18 and 5 year-old plants had the highest values (107.3 to 94.6 g.L⁻¹) compared with 8 and 15 year-old cooked "piñas" which had from 21% to 35 % less sugars (Table 4).

Reducing sugars content was also affected by the prevailing climatic conditions at the time of harvest (Table 5). The highest content of reducing sugars was found during the dry period with values of $112\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, whereas in the rainy periods the content diminished by 30% (summer rainy) and by 32 % (autumn rainy).

3.5. Distilled ordinary and white alcohol production.

The volume of the “ordinary” alcohol obtained from the juice of cooked “piñas” of different ages was significantly different (Table 6). 19 year-old “piñas” produced as much as 159 mL of ordinary alcohol per liter of juice, whereas 8 year-old plants produced only 28 mL per liter of juice. A similar pattern was obtained for the “white” alcohol production. The volume of white alcohol obtained from the ordinary alcohol of “piñas” of different ages was significantly different (Table 6). 19 year-old “piñas” produced as much as 108.1 mL per liter of “white” alcohol while 8 year-old plants produced 56.8 mL per liter of “white” alcohol.

Climatic conditions had a significant effect on the production of ordinary and white alcohol production. The autumn rainy period harvest had the highest values for ordinary alcohol, with 114 mL per liter of juice, while the summer rainy period showed the lowest with 49.3 mL per liter of juice (Table 7). For white alcohol production, the best period proved to be the dry period harvest with 138.0 mL per liter of "ordinary" distilled while the lowest volume was produced in the autumn rainy period with 14.0 mL per liter of "ordinary" distilled (Table 7).

The content of ethanol present in the ordinary and white alcohol collected was not affected significantly by the age of the plant. However, it should be mentioned that the highest ethanol value (508.5g per liter) was found in white alcohol from 5 year-old "piñas" (Table 6).

The climatic conditions of the harvest had a significant effect on the ethanol content. The summer dry period harvest showed ethanol values of 282.5 g per liter of ordinary alcohol; and 524.5

g per liter of ordinary alcohol (Table 7). The lowest values were obtained for “piñas” harvested in the autumn rainy period with 131.7 g of ethanol per liter of ordinary alcohol and 251.2 g of ethanol per liter of white alcohol (Table 6)

4. Discussion

This research work gives support to the proposal that the henequen can be cultivated not only for fibers but also for alcohol spirit. The “piña” of henequen, however, differs from those agaves used only for alcoholic spirits, such as tequila and mezcal. In henequen, the leaves are constantly harvested for fiber production, thereby reducing the photosynthetic surface, and as a consequence reducing the production of the sugars used for growth and ultimately stored in the stem, and which may be used for further processing such as alcohol production. This removal of at least 25-30 leaves per year during the life of the plant continues for about 20 years and probably affects the amount and quality of the stored sugars, some of which are used

for fiber synthesis. This could be an interesting line of research that might facilitate an understanding of the metabolism of structural carbohydrates.

In contrast with other agave species, the henequen "piñas" do not increase in size and weight as the plant ages, as in A. tequilana, where the weight of the "piña" increases with age¹⁹.

Our observations revealed that age has less effect on the other variables studied than the climatic period of the harvest. For instance, the total soluble solids (°Brix) content recorded in the "piñas" showed slight differences as the plant aged, whereas "piñas" collected in the dry season regularly had higher values of °Brix than those harvested in the rainy seasons, suggesting that soil dryness reduced tissue water content, and the solutes became more concentrated in the "piña" tissues.

The juice of cooked "piñas" from older plants had higher concentrations of soluble solids measured in °Brix, than younger plants; this may be due to the fact that the quality and quantity of

solutes change with age. Similarly, older plants (18 and 19 years) had higher contents of reducing sugars than the younger ones. Other agaves, such as A. tequilana, are harvested when the “piñas” have the greatest content of reducing sugars, which regularly occurs when plants are over 8 years old, just before flowering³⁻¹⁹.

The volume of juice obtained from cooked “piñas” is highest in older plants harvested in the rainy season, a fact that may be caused by the availability of water and therefore by the increase in its uptake.

The volume of cooked juice from the “piñas” was fermented and the production of distilled alcohol spirit measured. Once again it was found that, with older plants harvested in the dry period, the volume of ordinary or white distilled alcohol was greater than that of younger plants harvested in the rainy seasons. Ethanol content in the ordinary distilled alcohol varied from 203 to 244 g L⁻¹ of juice values which are close to those observed for A.

tequilana²⁰. Here again the age of the plant did not affect the ethanol content of the ordinary distilled alcohol, however, it was affected by the climatic conditions, particularly the greater availability of water in the environment, in the autumn rainy season. Consequently, the highest values of ethanol in white distilled alcohol were found in the dry period (508 g per liter of ordinary alcohol equivalent to 63% of the volume) at any age of the plant. Moreover, the smallest alcohol values (200 to 400 g L⁻¹) were found in the “piñas” harvested in both of the two rainy seasons.

Our data indicates that 1.6 to 3.9 kg of “piña” is needed to produce a liter of juice which produces from 90 to 114 mL of alcohol after fermentation.

The results presented in this study suggest that the nonstructural carbohydrates produced by A. fourcroydes and stored in their stems can be fermented to produce an alcoholic spirit, thereby increasing the economical importance of this plant for the sustainable agriculture of Yucatan, México.

5. Conclusions

In henequen plantations, climate and age of the plants are factors affecting the amount of alcohol that may be produced from the storage organ called “piña”.

Henequen plants over 15 years old produce larger amounts of alcohol in comparison with younger plants.

Dry periods of the year favor the accumulation of sugars, hence more alcohol may be produced in this season than in the two rainy seasons tested.

Acknowledgements

The authors are grateful to the CONACyT for the economic support to carry out the present research and the doctoral studies formation of the first author.

References

1. Guerrero M., R., Dzib, E.R. Guía para el cultivo del henequén en plantación definitiva. Folleto para productores No. 7. INIA-CIAPY. Mérida, Yucatán, México. 16 p. (1983)
2. Tello-Balderas, J.J. And García-Moya, E. The mezcal industry in the altiplano potosino-zacatecano of north-central Mexico. *Desert Plant* 7(2): 81-88. (1985).
3. Cedeño, M.C., Alvarez-Jacobs, J. Tequila Production from Agave. In: Murtagh & Associates (ed.). *The alcohol textbook*. 3th edn. Nottingham University Press. (2000).
4. Ramales-Ororio, M.C. y Barragán-Rámirez, M.L. La industria del mezcal y la economía oaxaqueña. *Observatorio de la economía latinoamericana*.
<http://www.eumed.net/coursecon/ecolat/mx/>. Diciembre 18 de 2006. (2002).

5. Ayora-Cámara, M.E. Determinación de las principales características físicas y químicas del jugo fresco de henequén (Agave fourcroydes). *Gestión Tecnológica* 4:7-12. (1986).
6. Barahona, P.L.F. Determinación de los azúcares presentes en el jugo de henequén (Agave fourcroydes) y su variación en el proceso de fermentación. Tesis de licenciatura de Ingeniero Industrial en Química. Instituto Tecnológico de Mérida. Mérida, Yucatán, México. 90 p. (1987).
7. Aspinall, G.O., Gupta, P.C. The structure of the fructosan from Agave veracruz Mill. *J. Am. Chem. Soc.* 81: 718-722. (1959).
8. Wang, N., Nobel P.S. Phloem transport of fructans in the Crassulacean Acid Metabolism species Agave deserti. *Planta Physiol.* 116: 709-714. (1998).

9. López, M.G., Mancilla-Margalli, N.A., Mendoza-Diaz, G.
Molecular structures of fructans from Agave tequilana Weber
var. azul. J. Agric. Food Chem. **51**: 7835-7840. (2003).

10. Gómez-Ayala, R.C., Jacques, C., Ramírez-de León, J.A.
Extracción de la inulina y azúcares del agave con métodos
químicos. Revista Salud Pública y Nutrición (RESPYN) No. 1.
Ed. Especial.
[www.uanl.mx/publicaciones/respyn/especiales/ee-1-
2005/51.html](http://www.uanl.mx/publicaciones/respyn/especiales/ee-1-2005/51.html) (2004).

11. Martínez, T.J., Colunga, G.P., Lappe, O.P., Larqué Saavedra,
A. Estudio del contenido de azúcares y producción de etanol
en dos variedades de henequén (Agave fourcroydes). En:
Fundación Produce Yucatán, A.C. (Ed.), Memorias de la II
Reunión Estatal de Investigación Agropecuaria, Forestal y
Pesca. 20-22 de Julio 2005. Mérida, Yucatán. pp 201-205.
(2005).

12. Nobel, P.S., Castañeda, M., North, G., Pimienta-Barrios, E., Ruiz, A. Temperature influences on leaf CO₂ exchange, cell viability and cultivation range for Agave tequilana. *Journal of Arid Environmental* **39**: 1-9. (1998).
13. Pimienta-Barrios, E., Robles-Murguía, C., Nobel, P.S. Net CO₂ Uptake for Agave tequilana in a Warm and a Temperature Environment. *Biotropica* **33**(2): 312-318. (2001).
14. Nobel, P.S. PAR, Water and Temperature limitations on the productivity of cultivated Agave fourcroydes (henequén). *Journal of Applied Ecology* **22**: 157-173. (1985).
15. CICY. Proceso para la fabricación de bebida alcohólica a partir del henequén (Agave fourcroydes). Inventores: A. Larqué-Saavedra, A. Magdub M., M. Cáceres F., IMPI., México. Patente de Invención. 219235. (2004).

16. Duch, G.J. La Conformación Territorial del Estado de Yucatán. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México. 180 p. (1988).

17. Duch, G.J. Fisiografía del Estado de Yucatán, su relación con la agricultura. Universidad Autónoma de Chapingo. Estado de México. 223 p. (1991).

18. Castillo, V.A. Comparación de diferentes fuentes de nutrientes para el crecimiento y fermentación de Saccharomyces cerevisiae en melaza de caña. Tesis de Licenciatura de Químico Farmacobiólogo. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. pp 1-42. (1992).

19. Valenzuela-Zapata, A.G. The tequila industry in Jalisco, Mexico. Desert Plant 7(2): 65-70. (1985).

20. Prado, R.R. Destilación. En Ciencia y Tecnología del Tequila
Avances y Perspectivas. CIATEJ. Guadalajara, Jalisco,
México. pp 123-168. (2004).

17. Duch, G.J. Fisiología del Estado de Yucatán, su relación con
la agricultura. Universidad Autónoma de Chiapas. Estado
de México 222 p. (1997)

16. Castillo, V.A. Comparación de diferentes fuentes de
nutrientes para el crecimiento y formación de
Saccharomyces cerevisiae en melaza de caña. Tesis de
Licenciatura de Químico Farmacobiólogo. Facultad de
Ciencias Químicas. Universidad de Guadalajara.
Guadalajara, Jalisco, México. pp 1-43. (1992).

15. Valenzuela-Zapata, A.G. The tepalcates industry in Jalisco,
Mexico. Desert Plant 7(2): 65-70. (1989).

Tables

Table 1. Fresh weight (FW) of Henequen "piñas" of different ages and the juice they produced after cooking. Data are the mean value of 9 individual samples \pm S.E. Anova results are noted.

Age (years)	Fresh weight (kg),	Juice yield (L/piña)	Ratio FW/Juice
5	6.77 \pm 0.53 a	3.09 \pm 0.37 a	2.05 \pm 0.27 a
8	6.13 \pm 0.44 a	3.01 \pm 0.30 a	1.69 \pm 0.14 a
15	5.55 \pm 0.63 a	2.55 \pm 0.36ab	2.59 \pm 0.30 a
18	5.29 \pm 0.69 a	1.99 \pm 0.27 b	3.00 \pm 0.48 a
19	6.33 \pm 0.67 a	2.62 \pm 0.46ab	3.99 \pm 1.84 a

Table 2. Fresh weight (FW) of Henequen “piñas” harvested in different climatic conditions and the juice they produced after cooking. Data are the mean value of 15 individual samples±S.E. Anova results are noted.

Climatic conditions	Fresh weight (kg),	Juice yield (L/piña)	Ratio FW/Juice
Dry period	5.87±0.56 a	2.61±0.26 a	2.54±0.33 ab
Summer Rainy period	6.32±0.46 a	3.42±0.22 a	1.73±0.12 b
Autumn Rainy period	5.84±0.39 a	2.25±0.28 b	3.72±1.09 a

Table 3. Soluble solutes content (°Brix) present in piñas harvested at different ages or climatic conditions. Data are the mean values of 15 individual samples \pm S.E. Anova results are noted.

Age (years)	°Brix	
5	12.54 \pm 0.93	bc
8	11.79 \pm 1.53	c
15	13.00 \pm 0.96	bc
18	14.10 \pm 1.29	ab
19	15.27 \pm 1.93	a

Climatic conditions	°Brix	
Dry period	17.40 \pm 0.71	a
Summer rainy period	12.86 \pm 0.80	b
Autumn rainy period	9.76 \pm 0.57	c

Table 4. °Brix of henequén juice from cooked piñas harvested at different ages and the reducing sugars present. Data are the mean value of 9 individual samples±S.E. Anova results are noted.

Age (years)	°Brix	Reducing sugars (g.L ⁻¹)
5	11.91±0.97 b	94.66±12.3 a
8	11.45±1.05 b	69.88±4.60 b
15	12.54±0.78 b	75.14±5.91 b
18	13.15±1.17 b	95.46±10.90 a
19	16.15±1.24 a	107.31±11.55 a

Table 5. °Brix of henequén juice from cooked piñas harvested under different climatic conditions and the reducing sugars present. Data are the mean value of 15 individual samples±S.E. Anova results are noted.

Climatic conditions	°Brix	Reducing sugars (g.L⁻¹)
Dry period	16.55±0.69 a	111.84±9.30 a
Summer Rainy period	11.61±0.57 b	78.13±5.01 b
Autumn Rainy period	10.96±0.60 b	75.51±5.34 b

Table 6. Distilled "ordinary" and redistilled "white" alcoholic yield of fermented juice of henequen "piñas" of different ages. Ethanol content in both distillations is shown. Data are the mean value of 9 individual samples±S.E. Anova results are noted.

Age (years)	Distilled "ordinary" production (mL.L ⁻¹ juice)	Ethanol content (g.L ⁻¹)	Redistilled "white" production (mL.L ⁻¹ ordinary distilled)	Ethanol content (g.L ⁻¹)
5	34.38±10.14 b	230.20±22.63 a	66.68±21.49 b	508.52±82.53
8	27.90±3.99 b	202.90±35.20 a	56.85±15.22 b	333.99±79.56
15	59.78±15.69 b	244.13±31.69 a	98.42±23.51 ab	370.86±72.92
18	141.44±22.36 a	232.40±30.00 a	70.52±19.57 ab	405.10±62.26
19	159.02±48.28 a	243.57±33.80 a	108.15±29.52 a	434.63±68.61

Table 7. Distilled “ordinary” and redistilled “white” alcoholic production fermented juice from henequen “piñas” harvested in different clima conditions throughout the year. Ethanol content in both distillations shown. Data are the mean value of 15 individual samples±S.E. Ano results are noted.

Climatic conditions	Distilled “ordinary” production (mL.L⁻¹ juice)	Ethanol content (g.L⁻¹)	Redistilled “white” production (mL.L⁻¹ ordinary distilled)
Dry period	89.83±11.7 a	282.51±6.48 a	138.08±11.20 a
Summer			
Rainy period	49.37±13.89 b	277.62±5.91 a	87.88±15.62 b
Autumn			
Rainy period	114.31±35.47 a	131.78±23.84 b	14.45±4.37 c

Figures 1

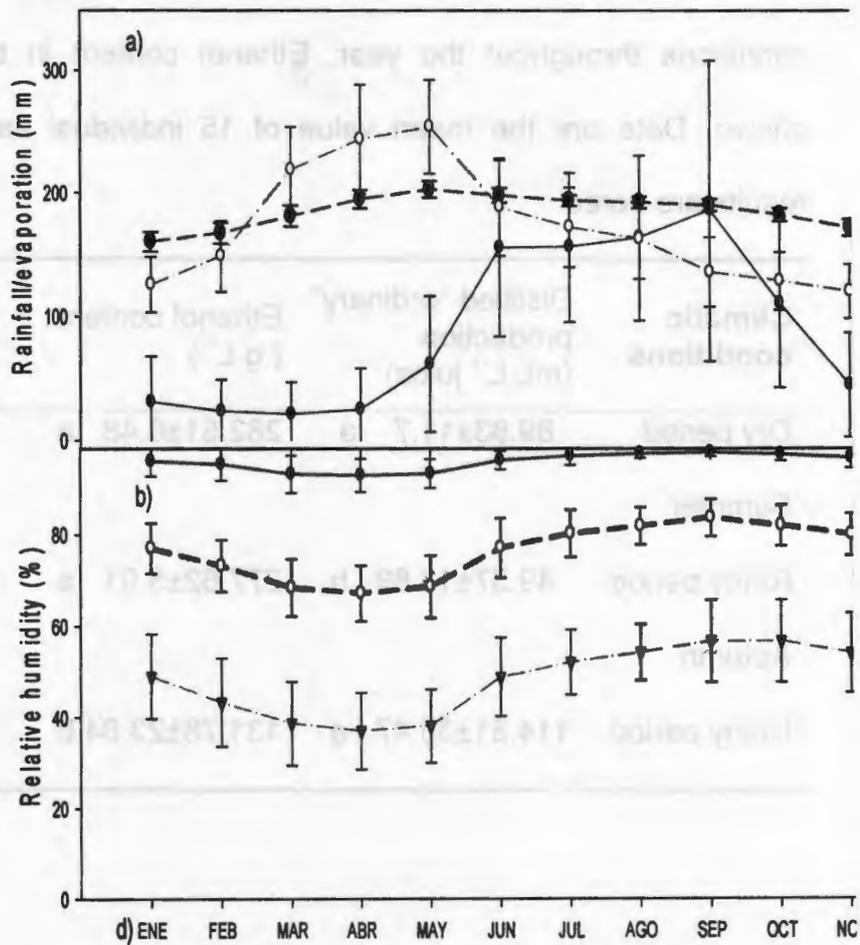
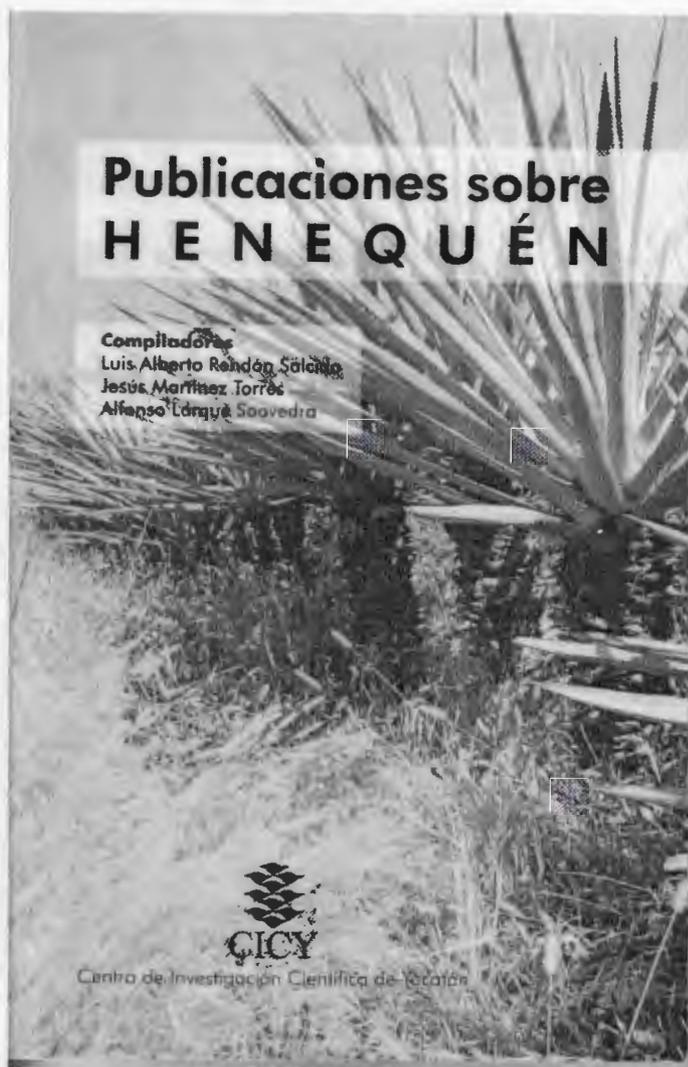


Fig. 1. Climograph for Mérida, Yucatán. a) rainfall (—●—), evaporation (—○—) and average temperature (—■—) b) Maximal relative humidity (—●—), average (—○—) minimal (—■—). Period 1961-2004. Data: Average \pm St. desv. n= 43. Source: Servicio Nacional. CNA.Mexico.

2. Publicación de libro "Publicaciones sobre HENEQUÉN.
ISBN 968-6532-16-1 Centro de Investigación Científica
de Yucatán, A.C.



Publicaciones sobre
HENEQUÉN

Compiladores

Luis Alberto Rendón Salcido

Jesus Martínez Torres

Alfonso Larqué Saavedra

**Centro de Investigación
Científica de Yucatán, A.C.**

D.R. 2005 Centro de Investigación Científica de
Yucatán, A.C.
Calle 43 No. 130 Col. Chuburná de Hidalgo C.P. 97200
Mérida, Yucatán, México.

Cuidado editorial: Gabriela Herrera Martínez
Diseño editorial y gráfico: Rossano E. Marrufo Tenorio
Fotografía de portada: Luis Alberto Rendón Salcido

ISBN: 968-6532-16-1

Primera edición Septiembre de 2005.

Centro de investigación del Sistema CONACYT

Contenido

Introducción	13
Recopilación de materiales	15
Administración	
Artículo	18
Informe	18
Libro	19
Tesis Licenciatura	21
Agronomía	
Artículo	22
Artículo científico	27
Boletín	30
Cartel resumen	30
Folleto	31
Informe	32
Libro	32
Manual	34
Resumen	35
Tesis	35
Tesis Licenciatura	35
Tesis Maestría	36
Antropología económica	
Artículo	37
Libro	37
Biología	
Artículo científico	38
Enciclopedia	38
Biotecnología	
Artículo	39
Artículo científico	40
Cartel resumen	43
Libro	46
Memorio de residencia profesional	46
Patente	46
Registro de secuencia genómica	47
Resumen	48
Tesis	49

Tesis Doctorado	50
Tesis Licenciatura	50
Tesis Maestría	53
Ecología	
Artículo	53
Artículo científico	54
Cartel resumen	56
Libro	58
Resumen	58
Tesis Doctorado	59
Economía	
Artículo	60
Artículo científico	62
Circular	62
Ensayo Licenciatura	63
Informe	63
Libro	64
Memoria	68
Tesis	69
Tesis Doctorado	69
Tesis Licenciatura	70
Tesis Maestría	70
Fisiología	
Artículo	71
Artículo científico	71
Cartel resumen	72
Memoria de residencia profesional	72
Tesis	72
Historia	
Artículo	73
Folleto	73
Libro	74
Resumen	76
Industrial	
Artículo	77
Artículo científico	79
Cartel resumen	82
Hoja reporte	83
Informe	83
Libro	83

.....	86
Memoria	87
Memoria de residencia profesional	87
Notas	87
Patente	87
Resumen	88
Tesis	89
Tesis Doctorado	90
Tesis Licenciatura	90
Tesis Maestría	94
Jurídico	
Diario Oficial	95
Libro	95
Política gubernamental	
Libro	97
Salubridad	
Libro	98
Tesis Maestría	98
Sociología	
Artículo	98
Libro	100
Memoria	104
Tesis Doctorado	104
Tesis Licenciatura	105
Teatro	
Libro	105
Bibliotecas en línea y otros sitios de interés	107
Índice de autores principales	111
Índice de materiales	122

Introducción

A lo largo de la historia, el conocimiento generado por el hombre ha participado en la evolución de la humanidad, a través de compartir lo nuevo con los demás e incorporarlo en el saber universal. Tal proceso de poner en común, ha hecho posible que la raza humana avance en su estancia por este mundo.

En nuestro país, desde la época prehispánica, tlacuillos, labradores de piedra y pintores, eran los responsables de dejar huella escrita de los sucesos y los conocimientos generados por su respectiva cultura. Gracias a ellos, hoy tenemos la sabiduría producida por nuestros ancestros.

Con el paso de los años y los avances tecnológicos, el hombre ha encontrado diversas formas de transmitir lo descubierto, lo observado, lo aprendido... En nuestros días, los medios de difusión masiva realizan la función de divulgar, cobrando especial peso los electrónicos, por la inmediatez que ofrecen; sin embargo, la escritura, es el testigo permanente de los logros del hombre, y los libros siguen siendo la memoria de la humanidad.

¿Por qué dejar huella escrita del henequén?

Desde su creación, en 1979, el Centro de Investigación Científica de Yucatón, ha realizado estudios sobre el henequén. Esta labor permanente de indagación, además de las actividades de campo y de laboratorio que conlleva por naturaleza, ha implicado la consulta de diversos materiales escritos, y al paso del tiempo, ha generado, también, un buen número de publicaciones que divulgan el conocimiento obtenido en ese proceso de búsqueda continua, en el cual se desempeña cotidianamente el CICY.

Si hacemos un poco de historia, en el año 2000 empezamos a hacer investigación de cómo darle valor agregado a la planta de henequén, fue cuando nos percatamos de que no había un banco de información con lo publicado sobre esta planta. Surgió, entonces, la pregunta de si en la época de Condemex, o anteriormente, los hacendados, habían configurado una

biblioteca sobre el henequén. Al no encontrarla, nuestra primera reacción fue establecer dicho banco de información. De esta forma, al grupo se le pidió integrar una base de datos, con el objeto de llenar el primer requisito de un grupo de investigación: el estado del arte de las publicaciones que existen en el campo, base que sustenta la investigación científica para formular hipótesis, realizar análisis y desarrollar el trabajo dentro del método científico.

El banco de datos se creó, y dada la importancia que este cultivo tiene para diversos investigadores, tanto del CICY como otros interesados en trabajar sobre el henequén, decidimos generar esta publicación con la finalidad de dejar constancia de un banco básico de éste, mismo que puede ser enriquecido por todos aquellos que posean información fundamental.

La base de datos se conformó por publicaciones científicas en revistas, ISI o con comité editorial riguroso, libros, capítulos de libros, artículos de difusión en revistas especializadas, trabajos de tesis, textos jurídicos y administrativos de alto valor histórico, manuales, memorias y resúmenes de simposia y conferencias. Se incluyen, de manera excepcional, notas periodísticas del trabajo específico de nuestro grupo.

En toda esta tarea, la participación de Gabriela Herrera Martínez, en su labor de edición, toma un papel relevante en el ordenamiento de la información; y una vez estructurado esto, le pedimos apoyo a la Arq. Rossana Marrufo, para el diseño gráfico.

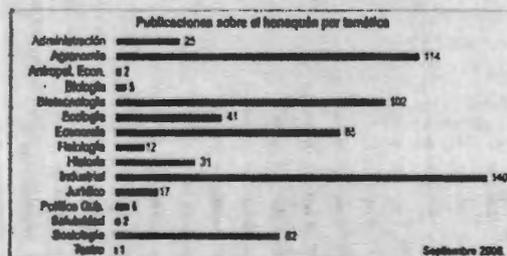
Con el espíritu de poner al servicio del hombre el conocimiento obtenido a lo largo de este proceso, el CICY presenta el resultado de la ardua faena del equipo encabezado por los compiladores, el cual ha obtenido un resultado espléndido en aras de la investigación y el saber.

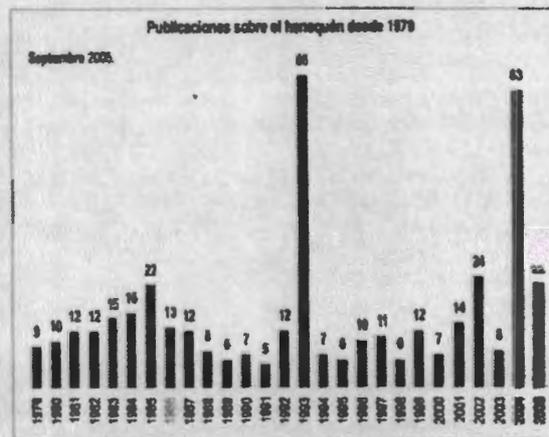
Recopilación de materiales

En un seminario comenzó este proyecto, con el fin de relacionar en una base de datos, los materiales de consulta sobre el henequén que estaban disponibles. Al poner manos a la obra, nos dimos cuenta que dichos materiales estaban dispersos en varios sitios, y empezamos por lo básico: a relacionar y capturar los inmediatos, es decir, los existentes en los cubículos de los investigadores especializados en dicha planta, y en la biblioteca del CICY. Así, las referencias documentales que se tenían a la mano se sumaron a la base de datos —y en este punto, agradecemos a Marta de Jesús Rodríguez Hernández, su participación como capturista principal, y a Rosario Sandoval, Fátima Alejandra Rodríguez Luna y otras personas que colaboraron—.

Con el paso de los días, ampliamos los sitios de búsqueda a universidades, bibliotecas especializadas y otros sitios de interés, y los registros se fueron agregando, uno a uno, hasta sobrepasar 600. Cuando la base estaba completa y se vio la magnitud de lo logrado, surgió la necesidad de poner a disposición de muchas personas la información recopilada y publicarlo en un libro, y ahí comenzó la tarea de edición, hasta dar como resultado el ejemplar que usted, apreciable lector, tiene en sus manos.

Una vista preliminar a los materiales compendados, muestra: 15 temáticas diferentes:





Esta guía de consulta fue pensada para facilitar la búsqueda de escritos sobre el henequén, y contiene los materiales recopilados hasta el 27 de junio de 2005. La información se presenta clasificada alfabéticamente por tema, tipo de documento y autor.

Para ofrecer alternativas de consulta, en el Índice de Autores se relacionan los que aparecen en primer término en todas las referencias documentales citadas. Asimismo, el Índice de Materiales, ayuda a ubicar rápidamente los del mismo tipo.

Publicaciones sobre Henequén, busca proporcionar a los interesados en este cultivo, una herramienta de referencia rápida y consulta accesible. Esperamos le sea de utilidad.

Los compiladores:
Luis Alberto Rendón Salcido
Jesús Martínez Torres
Alfonso Larqué Saavedra

Esta publicación se terminó de imprimir
en el mes de noviembre de 2005, en
Compañía Editorial de la Península, S.A. de C.V.
Calle 38 No. 444-C x 23 y 25
Col. Jesús Carranza
Mérida, Yucatán, México. C.P. 97109
cepsa98@prodigy.net.mx

La presente edición consta de 1000 ejemplares.

Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.
Septiembre 2005