



TecnoINTELECTO

Órgano de Divulgación Científica



Una Publicación del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria

Volumen 5

No. 2

Octubre 2008

ISSN 1665-983X

CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

- Estudio de la tolerancia a la sequía en una población segregante de maíz tropical. *Castillo-Gutiérrez A., Ortega-Saad Y., Carapia-Ruiz V.E., Núñez-Valdez M.E. y Almaguer-Sierra M.G.*.....2
- Producción intensiva de nopal verdura en un sistema hidropónico cerrado. *Almaguer-Sierra P., Rodríguez-Fuentes H., Valdez-Cepeda R.D., Vidales-Contreras J.A, Barrientos-Lozano L., Aranda-Ruiz J. y Nava-González J.*.....9
- Estimación de similitud entre materiales genéticos de maíz con marcadores moleculares. *Ocampo-Morales J.D., Gutiérrez-Díez A., Rincón-Sánchez F., García-Zambrano E.A., Zavala-García F. y Salina-García G.E.*.....15
- Establecimiento *in vitro* de *Hylocereus undatus* L. Pitahaya Cactaceae. *Ojeda-Zacarías M.C., Iracheta-Donjuan L., Gutiérrez-Díez A., Rodríguez-Fuentes H., García-Zambrano E. A., Aguirre-Arizona V. y Santiago-Juárez Y.*.....26

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

- Gas Sintético (gassin): combustible obtenido de la gasificación del coque de petróleo mexicano de las refinerías de Cd. Madero y Cadereyta. *González-Rocha J.C., Longoria-Ramírez R. y Urquiza-Beltrán G.*.....30
- Análisis de la productividad de micro y pequeñas empresas fabriles de la zona centro del Estado de Tamaulipas utilizando regresión lineal. *González-Jiménez F. A. y García-Paz F. J.*.....40
- Implementación en hardware reconfigurable de un coprocesador para cálculo de funciones resumen. *Morales-Sandoval M., Marin-Castro H. M. y Alemán-Meza B.*.....48

DIRECTORIO

Dr. Carlos Alfonso García Ibarra
Director General de Educación Superior Tecnológica

Ing. Francisco Ruvalcaba González
Director

Lic. José Ángel Nieto Meza
Subdirector de Servicios Administrativos

Ing. Gaspar Nolasco Antonio
Subdirector Académico

Ing. Eliud Báez Vázquez
Subdirector de Planeación y Vinculación

COMITÉ EDITORIAL

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria
División de Estudios de Posgrado e Investigación

APOYO EN LA COORDINACIÓN EDITORIAL

Acosta Villarreal Guadalupe, Dr.
Almaguer Sierra Pedro, M.C.
Barrientos Lozano Ludivina, Ph. D
Correa Sandoval Alfonso, Dr.
Horta Vega J. Víctor, Dr.

INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

Dr. Marco Antonio Arjona.
División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah.

Dr. Alberto Álvarez Castillo. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Zacatepec. Zacatepec, Mor.

Dr. Alejandro Enrique Dzul López. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah.

Dr. Jesús de León Morales. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, UANL. S.N. de los G. N.L.

Dr. Miguel Ángel Llana Leal. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón Coah.

M. C. Ricardo Daniel López García. Departamento de Ingeniería Metal-Mecánica, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

Dra. Araceli Maldonado Reyes. Departamento de Ingeniería Metal-Mecánica, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

Dra. Ludivina Barrientos Lozano. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

Dr. Alfonso Correa Sandoval. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

M.C. Jesús García Jiménez. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

M.C. Juan Flores Gracia. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

Dr. Gonzalo Guevara Guerrero. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

Dr. Jorge Víctor Horta Vega. División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

Dr. Arnulfo Moreno Valdéz. División de Estudios de Posgrados e Investigación, Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Tam.

M.C. Luis Samaniego Moreno. Departamento de Riego y Drenaje. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah.

M.C. Pedro Almaguer Sierra.

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

M.C. Fidel Blanco Macías.

Universidad Autónoma de Chapingo. Centro Regional Universitario Centro-Norte. Zacatecas, Zac.

Dr. Humberto Rodríguez Fuentes.

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Agronomía de la UANL. Escobedo, N.L.

Dr. Juan Antonio Vidales Contreras.

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Facultad de Agronomía de la UANL. Escobedo, N.L.

INVESTIGACIÓN EDUCATIVA Y PLANEACIÓN

M.C. Arturo Higinio Soto Márquez. Departamento de Ciencias Básicas, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

M.C. Olga Leticia Martínez Argáiz. Departamento de Metal-Mecánica, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

Dr. Oscar Saúl Escamilla Gallegos.

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Tam.

TecnoINTELECTO (ISSN 1665-983X y reserva: 04-2004-072626452400-102) es un órgano de divulgación científica de forma semestral del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria sita en Boulevard Emilio Portes Gil 1301, C. P. 87010, Cd. Victoria, Tamaulipas, México; Tels. (834) 3130662 al 64; Fax: (834) 3133646. La responsabilidad del contenido y la sintaxis de los artículos presentados son responsabilidad del autor (es). Editor Principal: División de Estudios de Posgrado e Investigación. Apoyo editorial-informático: Jonatan Michel Álvarez García. Envío de documentos, consultas y sugerencias al correo electrónico: ludivinab@yahoo.com, ludibarrientos@prodigy.net.mx Todos los derechos son reservados y propiedad del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica. TecnoINTELECTO, Vol. 5 No. 2. Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

Consúltanos en el Índice Latinoamericano www.latindex.org y en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias PERIÓDICA www.dgb.unam.mx/periodica.html



EDITORIAL

El Instituto Tecnológico de Cd. Victoria (ITCV) publica por cuatro años consecutivo la Revista de Difusión y Divulgación Científica TecnoIntelecto. Este logro ha sido posible gracias al apoyo e interés de las autoridades del ITCV y de la Dirección General de Educación Superior Tecnológica (DGEST), así como al esfuerzo de profesores e investigadores del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica (SNEST) que contribuyen con su trabajo, esfuerzo y entusiasmo. TecnoIntelecto es actualmente un órgano importante de difusión y divulgación de la producción académica y tecnológica que se genera en el SNEST y otras Instituciones, cuyos investigadores publican con regularidad avances y resultados de proyectos de investigación.

En el presente número agradecemos la contribución de los colegas del Sistema, a quienes consideramos de casa, y la colaboración de colegas investigadores de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos-Campus Oriente, Cuautla, Morelos, Facultad de Agronomía, UANL, Universidad Autónoma del Estado de Nuevo León-Campus de Ciencias Agropecuarias, Escobedo, N.L., Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro y Universidad Politécnica de Victoria.

Las Normas Editoriales para publicar en TecnoINTELECTO fueron revisadas y actualizadas, esperando con ello que muchos colegas e investigadores contribuyan y den a conocer sus trabajos de investigación a la comunidad nacional e internacional.

Ludivina Barrientos Lozano, Ph.D

Coordinadora Editorial
División de Estudios de Posgrado
e Investigación

ESTUDIO DE LA TOLERANCIA A LA SEQUÍA EN UNA POBLACIÓN SEGREGANTE DE MAÍZ TROPICAL

A. Castillo-Gutiérrez¹, Y. Ortega-Saad¹, V. E. Carapia-Ruiz¹, M. E. Núñez-Valdez¹ y M. G. Almaquer-Sierra²

¹Universidad Autónoma del Estado de Morelos-Campus Oriente, Cuautla, Morelos, México. ²Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 55, Padilla, Tamps. México.

*antoniocg62@hotmail.com

RESUMEN: El efecto de la sequía en el comportamiento de maíz, es uno de los aspectos más importantes a considerar en programas de mejoramiento de maíz actuales. En el presente estudio se evaluó una población segregante de maíz constituida por 196 familias F_3 , con los objetivos de: **i)** evaluar el comportamiento agronómico bajo riego y sequía artificialmente inducida y **ii)** estimar parámetros genéticos para cuatro características cuantitativas. Las familias se evaluaron en dos experimentos de campo contiguos, uno bajo riego y el otro bajo sequía. Dichos experimentos se establecieron en Cd. Ayala, Morelos, México durante el ciclo agrícola de Otoño-Invierno 2007. El diseño experimental fue un Ládice Alfa con dos repeticiones. Se midió la floración masculina y femenina, intervalo anté-sis-emergencia de estigmas y el rendimiento de grano. Los datos de ambos ambientes fueron analizados mediante análisis de varianza y usando los componentes de varianza se estimaron parámetros genéticos. En la población segregante se detectó una alta variación genética para la respuesta a la sequía, observándose una reducción en el rendimiento de grano de 59.1% en el ambiente de sequía. Lo que permitió identificar algunas familias tolerantes a la sequía.

PALABRAS CLAVE: Tolerancia a sequía, familias F_3 , maíz.

ABSTRACT: Drought effect on maize performance is an important aspect to be considered in modern maize breeding programs. In this study we tested a maize-segregant population comprised of 196 F_3 families, aims were as follows: **i)** evaluate the agronomical performance under irrigation and drought stress, and **ii)** asses genetic parameters for four quantitative traits. F_3 -families were tested in two side-by-side experiments at the locality of Ayala, Morelos, Mexico, during the dry-season 2007. The experimental design was an Alpha Lattice with two replications, measuring the traits of male and female flowering, anthesis-silking interval, and grain yield in both experiments. Data sets of both experiments were analyzed by analysis of variance and the variance components were used to estimate genetic parameters. In the segregant maize population, a high genetic variation for drought response was detected. Additionally, the drought stress condition induced a grain yield reduction of 59.1%, identifying some drought-tolerant families.

KEY WORDS: Drought tolerance, F_3 -families, maize.

1. INTRODUCCIÓN

El estrés causado por sequía es un problema mayor en muchas áreas productoras de maíz del mundo, especialmente en aquellas áreas con escasa y errática precipitación durante la estación de crecimiento. Las pérdidas del rendimiento de grano de maíz, causadas por sequía pueden ser de hasta un 17 por ciento en regiones tropicales (Edmeades *et al.*, 1992). Dichas pérdidas pueden ser mayores como la pérdida total del rendimiento de

grano, si el déficit de agua coincide con la etapa fenológica de una semana antes hasta dos semanas después de la floración (Grant, *et al.*, 1989), o si el periodo de sequía es demasiado prolongado (Edmeades, *et al.*, 1999). El efecto morfológico principal cuando el estrés por sequía ocurre poco antes de la floración, es un retraso de la emergencia de estigmas, resultando en un incremento en la longitud del intervalo entre anté-sis y emergencia de estigmas (IAE), acompañado de un decremento en el rendimiento de grano. La selección para corto IAE en variedades tropicales de polinización libre de

maíz ha estado mostrando una correlación negativa con el rendimiento bajo condiciones de sequía (Ribaut *et al.*, 1996).

Debido a que la floración en el maíz, es el periodo más sensible a los efectos de la sequía, el mejoramiento genético del cultivo se ha enfocado en desarrollar tolerancia a este factor de estrés (Quarrie *et al.*, 1999). Una estrategia lógica del mejoramiento genético es evaluar y seleccionar genotipos con altos rendimientos relativos en ambientes de sequía, sin embargo, la selección directa para rendimiento de grano ha sido considerada como ineficiente. Dicha ineficiencia se atribuye a la baja heredabilidad del rendimiento de grano y de sus componentes en ambientes de sequía, lo que es provocado por la dificultad del manejo del estrés hídrico en pruebas de campo (Blum 1988; Ribaut *et al.*, 1996). La estimación de la varianza genética para el rendimiento de grano en ambientes de riego, supera a la de condiciones de sequía, dificultando la selección bajo sequía debido a la pérdida de significancia estadística entre genotipos. Por lo que, la selección de genotipos alto rendidores debe basarse en el promedio del rendimiento de grano a través de ambas condiciones de humedad (Rosielle y Hamblin, 1981).

Por otro lado, las variedades modernas de maíz han presentado un mejor comportamiento en ambientes limitantes de humedad, característica que se ha atribuido al mejoramiento del rendimiento de grano de poblaciones bajo selección en ambientes de sequía y a una mayor estabilidad del comportamiento agronómico de dicho germoplasma a través de ambientes favorables y no favorables (Duvick, 2001; Tollenaar y Lee, 2002). Así mismo la tolerancia a la sequía en híbridos comerciales de maíz, se ha relacionado con factores tales como: 1) presencia de sequía y alta temperatura en localidades de temporal usadas para la evaluación, 2) selección de líneas a altas densidades, 3) evaluación del germoplasma en un gran número de localidades y 4) selección para alto rendimiento y estabilidad de nuevas líneas de maíz (Bruce *et al.*, 2002).

En la presente investigación se analizó la tolerancia a la sequía en una población segregante de maíz proveniente de la cruce entre una línea tolerante y una susceptible a la sequía, con los objetivos siguientes: *i)* evaluar el comportamiento agronómico bajo riego y sequía artificialmente inducida de las 196 familias F_3 de maíz y *ii)* estimar los parámetros genéticos de varianza genética, fenotípica y heredabilidad para cuatro características cuantitativas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El germoplasma evaluado por esta investigación fue una población segregante de maíz representada por 196 familias F_3 , provenientes de la cruce entre las líneas endogámicas de maíz T-43 y LPC15. Estudios sobre sequía han clasificado a dichas líneas como tolerante y susceptible a la sequía (en floración), respectivamente. Las líneas fueron desarrolladas y facilitadas para este estudio por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) de México. La evaluación de las familias F_3 se llevó a cabo en dos experimentos de campo, establecidos en el campo experimental de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos-Campus Oriente, la cual se localiza en Cd. Ayala, Morelos, durante el ciclo agrícola de Otoño-Invierno 2007. Este ciclo se caracteriza por la nula presencia de lluvia, lo que permitió el manejo de riego para inducir sequía artificial. Uno de los experimentos se estableció bajo condiciones de riego, en tanto que el segundo fue conducido bajo sequía. Para proporcionar la humedad del suelo, se utilizó riego rodado. El experimento de riego fue regado con una frecuencia de 10-12 días entre riegos. En tanto que el de sequía tuvo la misma frecuencia de riegos, con la diferencia que a partir de los 51 días después de la siembra se dejó de regar por un periodo de 27 días, proporcionándose en el día 28 medio riego, el cual consistió en aplicar el riego en un surco si y uno no. Para entonces dejar de regar nuevamente por un periodo de dos semanas. Después de este tiempo se proporcionaron riegos completos, para favorecer el llenado de grano de los jilotes polinizados. El diseño experimental usado en ambos experimentos, fue el Láctice Alfa con dos repeticiones por tratamiento. El tamaño de la unidad experimental estuvo constituida por un surco sencillo distanciado a 0.8 m, y a una distancia entre plantas de 0.18m,

estableciéndose una densidad poblacional de 73,000 plantas ha⁻¹. Las variables de respuesta medidas en ambos experimentos fueron: floración masculina (**FM**), floración femenina (**FF**), intervalo antésis-emergencia de estigmas (**IAE**) y el rendimiento de grano (**RG**). Los datos de las variables se probaron para normalidad, encontrándose que la variable de intervalo antésis-emergencia de estigmas no se distribuyó como una normal, por lo que se procedió a su transformación mediante la fórmula de $\ln[(IAE + 10)^{0.5}]$ (Bolaños y Edmeades, 1996). Examinada la normalidad se realizaron análisis de varianza (ANOVA) para cada una de las variables tanto en forma individual (datos de un solo experimento), como en forma combinada. Utilizando las medias ajustadas de las familias se hizo una comparación múltiple mediante la diferencia mínima significativa (DMS). Usando las esperanzas de cuadrados medios del ANOVA, se estimaron los parámetros genéticos de varianza genética, fenotípica y heredabilidad en sentido amplio. Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete estadístico Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de Varianza

Se condujeron análisis de varianza individual para los experimentos de riego y sequía, por separado, con el propósito de detectar comportamiento agronómico diferencial entre las familias evaluadas bajo las dos condiciones de humedad. Los resultados de los análisis de varianza (ANOVA) del experimento bajo condiciones de sequía (Cuadro 1), indicaron diferencias altamente significativas ($P < 0.01$) para las fuentes de variación de Familias y Grupos, en las cuatro variables medidas. En cuanto a la fuente de variación de Repeticiones únicamente se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) para floración masculina (FM). Los coeficientes de variación para este experimento mostraron valores en un rango de 3.0 a 35.6% correspondiendo a floración masculina (FM) y rendimiento de grano (RG), respectivamente.

Respecto al comportamiento agronómico de las familias bajo condiciones de riego (Cuadro 1), los ANOVAS para esta condición de humedad mostraron un comportamiento similar en las variables de respuesta, ya que tanto la fuente de variación de Familias como la de Grupos expresaron diferencias estadísticas altamente significativas ($P < 0.01$). Acerca de la fuente de variación de Repeticiones todas las variables resultaron con nulas diferencias. Referente a los coeficientes de variación para el experimento de riego, el valor más pequeño correspondió también a floración masculina (4.2%) y el más alto al rendimiento de grano (26.8%). En un segundo momento se condujeron análisis de varianza combinados (Cuadro 2) usando simultáneamente los datos provenientes del experimento de sequía y riego. Estos análisis se realizaron por un lado, para conocer si las diferencias entre familias se mantenían a través de las condiciones de humedad, y por otro lado para probar la presencia de interacción genotipo-ambiente. Los ANOVAS combinados revelaron significancias estadísticas al 0.01 de probabilidad para la fuente de Familias en todas las variables incluidas en esta investigación. De igual forma se detectaron altas significancias en todas las variables para la fuente de Ambientes (riego y sequía). En tanto que para la fuente de variación de Familias*Ambiente (interacción genotipo-ambiente), se encontraron altas significancias para floración femenina (FF), intervalo antésis-emergencia de estigmas (IAE) y rendimiento de grano (RG), no así para floración masculina que estadísticamente no se detectaron significancias. La falta de significancia entre Repeticiones observada en ambos experimentos (sequía y riego), en general puede ser explicada por el manejo uniforme de los experimentos, más que a una homogeneidad del suelo, debido al número de familias que se evaluaron. Mientras que la diferencia observada entre grupos, señala una alta heterogeneidad dentro de las repeticiones, lo cual es esperado ya que entre mayor es el número de tratamientos más grande es la repetición y por consecuencia ocurre un incremento de la heterogeneidad del suelo. Sin embargo, lo anterior justifica el uso de diseños experimentales más eficientes, tales como el diseño de Látxice Alfa. En lo referente a las altas significancias identificadas entre familias, este hecho demuestra la cantidad de variación genética y genotípica que se puede generar, cuando dos líneas altamente endogámicas, de

distintos orígenes genéticos y desarrolladas con diferentes criterios de selección se cruzan y generan poblaciones segregantes. Este tipo de poblaciones son una fuente de genotipos con tolerancia a la sequía, que

Cuadro 1. Cuadrados medios para las variables medidas en 196 familias F₃ de maíz, evaluadas bajo sequía artificialmente inducida y riego, en Ayala, Morelos durante Otoño-Invierno 2007.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	FM	d	FF	IAE (trans)	RG (ton ha ⁻¹)
Experimento de Sequía						
Repeticiones	1	597.6*		412.3NS	0.013NS	1.01NS
Grupos (Rep)	26	46.6**		76.4**	0.009**	0.58**
Familias	195	23.6**		32.6**	0.013**	0.36**
Error	169	7.6		11.3	0.005	0.22
CV (%)		3.0		3.5	5.4	35.6
Experimento de Riego						
Repeticiones	1	12.9NS		0.1NS	0.014NS	0.87NS
Grupos (Rep)	26	30.0**		35.9**	0.003**	1.22NS
Familias	195	22.2**		29.8**	0.010**	1.69**
Error	169	12.5		14.3	0.004	0.86
CV (%)		4.2		4.4	5.3	26.8

Trans: datos transformados por $\ln [(IAE+10)^{0.5}]$

* : Significativo al 0.05 de probabilidad

** : Significativo al 0.01 de probabilidad

NS: No significativo

muestran un rendimiento relativamente alto bajo condiciones limitantes de agua. Lo que contribuye a contrarrestar los efectos negativos de la sequía sobre todo en etapas fenológicas críticas, tal como la floración (Grant, *et al.*, 1989). Sin embargo se ha demostrado que la selección indirecta para rendimiento de grano bajo sequía no garantiza la identificación de los mejores genotipos tolerantes (Blum, 1988; Ribaut *et al.*, 1996), por lo que es necesario recurrir a la selección basada en el promedio a través de los ambientes de riego y sequía (Rosielle y Hamblin, 1981). Por otro lado, el conocer el tipo y grado de interacción genotipo-ambiente, permite seleccionar aquellos genotipos con baja interacción con el ambiente, pero con un alto rendimiento relativo.

Comportamiento Agronómico

El análisis de promedios de los experimentos de sequía y riego para las cuatro variables en estudio (Cuadro 3), indicaron que las familias F₃ del experimento de sequía (1.030 ton ha⁻¹) tuvieron una reducción en el rendimiento de

grano (RG) de alrededor de 59.1%, en relación al promedio proveniente del experimento de riego (2.519 ton ha⁻¹). Mientras que el intervalo de antésis-emergencia de estigmas (IAE) mostró un incremento promedio de 3.1 días más en el experimento de sequía que en condiciones de riego. Asimismo, es necesario resaltar que la floración femenina manifestó un retraso causado por la sequía de aproximadamente 5.1 días, en comparación a la floración masculina en la misma condición de humedad. En contraste en el experimento de riego, la floración femenina presento una asincronía con la masculina de solo dos días.

Los efectos de la sequía sobre el comportamiento de la población de familias F₃, coinciden con otros estudios sobre sequía en maíz. Es decir que la floración como la etapa mas sensible a este factor de estrés provoca un retraso en la emergencia de estigmas, lo que se traduce en una reducción significativa del rendimiento de grano (Quarri *et al.*, 1999). De manera que la selección de germoplasma tolerante a la sequía en una de las metas más

Figura 1. Rendimiento de grano de un grupo de diez familias F3 tolerantes y diez susceptibles a la sequía evaluadas en condiciones de riego y sequía en Ayala, Morelos, en Otoño-Invierno 2007.

sequía muestran una clara variación a través de ambos ambientes de humedad. De igual forma se puede apreciar en la misma figura con las 10 familias de la derecha, la cuales fueron clasificadas como susceptibles a la sequía. Dichas familias también mostraron variación fenotípica en el rendimiento de grano.

Parámetros Genéticos

Con el propósito de conocer si la sequía impuesta a la población segregante de maíz en estudio, afectó la expresión de la variación natural presente en este tipo de poblaciones, se hicieron estimaciones de los parámetros genéticos de varianza genética (σ^2_G), fenotípica (σ^2_F) y heredabilidad en sentido amplio (h^2) para los experimentos conducidos bajo sequía y riego. (Cuadro 4). Los resultados de las estimaciones revelaron que para las variables de floración masculina (FM) y femenina (FF) existió una mayor variación genética en las familias evaluadas bajo sequía, que para la evaluación realizada en condiciones de riego. En cuanto a característica del intervalo anté-sis-emergencia de estigmas (IAE), las estimaciones de varianza genética fueron similares entre las condiciones de sequía y riego. En cambio, la mayor varianza genética para el rendimiento de grano correspondió a la condición de riego (0.415), contrastando con la estimación en sequía (0.068). En cuanto a los valores de heredabilidad de las características consideradas en esta investigación, el rendimiento de grano (RG) mostró baja heredabilidad en riego (0.491), dicho valor en

sequía fue aun más bajo (0.382). Sin embargo, las heredabilidades para floración masculina y femenina fueron mayores en sequía (0.68 y 0.65, respectivamente), que en el ambiente de riego (0.44y 0.52, para floración masculina y femenina, respectivamente). Para el caso del intervalo anté-sis-emergencia de estigmas (IAE) la heredabilidad de este carácter fue muy similar en ambos ambientes de humedad. Debido a la dificultad del manejo del estrés hídrico en pruebas de campo se han observado bajos valores de heredabilidad para el rendimiento de grano y sus componentes (Blum 1988; Ribaut et al., 1996), tales como granos por mazorca, peso de grano, entre otros. Lo anterior resulta de gran importancia debido a que la pérdida de heredabilidad es el resultado de disminución de varianza genética para el rendimiento de grano en ambientes de sequía, obstaculizando la selección de genotipos que son evaluados bajo condiciones de sequía. Por lo que, la selección de genotipos tolerantes a la sequía se ha hecho con base en el promedio del rendimiento de grano a través de ambientes de riego y sequía (Rosielle y Hamblin, 1981). En cuanto al utilidad de la alta heredabilidad observada en las floraciones masculinas y femeninas bajo sequía, se fundamenta valores de heredabilidades relativamente altos para el intervalo anté-sis-emergencia de estigmas, de manera que la selección para corto IAE bajo sequía en genotipos de maíz resulta en una selección indirecta para relativo alto rendimiento de grano bajo condiciones de sequía (Ribaut et al., 1996).

Cuadro 4. Parámetros genéticos para las variables medidas en 196 familias F3 de maíz, evaluadas bajo sequía artificialmente inducida y riego, en Ayala, Morelos durante Otoño-Invierno 2007.

Parámetro Estimado	FM	d	FF	IAE (trans)	RG (ton ha ⁻¹)
			<u>SEQUIA</u>		
σ^2_G	8.00		10.65	0.004	0.068
σ^2_F	11.80		16.30	0.007	0.178
h^2	0.68		0.65	0.570	0.382
			<u>RIEGO</u>		
σ^2_G	4.85		7.75	0.003	0.415
σ^2_F	11.10		14.90	0.005	0.845
h^2	0.44		0.52	0.600	0.491

σ^2_G , σ^2_F y h^2 : varianza genética, fenotípica y heredabilidad en sentido amplio.

4. CONCLUSIONES

La población segregante de maíz posee alta variación genética en la respuesta a la sequía, como lo demostraron las altas significancia estadísticas detectadas entre familias. El nivel de sequía inducida artificialmente fue suficiente como para prolongar el intervalo antésis-emergencia de estigmas en familias susceptibles y para reducir el rendimiento de grano en un 59.1 %. Con base en los valores de la heredabilidad en las características de floración, se confirma lo encontrado por otros autores en el sentido de seleccionar para corto intervalo antésis-emergencia de estigmas facilita el desarrollo de tolerancia a la sequía en el germoplasma de maíz.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) por facilitar el uso de las líneas progenitoras de la población segregante. Así como al Programa del Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) por el financiamiento de la investigación.

6. LITERATURA CITADA

- Blum, A. 1988. Plant breeding for stress environments. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Bolaños, J. and G.O. Edmeades. 1996. The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Res.* 48:65-80.
- Bruce, W.B., G.O. Edmeades, and T.C. Barker. 2002. Molecular and physiological approaches to maize improvement for drought tolerance. *J. of Exp. Botany.* 53(366):13-25.
- Edmeades, G.O., J. Bolaños, and H.R. Lafitte. 1992. Progress in breeding for drought tolerance in maize. p. 93-111. In. D. Wilkinson (ed.). Proc. Annu. Corn and Sorghum Ind. Res. Conf., 47th, Chicago 9-10 Dec. 1992. ASTA, Washington. D.C.
- Duvick, D.N. 2001. Biotechnology in the 1930s: the development of maize hybrid. *Nature Rev. of Genet.* 2:69-74.
- Edmeades, G.O., J. Bolaños, S.C. Chapman, H.R. Lafitte, and M. Bänziger. 1999. Selection improves drought tolerance in tropical maize populations: I. Gains in biomass, grain yield, and harvest index. *Crop Sci.* 39:1306-1315.
- Grant, R.F., B.S. Jackson, J.R. Kiniry, and G.F. Arkin. 1989. Water deficit timing effects on yield in maize. *Agron. J.* 81:61-65.
- Quarrie, S.A., L.J. Vesna, D. Kovacevic, A. Steed, and S. Pekic. 1999. Bulk segregant analysis with molecular markers and its use for improving drought resistance in maize. *J. of Exp. Bot.* 337(50):1299-1306.
- Ribaut, J.M., Hoisington D.A., Deutsch J.A., Jiang C., Gonzalez-de-Leon D. 1996. Identification of quantitative trait loci under drought conditions in tropical maize. 1. Flowering parameters and the anthesis-silking interval. *Theor. Appl. Genet.* 94:887-896.
- Rossiello, A.A., and Hamblin J. 1981. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Sci.* 21:943-946.
- SAS Institute Inc. 2003. Statistical Analysis System. Version 9.1. Cary, N.C. U.S.A.
- Tollenar, M. and Lee E.A.. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Res.* 75:161-169.

PRODUCCIÓN INTENSIVA DE NOPAL VERDURA EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO CERRADO

P. Almaguer-Sierra^{1,2}, H. Rodríguez-Fuentes², R.D. Valdez-Cepeda^{3,4}, J.A. Vidales-Contreras², L. Barrientos-Lozano¹, J. Aranda-Ruiz², J. Nava-González¹.

¹Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Blvd. Emilio Portes Gil No. 1301, C.P. 87010. Cd. Victoria, Tamps. México, ²Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Agronomía. Carr. Zuazua-Marín, Km. 17.5. CP 66700. Marín, N. L., México. ³Universidad Autónoma de Chapingo. Centro Regional Universitario Centro Norte. Calle Cruz del Sur 100. Col. Constelación. CP 98085. El Orito, Zacatecas, Zac., México. ⁴Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Matemáticas. Calzada Solidaridad s/n. CP 98000. Zacatecas, Zac., México. almagavetec@hotmail.com; hrodrigu10@yahoo.com.mx.

RESUMEN: En 2007 se realizó un experimento en la Facultad de Agronomía de la UANL, Campus Marín, N. L. donde los objetivos fueron: modelar la producción de nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] y estimar la tasa de incremento en kg ha⁻¹ por grado-día de nopalito en un sistema hidropónico cerrado. Se emplearon plantas de nopal del cultivar Villanueva, en bancales de concreto, de 1.20 m. de ancho, 14.0 m de largo y 0.20 m de profundidad. El sustrato usado fue gravilla de río y una solución nutritiva completa. Los resultados indicaron que la producción acumulada de nopalito correspondió a 98.7 Mg h⁻¹ durante un periodo de cuatro meses (Abril-Julio) consecutivos; se determinó que existe una relación matemática sigmoide significativa ($p > 0.001$) con un coeficiente $R^2 = 0.97$ entre el peso fresco de nopalito y los grados-día, y se estableció que la tasa de incremento en peso fresco fue de 0.122 kg de nopal por cada grado-día acumulado.

PALABRAS CLAVE: Rendimiento, nopal verdura, materia seca, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.

ABSTRACT: An experiment was conducted in 2007 at the Faculty of Agronomy, Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)-Campus Marín, N. L. The experiment aimed to: modeling vegetable nopal [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] production and estimating the rate of increase in kg ha⁻¹-degree day in a hydroponic nopalito closed system. Cultivar Villanueva nopal plants were used on concrete benches, 1.20 m wide X 14.0 m long X 0.20 m deep. The substrate used was river gravel and a complete nutrient solution. The results showed that the combined production of nopalitos accounted for 98.7 Mg ha⁻¹ for a period of four consecutive months (April-July), there was a significant sigmoid mathematical relationship ($p > 0.001$) between fresh weight of nopalitos and degrees-day. It was established that the rate of increase in fresh weight was 0.122 kg per degree-day unit accumulated.

KEY WORDS: Hydroponic System Yield, nopal vegetable, *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.

1.- INTRODUCCIÓN

La tasa de desarrollo de las plantas aumenta en razón directa con el aumento de la temperatura del aire dentro de cierto intervalo (k_1, k_2). Los valores k_1 y k_2 son específicos para cada cultivo y se les refiere como umbrales térmicos inferior y superior respectivamente (Allen 1976). Cuando $T = k_1$, la planta no desarrolla ni crece. A medida que la temperatura aumenta por encima de k_1 ambas tasas: desarrollo y crecimiento aumentan aunque no necesariamente en la misma proporción. El crecimiento de la planta

se suspende cuando $T = k_2$, es decir, no hay acumulación de materia seca y la planta envejece (desarrolla) sin crecer.

La producción de un cultivo esta determinado por la tasa y la duración del periodo de crecimiento (Van Dobben, 1962). El total de días-°C acumulados, es definido como la suma de temperaturas del aire por encima de las condiciones mínimas necesarias para sus etapas fenológicas y es uno de los índices más usados para relacionarlos con el crecimiento y desarrollo vegetal (Prela and de

Arruda Ribeiro, 2002; Schöffel and Volpo, 2002).

En las dos últimas décadas, el cultivo intensivo de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) ha tenido una gran importancia debido a sus múltiples ventajas, en donde se destaca por su bajo costo como alimento, su aporte nutrimental y funcional y su eficiencia en el uso del agua. Existen numerosas investigaciones (Berry y Nobel, 1985; Nobel *et al.*, 1987; De Cortazar *et al.*, 2001; Singh and Singh, 2003; Aguilar-Becerril, 2005; Flores-Hernández *et al.*, 2005) relacionadas con la fertilidad del suelo y el cultivo de nopal, la mayoría esta enfocada al efecto del nitrógeno, fósforo y potasio sobre la producción de brotes y frutos en este cultivo, y muy poca información sobre sistemas intensivos de producción de nopal verdura.

El cultivo del nopal (*Opuntia spp*) ha cobrado especial interés por ser una fuente importante de minerales y fibra natural en dietas para humanos. El nopal se consume ya sea como verdura, en guisos (con diversos alimentos), jugos solos o en combinación con diversas frutas y hortalizas.

El nopal verdura o nopalito como cultivo eficiente para la producción intensiva, es una prometedora opción de desarrollo para zonas áridas y semiáridas (Flores-Hernández *et al.*, 2004; 2005). Uno de los indicadores que permiten determinar la importancia del nopalito como producto con alto potencial económico, son las estadísticas de producción y consumo nacional en México. En 1999, el nopal verdura alcanzó el lugar número 11 en volumen de producción y el número 12 en cuanto al valor de la producción, considerándose dentro del grupo de las principales hortalizas. Lo cual se aprecia con el incremento de la superficie de nopal bajo riego en los diferentes estados de México que registraron una producción significativa. Por ejemplo, en el periodo 1989-99 se presentó en el estado de Morelos, un incremento de 2 a 795 ha, en Baja California de 74 a 312 ha y en Aguascalientes de 79 a 233 ha (SAGAR-CEA, 1999).

En el cultivo del nopal (*O. ficus-indica*) para producción de tuna, nopalito y penca para consumo animal y propagación vegetativa, los estudios de fertilización y nutrición son pocos, comparados con los que hay para especies de

granos y cereales (Orona-Castillo *et al.*, 2004). Por ejemplo para nopal verdura (nopalito), De Cortazar *et al.*, (2001) reporta una producción de materia seca en 30 t ha⁻¹año⁻¹, considerando que el nopal fue plantado a una distancia de 17 cm entre filas y 23 cm a lo largo; Flores-Hernández *et al.*, (2004), evalúa diez cultivares de nopal verdura (peso fresco) en Bermejillo Durango, México, reportando un promedio de 20 t ha⁻¹ mes⁻¹ para el mejor cultivar C-13 (*O. amyclae*), plantado con una densidad de población de 40 000 plantas ha⁻¹ con riego por goteo (640 m³ de agua mes⁻¹ ha⁻¹) y cosechado de mayo a septiembre; y más recientemente, Blanco-Macías *et al.*, (2007), reporta una producción de 25.6 t ha⁻¹ mes⁻¹ de peso fresco para *O. ficus-indica* var. Villanueva en el Centro Regional Universitario Centro Norte (CRUCeN) de la Universidad Autónoma de Chapingo, en El Orito Zacatecas, México, en donde el sistema consistió en remover el suelo a 60 cm de profundidad (doble excavación) con un zapapico, aplicando estiércol vacuno compostado como abono y una densidad de población de 175 000 plantas ha⁻¹. La cosecha fue de 13 fechas de cortes, del 1 de mayo al 22 de octubre de 2007.

El cultivo en forma intensiva del nopalito para consumo humano esta limitado por: a) La cantidad disponible de agua en el suelo; b) La disponibilidad en el suelo de los trece nutrimentos esenciales para las plantas y c) Cuando la temperatura desciende a valores inferiores a 10°C, esto provoca que en los brotes disminuya su crecimiento o mueran; además, la producción y calidad nutrimental esta relacionada con la estación del año, la variedad y el manejo, las bajas temperaturas y la edad de la planta tienen una influencia determinante en la producción del brote. (Flores-Hernández *et al.*, 2005).

Por otra parte los sistemas hidropónicos han demostrado un aumento significativo tanto en la producción como en la calidad y la concentración nutrimental mineral en diversos cultivos (Rodríguez *et al.*, 2006) siendo esta una tecnología alternativa de producción. En este sentido, existe poca información científica, para el caso de nopalito cultivado en sistemas hidropónicos, que permita conocer el potencial que estos sistemas de cultivo presentan, por lo que los objetivos de esta investigación fueron: Evaluar la producción de

peso fresco y materia seca de nopal verdura [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] en un sistema hidropónico cerrado.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio de estudio

Esta investigación se realizó en el periodo del 22 de marzo al 19 de julio del 2007, dentro del Programa de Hidroponía de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, Campus Marín, el cual está ubicado en el municipio de Marín, N. L., México, en las coordenadas geográficas 25° 23' latitud norte y 100° 12' longitud oeste, a una altitud de 393 msnm. El clima es extremoso, con régimen de lluvias en agosto y septiembre, con precipitaciones anuales que fluctúan entre 700 y 1200 mm, los meses calurosos, se presentan en julio y agosto: la dirección de los vientos es de norte a sur, con una temperatura media anual 22°C; temperatura máxima 40°C y temperatura mínima 4°C. En cuanto al uso potencial del suelo están dedicados a la agricultura, a la ganadería y al área urbana.

Características del material vegetal

El cultivo tiene dos años de haber sido establecido, al inicio se trasplantaron pencas de seis meses de edad, con una densidad de población de 16 plantas m⁻², el cultivar que se empleó fue Villanueva.

Solución nutritiva hidropónica (SNH)

La SNH que se aplicó al nopal durante la investigación fue: 200, 60, 250, 200, 50, 100, 0.50, 0.25, 0.25, 0.02, 0.25 y 0.01 mgL⁻¹, correspondiendo a N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, B, Mn, Zn y Mo respectivamente. Ésta fue renovada completamente cada siete días y corresponde a la sugerida por Rodríguez-Fuentes *et al.*, (2006). Durante la investigación el número de cambios de SNH realizados fue de 17, el volumen total preparado fue de 34 m³ por bancal, lo cual equivale en promedio a 142 L de SNH por planta.

Sistema hidropónico

Consistió en utilizar un bancal a cielo abierto cuyas dimensiones son de 1.10 m de ancho (interior) y 14 m de largo, el piso esta construido de concreto, las paredes con bloques de concreto (dimensiones de 0.12 m de ancho, 0.20 m de alto y 0.30 m de largo).

El bancal consta de dos partes: la cabecera (0.44 m²) y el área de cultivo (15.0 m²).

Cabecera

Mide 1.10 m de lago y de 0.40 m de ancho) donde se aplica la SNH por subirrigación, ésta se distribuye por el interior del bancal a través de un túnel de aproximadamente (0.15 m de altura y 0.15 m de ancho), en la cabecera se encuentra un sistema de drenaje conectado a la cisterna, que permite una vez que el bancal se ha llenado con la SNH, se puede vaciar en forma manual y reciclarla a una cisterna con capacidad de 2.5 m³.

Características del sustrato empleado

En el bancal hidropónico se utilizó un sustrato tipo gravilla colectada de un arroyo cercano (0.1 a 1 cm de diámetro). El sustrato fue previamente esterilizado con una solución de ácido sulfúrico grado industrial y amortiguada a pH 2, en esta solución se dejó inundando el sustrato durante dos días, posteriormente el sustrato fue lavado dos veces con agua de la llave y desechada.

Muestreo de nopalito. Variables a evaluar

Se seleccionaron al azar 120 plantas con competencia completa, de las cuales se cosecharon y pesaron los brotes mayores de 15 cm de largo, esto se realizó cada siete a quince días (dependiendo del largo del brote). El corte se efectuó con un cuchillo desinfectado previamente, cosechándose los brotes del segundo piso de la estructura vegetal. Previamente se marcaron 20 plantas para separar un nopalito de cada una de ellas, llevarlos al laboratorio y determinar la producción de nopalito en peso fresco y peso seco.

Los nopalitos se pesaron, en una balanza analítica, se lavaron en agua común y agua destilada, se cortaron en segmentos para facilitar su secado, se introdujeron a una bolsa de papel dextrosa previamente identificada y posteriormente se introdujeron una estufa de convección forzada (Riossa modelo H-62, México), a una temperatura de 70 a 80 °C. Después de 3 ó 4 días se sacaron de la estufa y se obtuvo el peso seco.

Peso fresco y materia seca

El procedimiento seguido para obtener el porcentaje de humedad en la materia fresca, consistió en considerar la producción total de

peso fresco por muestreo se sustrajo el valor y se calculó la cantidad de materia seca total (MST).

Para el cálculo de las unidades calor se usó la ecuación:

$$\Psi = [(T_{\text{máx}} + T_{\text{mín}})/2] - k_1 \text{ (Ortiz, 1987)}$$

Donde: Ψ = Tiempo térmico en °C-día
 $T_{\text{máx}}$ = Temperatura máxima diaria (°C)
 $T_{\text{mín}}$ = Temperatura mínima diaria (°C)
 k_1 = Umbral térmico inferior (10 °C)

Esta ecuación aplica cuando la temperatura ambiente se encuentra acotada por los umbrales térmicos del cultivo (Allen, 1976), condiciones que prevalecieron durante el periodo en el que se llevó a cabo el desarrollo y crecimiento de la planta. Los datos de temperaturas se colectaron de la estación meteorológica, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pesqueras (INIFAP) localizada en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

<http://clima.inifap.gob.mx/redclima/> Consultado el día 5 de junio de 2008

Análisis estadístico

El paquete estadístico SigmaPlot® 10 (Systat Software, Inc.) fue usado para calcular los diferentes parámetros estadísticos de peso fresco, materia seca. Para realizar las curvas en las figuras se empleó el programa Excel del Office XP 2003.

Todas las determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio de Suelos, Plantas y Aguas de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Las metodologías de análisis seguidas fueron las sugeridas por Rodríguez y Rodríguez, (2002)

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general el cultivo estuvo libre de plagas y enfermedades que dañaran significativamente al nopal. Los rendimientos de producción de nopalito en peso fresco y materia seca acumulados (Cuadro 1) presentan valores totales de 148.09 y 7.599 kg por bancal, respectivamente, esto equivale 98.7 y 5.07 a t, de peso fresco y materia seca, respectivamente durante un periodo de cuatro meses consecutivos y para el caso de peso

fresco de nopalito, a un promedio mensual de 24.67 t ha⁻¹. Este valor fue superior a 20 t ha⁻¹ mes⁻¹ (Flores-Hernández *et al.*, 2004) y ligeramente inferior a 25.6 t ha⁻¹ mes⁻¹ reportado por Blanco *et al.*, (2007). Lo que demuestra la conveniencia del uso de estos sistemas intensivos de producción.

La producción referida a materia seca (5.07 t en 121 días), correspondió a un promedio de 1.3 t ha⁻¹ mes⁻¹.

Cuadro 1. Unidades calor (UC), peso fresco (PF) y materia seca (MS) acumulados de nopal verdura (*O. ficus-indica*).

Tiempo (Días)	UC (°C-día)	PF (Kg bancal ⁻¹)	MS (Kg bancal ⁻¹)
0	89.4	5.17	0.284
7	187.75	16.36	0.705
21	323.95	32.09	1.383
29	446.3	45.32	1.919
36	553.75	51.34	2.171
44	655.25	62.58	2.536
51	775.45	90.77	3.443
58	891.65	102.46	4.004
65	989.2	104.88	4.282
71	1101.25	107.48	4.497
78	1229.35	112.66	5.038
85	1364.35	112.66	5.488
92	1501.1	125.43	6.088
99	1622.3	132.4	6.492
107	1747.7	135.84	6.721
114	1878.35	139.86	7.059
121	2002	148.09	7.599

Al modelar el peso fresco acumulado con las unidades calor acumuladas se observó que los datos se ajustaron a un modelo Sigmoide con tres parámetros, este ajuste presentó un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9724, el modelo que estima la producción de nopal verdura como peso fresco y las unidades calor (Figura 1), la tasa de incremento en peso fresco se calculó derivando la ecuación del modelo (Rodríguez-Absi *et al.*, 2008) y correspondió a 0.122, esto significa que por cada unidad calor que se acumule, el peso fresco se incrementará en 0.122 kg de nopal verdura.

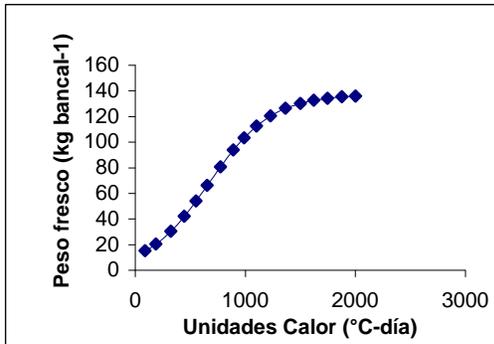


Figura 1. Relación entre Peso fresco kg bancal⁻¹ de nopal verdura y unidades calor acumuladas.

4.- CONCLUSIONES

En el sistema hidropónico la producción acumulada de nopal verdura fue de 98.7 t durante un periodo de cuatro meses consecutivos. Correspondiendo a 24.67 t ha⁻¹mes⁻¹

Existe una relación matemática sigmoide significativa entre las unidades calor y el peso fresco del nopal verdura.

La tasa de incremento en peso fresco fue de 0.122 kg de nopal por cada unidad calor acumulado.

5.- LITERATURA CITADA

Aguilar-Becerril, G. 2005. Producción forzada de nopal (*Opuntia ficus-indica*) cultivar tlaconopal, mediante anillado parcial. Fitotecnia Mexicana, Vol. 28 (3): 295-298

Allen, J.C. 1976. A Modified sine wave method for calculating degree days. Env. Ent. 5: 388-396.

Berry, W. L. and Nobel, P. S. 1985. Influence of soil and mineral stresses on cacti. Journal of Plant Nutrition, 8: 679-696.

Blanco-Macías, F., Valdez-Cepeda, R.D., Ruíz, G. R.R., Márquez, M.M., Vázquez A. R. E. y Magallanes, Q. R. 2007. Nopalitos Intensive Production in Single and Double DugRaised Beds. VI International Congress on Cactus Pear and Cochineal. VI General Meeting of Cactusnet. 22-26 October. João Pessao, Paraiba, Brazil.

De Cortazar, V. G., Varnero, M.T., Espinosa, M. 2001. Effect of biofertilizer over photosynthetically active area, cladode production, and nitrogen recovery efficiency in a cactus pear crop (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. On the year after plantation. Journal of the Professional Association for Cactus Development, 4: 93-104.

Flores-Hernández, A., Orona-Castillo, I., Murillo-Amador, B., Valdez-Cepeda R.D. y García-Hernández J.L. 2004. Producción y calidad de nopalito en la región de la Comarca Lagunera de México y su relación con el precio en el mercado nacional. Journal of the Professional Association for Cactus Development. 6: 23-34.

Flores-Hernández, A., Trejo-Calzada, R., Arreola-Ávila, JG., Orona-Castillo, I., Murillo-Amador, B., Rivera-González, M., Martínez-Rodríguez, JG; y García-Gallegos, EA. 2005. Producción estacional de nopal verdura (*Opuntia spp.*) bajo riego por goteo en una región agrícola de México. Journal of the Professional Association For Cactus Development. pp. 84-96.

Nobel, P. S., Russell, C. E., Felker, P., Medina, J.G. y Acuna, E. 1987. Nutrient relations and productivity of prickly pear cacti. Agronomy Journal. 79: 550-555.

Ortiz, S.C.A. 1987. Elementos de Agrometeorología cuantitativa, 3ª. Edición. Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma de Chapingo, México. 86 pp.

Prela, A. and Ribeiro, de A.A.M. 2002. Determinação de graus-dia acumulados e sua aplicação no planejamento do cultivo de feijão-vegem (*Phaseolus vulgaris* L.) para Londrina-PR. Revista Brasileira de Agrometeorología, Santa María. 10: 83-86

Rodríguez Fuentes, H. y Rodríguez Absi, J. 2002. Métodos de Análisis de Suelo y Plantas. Criterios de interpretación. Editorial Trillas, México. 196p.

Rodríguez Fuentes, H., Muñoz López, S. y Alcorta García, E. 2006. Tomates rojos.

- Sistema hidropónico. Editorial Trillas, S.A. de C.V. ISBN 968-24-7606-2. México. 86p.
- Rodríguez Absi, J., Ornelas Gutiérrez, E. y Rodríguez Fuentes, H. 2008. Dinámica de sistemas de pastoreo intensivos en la producción de leche y carne. Editorial Trillas S.A. de C. V. México. (Libro en Prensa).
- Singh, R.S. and Singh, V. 2003. Growth and development influenced by methods of cladodes in cactus pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Journal of the Professional Association for Cactus Development: 47-54.
- SAGAR-CEA. 1999. Anuario estadístico de la producción Agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Recursos Naturales. México. D. F.
- Schöffel, E.R. and Volpo, C.A. 2002. Relação entre a soma térmica efetiva e o crescimento de soja. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa María. 10: 89-96.
- Van Dobben, W.H. 1962. Influence of temperature and light conditions on dry-matter distribution, development rate and yield in arable crops. Special Issue. Netherland Journal of Agricultural Science, 10: 377-389.

ESTIMACIÓN DE SIMILITUD ENTRE MATERIALES GENÉTICOS DE MAÍZ CON MARCADORES MOLECULARES

J. D. Ocampo-Morales¹, A. Gutiérrez-Díez^{1*}, F. Rincón-Sánchez², E. A. García-Zambrano¹, F. Zavala-García¹ y G. E. Salinas-García¹

¹Facultad de Agronomía, UANL.

²Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

*mcgudiez@aol.com

RESUMEN. El cultivo del maíz (*Zea mays*), es uno de los más diversificados en el mundo, es utilizado para la alimentación humana, y de animales así como materia prima industrial. México es considerado como centro de diversidad genética de maíz gracias a la gran cantidad de variedades que se han desarrollado y al parentesco con especies nativas. Tomando en cuenta el valor agronómico y comercial, la caracterización del germoplasma se basa fundamentalmente en características de alta y de baja heredabilidad medidas a través del fenotipo; éstas son muy limitadas por la influencia del ambiente, el tiempo requerido para la colecta de datos y el gran número de genes involucrados en este proceso. La caracterización de cultivares tiene importante aplicación en el mejoramiento vegetal, tanto para la identificación de genotipos comerciales como para la estimación de relaciones genéticas. Los avances en biología molecular han incorporado nuevos marcadores, de naturaleza molecular y de mayor sensibilidad para detectar cambios en el genotipo de los individuos, situación que ha permitido grandes avances en este tipo de estudios. Algunas de estas técnicas son los RAPD y AFLP utilizados para caracterizar mediante huella genética diferentes genotipos de una misma especie y para establecer el grado de relación genética entre ellas. En este estudio se utilizaron 93 materiales genéticos de maíz para su caracterización y establecimiento del grado de relación genética entre ellas; mediante los métodos de agrupamiento de UPGMA y Ward se formaron grupos que se corroboraron con ambos métodos, sin embargo para la clasificación agronómica es necesario la incorporación de los datos morfológicos.

PALABRAS CLAVE: *Zea mays*, RAPD, AFLP, UPGMA, Ward

ABSTRACT. Maize crop (*Zea mays*) is one of the most diverse in the world; it is used for human food and animal feed as well as industrial raw material. Mexico is regarded as a center for genetic diversity of maize due to the large number of varieties that have been developed and the relationship with native species. Considering the agronomic and commercial value, the characterization of germoplasm has been based primarily on characteristics of high and low heritability measures through the phenotype, but these are very limited due to the influence of the environment, the time required to collect data and the large number of genes involved in this process. Characterization of cultivars is an important practical application in plant breeding for the identification of commercial genotypes to estimate genetic relationships. Advances in molecular biology have introduced new molecular markers that increased the sensitivity to detect changes in the genotype of individuals. These molecular markers are RAPD and AFLP that are used to characterize different genotypes of the same species and establish the genetic relationship. This study used 93 maize's genetic material for its characterization and identification of genetic relationship between them, using the methods of UPGMA clustering and Ward formed groups, however for the agronomic classification is necessary the incorporation of morphological data.

KEY WORDS: *Zea mays*, RAPD, AFLP, UPGMA, Ward

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del maíz (*Zea mays*), es uno de los más diversificados en el mundo, es utilizado para la alimentación humana y de animales así como materia prima industrial. En México el cultivo del maíz es de gran importancia económica, nuestro país es el cuarto productor en el mundo pero también es un importante consumidor del mismo, la producción en 2006 alcanzó los 21.9 millones de toneladas contribuyendo con el 68.6% de la producción total de cereales (S.I.A.P., 2006). Nuestro país es considerado como centro de diversidad genética de maíz gracias a la gran cantidad de variedades que se han desarrollado y al parentesco con especies nativas.

Históricamente, los estudios relacionados con diversidad genética en plantas han estado relacionados con datos arqueológicos, botánicos, lingüísticos, históricos y morfológicos. Cabe mencionar que tomando en cuenta el valor agronómico y comercial, la caracterización del germoplasma se ha basado fundamentalmente en características de alta y de baja heredabilidad medidas a través del fenotipo; sin embargo, éstas son muy limitadas por la influencia del ambiente, el tiempo requerido para la colecta de datos y el gran número de genes involucrados en este proceso (Becerra y Paredes, 2000).

La caracterización de cultivares tiene una importante aplicación práctica en el mejoramiento vegetal tanto para la identificación de genotipos comerciales como para la estimación de relaciones genéticas. Los avances en biología molecular han incorporado nuevos marcadores, de naturaleza molecular y de mayor sensibilidad para detectar cambios en el genotipo de los individuos, situación que ha permitido grandes avances en este tipo de estudios. Algunas de estas técnicas son los RAPD (Random Amplification Polymorphic DNA) y los AFLP (Amplified Fragment Length Polymorphism), los cuales se han utilizado para caracterizar mediante huella genética diferentes genotipos de una misma especie y para establecer el grado de relación genética entre ellas (Narváez *et al.*, 2000).

Los métodos numéricos son procedimientos matemáticos que permiten cuantificar el parecido entre unidades taxonómicas, tomando

como base los niveles de los caracteres observados (de Vicente y Fulton, 2003). El uso de métodos numéricos se basa fundamentalmente en el estudio y cálculo de la distancia entre las unidades taxonómicas. Esto implica el cálculo de las distancias entre todos los pares de clases analizadas en el estudio. Este cálculo se basa fundamentalmente en el concepto de similitud, la similitud trata de medir la semejanza de dos individuos en función del carácter considerado. (Ruiz De Garraleta, 1993). Existe gran cantidad de métodos numéricos utilizados para medir las relaciones entre unidades taxonómicas, estos son clasificados en dos grupos: coeficientes de similitud y distancias genéticas o coeficiente de disimilitud. La similitud tiene el sentido de medir que tan similares son dos individuos, por lo tanto entre mayor sea su valor, mayor será el parecido entre los individuos, y entre más cercano a cero menor será este parecido. Los coeficientes de similitud son empleados para estudios de diversidad en los cuales se hacen comparaciones según los datos morfológicos o de marcadores recopilados de las unidades taxonómicas operativas. Estos coeficientes pueden ser utilizados con datos de marcadores dominantes o codominantes. Cuando se trabaja con datos moleculares provenientes de marcadores dominantes (RAPD y AFLP) es común trabajar con datos binarios, utilizando un número 1 para indicar las presencias de patrones amplificados y 0 para indicar su ausencia.

El coeficiente de Dice cuenta el porcentaje de bandas compartidas entre dos individuos y le da más importancia a aquellas bandas presentes en ambos. Considera que la ausencia tiene menor importancia biológica y, de esta manera, este coeficiente tiene un significado completo en función de la similitud del ADN. Este coeficiente suele citarse también como coeficiente de Nei y Li (1979), y es el único coeficiente que posee significado biológico ya que expresa la probabilidad de que una banda en un individuo esté también en otro, y se considera como la relación de número de bandas coincidentes (entre los dos individuos) en relación al número total de bandas (número medio de bandas en un individuo); cuanto menor sea la distancia genética entre accesiones más alta será esa probabilidad. Este coeficiente, es afectado en

menor medida por bandas erráticas cuando la similitud entre muestras se debe más a dobles presencias que a dobles ausencias. En este estudio, se utilizaron 93 materiales genéticos de maíz para caracterizar y establecer deasal grado de relación genética entre ellos por medio de marcadores moleculares tipo RAPD y AFLP.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron 75 líneas endogámicas y 17 combinaciones genéticas y poblaciones de maíz (cuatro cruza simples, cinco poblaciones y ocho retrocruzas) del Programa de Mejoramiento Genético de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (Cuadro 1). La extracción de ADN se realizó en plántulas de este material genético, de acuerdo con el protocolo modificado de Saghai-Marroof y colaboradores. (Hoisington *et al.*, 1994). La cuantificación del mismo se realizó por fluorimetría con el fluorómetro TKO 100 (Hoefler Scientific Instruments, San Francisco, E.U.). Los moldes de ADN se prepararon a 50 ng/µl. La generación de RAPD se realizó de acuerdo con el protocolo de Williams y colaboradores modificado por Hoisington *et al.*(1994). Se manejó un volumen de reacción de 25 µl, la mezcla de reacción consistió de mezcla de dNTPs (0.16 µM), solución amortiguadora de la *Taq* ADN polimerasa (1X), MgCl₂ (25 µM), *Taq* ADN polimerasa (1 U), iniciador (15 ng), ADN molde (25 ng) y agua bidestilada hasta completar el volumen de reacción. Se probaron 40 iniciadores universales (kit A y kit B) de MWG Biotech Oligo Lab (Alabama, E.U.); seleccionando 14 con base a su patrón de bandeó. Los iniciadores seleccionados fueron: MWG_A-01, MWG_A-03, MWG_A-04, MWG_A-05, MWG_A-07, MWG_A-11, MWG_A-11, MWG_A-17, MWG_B-03, MWG_B-05, MWG_B-07, MWG_B-10, MWG_B-17 y MWG_B-18.

Cuadro 1. Identificación de material genético de maíz.

No.	ID	M.G.	No.	ID	M.G.	No.	ID	M.G.
1	1	L	32	32	L	64	368	L
2	2	L	33	33	L	65	369	L
3	3	L	34	34	L	66	371	L
4	4	L	35	35	L	67	372	L

5	5	L	36	36	L	68	373	L
6	6	L	37	37	L	69	375	L
7	7	L	38	38	L	70	L3	L
8	8	L	39	39	L	71	M46xM47	CS
9	9	L	40	40	L	72	793	L
10	10	L	41	41	L	73	1002	L
11	11	L	42	42	L	74	800	L
12	12	L	43	46	L	75	794x795	CS
13	13	L	44	52	L	76	H68	CS
14	14	L	45	53	L	77	795	L
15	15	L	46	54	L	78	CRIOLLO	P
16	16	L	47	55	L	79	142	L
17	17	L	48	56	L	80	792x793	CS
18	18	L	49	58	L	81	L1	L
19	19	L	50	60	L	82	3Å	P
20	20	L	51	173	L	83	3x1	RC
21	21	L	52	174	L	84	3x2	RC
22	22	L	53	175	L	85	10x12	RC
23	23	L	54	177	L	86	10x11	RC
24	24	L	55	178	L	87	4Å	P
25	25	L	56	179	L	88	4x6	RC
26	26	L	57	180	L	89	4x5	RC
27	27	L	58	183	L	90	9Å	P
28	28	L	60	185	L	91	9x7	RC
29	29	L	61	315	L	92	9x8	RC
30	30	L	62	322	L	93	10Å	P
31	31	L	63	367	L			

M.G.= material genético, L = línea, RC = retrocruza, P = población, C.S.= cruza simple

La separación de los fragmentos amplificados se realizó por electroforesis en geles de agarosa al 2%, el corrimiento se realizó con solución amortiguadora TE 0.5X a 80 volts por 3 horas. La visualización se realizó mediante tinción con bromuro de etidio (1 µg/ml) en luz ultravioleta. La documentación de los geles se realizó mediante una cámara digital Kodak DC 120 con el programa KODAK Digital Science 1D v. 3.01. Como referencia para determinar los tamaños de los productos amplificados se utilizó el marcador de peso molecular Bench Top 100 bp Ladder (Promega, USA).

La generación de AFLP se desarrolló de acuerdo a Vos *et al.* (1995), utilizando el estuche comercial IRDye™ Kit for Large Plant

Genome Analysis de LI-COR® (LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA). Las etapas de digestión de ADN y ligación de adaptadores se llevaron a cabo de acuerdo con el protocolo incluido en el estuche comercial. La etapa de preamplificación se modificó al ajustar el volumen de reacción a 27 μ L; la mezcla consistió de ADN digerido y ligado (2.5 μ L), mezcla de preamplificación AFLP (20 μ L), solución amortiguadora 10X (0.9 X), MgCl₂ (1.5 mM) y Taq ADN polimerasa (2.5 U). El programa térmico de incubación fue 20 ciclos a 94 °C por 30 s, 1 min a 56 °C y 1 min a 72 °C. El producto de preamplificación se diluyó a una concentración de 1:40. Para realizar la amplificación selectiva, se manejaron reacciones “dúplex” para los iniciadores EcoR1-700 IRDye™ y EcoR1-800 IRDye™ conforme al protocolo del estuche comercial. El programa térmico fue el propuesto en el mismo protocolo. La combinación de los iniciadores para las reacciones dúplex se encuentran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Combinación de iniciadores utilizados en reacciones dúplex para generación de AFLP en maíz.

	<i>Mse</i> 1	<i>Eco</i> R1 IRDye 700	<i>Eco</i> R1 IRDye 800
1	CAT	AAC	ACG
2	CTG	ACA	AGC
3	CTC	ACC	ACT

La separación de los productos de amplificación se hizo por electroforesis en gel de poliacrilamida 6.5 % en un secuenciador LI-COR® 4200 (Lincoln, NE, EE.UU.). El análisis de identificación, presencias y ausencias de bandas se hizo con el programa SAGA^{MX} (LI-COR, Lincoln, NE, EE.UU.). Las presencias de patrones amplificados de ambos tipos de marcadores, fueron registradas como variables binarias, utilizando el número 1 para indicar la presencia de una banda y 0 para indicar su ausencia. Para determinar la conveniencia de juntar las matrices de ambos sistemas de marcadores (RAPD y AFLP), se realizó una Prueba de Mantel entre las matrices de ambos sistemas de marcadores moleculares. Con las matrices de datos binarios se calcularon las matrices de distancia genética mediante la comparación de cada par de

genotipos, mediante el programa TFPGA v.1.3; el índice de distancia genética que se utilizó para generar las matrices fue el descrito por Nei (1972). Con las mismas matrices de datos binarios se generaron los dendogramas para los materiales genéticos utilizando el programa InfoGen v.1.0: La similitud genética se estimó según el coeficiente de (Nei y Li, 1979) utilizando los métodos de agrupamiento de media aritmética no ponderada (UPGMA), y de WARD, siendo necesario determinar el coeficiente de correlación cofenética para determinar que método de agrupamiento es el más conveniente.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el análisis de los datos moleculares, el material genético de maíz se dividió en 68 líneas endogámicas provenientes de progenitores en común (Números 1-68, Cuadro 1) y, 24 combinaciones genéticas y poblaciones de maíz (Números 69-93, Cuadro 1). En el caso de los RAPD, el total de bandas amplificadas para las líneas endogámicas fue de 98, seleccionando sólo 45 (45.9%), el promedio de bandas seleccionadas por iniciador fue de 3.2. En el caso de las combinaciones genéticas y poblaciones de maíz, el total de bandas amplificadas fue de 95, seleccionando sólo 40 (42.1%), el promedio de bandas seleccionadas por iniciador fue de 3. En la Figura 1 se muestra el patrón de bandeo generado por el iniciador MWG_A-01, tanto en líneas endogámicas como en combinaciones genéticas y poblaciones de maíz; como se observa, en este caso se seleccionaron 4 bandas polimórficas.

Las combinaciones de iniciadores de AFLP (Cuadro 2), generaron un total de 538 bandas de las que se seleccionaron sólo 115 en el caso de las líneas endogámicas, mientras que en las combinaciones genéticas y combinaciones de maíz el total de bandas fue también de 538, seleccionando sólo 107. El promedio de bandas seleccionadas por combinación de iniciadores fue de 17.83 para el caso de las líneas endogámicas y de 19.16 para las combinaciones genéticas y poblaciones; en ambos casos el promedio fue superior al obtenido con RAPD.

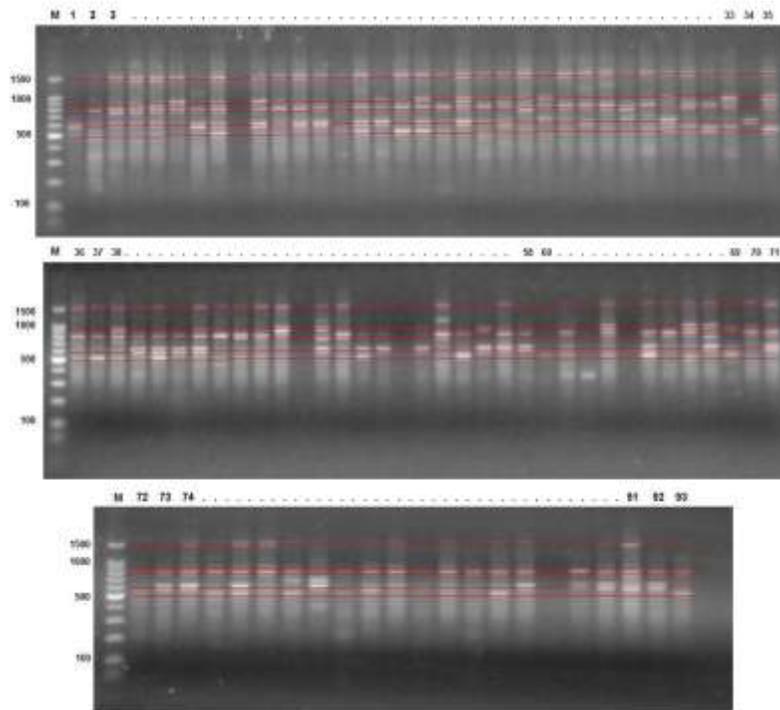


Figura 1. Productos de amplificación de marcadores RAPD obtenidos con el iniciador MWG_A-01 en gel de agarosa al 2%. “M” representa el marcador de peso molecular, del carril 1 al 69 corresponde a las líneas endogámicas y del 70 en adelante corresponde a las combinaciones genéticas y poblaciones de maíz.

En las Figuras 2 y 3 se muestra, el patrón de bandas amplificadas con la combinación de iniciadores M-CAT – E-AAC. El valor de correlación de la Prueba de Mantel (Caujapé, 2006) entre las matrices de similitud genética fue de 0.13, valor de clasificación muy bajo ($r < 0.7$) de acuerdo con Caujapé (2006); lo que permitió determinar que la información proporcionada por los RAPD, es distinta e independiente a la información proporcionada por la técnica AFLP; por consiguiente se tomó la decisión de juntar los datos moleculares de ambos sistemas marcadores.

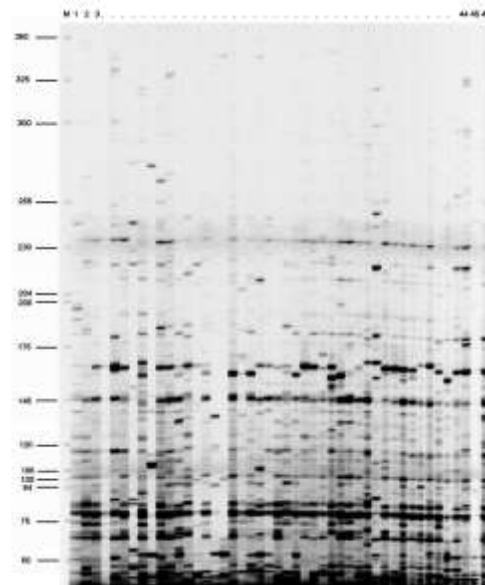


Figura 2. Productos de amplificación de marcadores AFLP obtenidos con la combinación de iniciadores M-CAT–E-AAC en líneas endogámicas de maíz.

Los dendogramas construidos con el método de UPGMA y Ward para las líneas endogámicas se encuentran en las Figuras 4 y 5, respectivamente. Para la construcción de los dendogramas se utilizó el coeficiente de Nei y Li, (1979). El coeficiente de correlación cofenética entre los métodos UPGMA y Ward de 0.912 y 0.528, respectivamente, permitió determinar que el primero fue el método más preciso para el agrupamiento; sin embargo se optó por utilizar el método de Ward para la formación de los grupos ya que tiene interpretación visual sencilla, y los grupos principales se corroboran con los formados por el método UPGMA a distintas distancias de corte. En el Cuadro 3a,b, se resumen los grupos formados por el método de Ward.

Cuadro 3. Grupos formados por las líneas endogámicas del dendograma generado con el método de Ward.

Grupo	Identificación de las líneas endogámicas
1	1a 6,8,10,12,18,20,26,27,28,29,30,31,32,33,35,36,37,38,39,40,43,44,46,54.
	1b 1,2,3,13,24,41,47,48,49,50,51,52,53,57,58,60,61,62,63,65,66,68.
2	4,5,7,9,11,14,15,16,17,19,21,22,23,25,35,42,45,56,58,64,69.

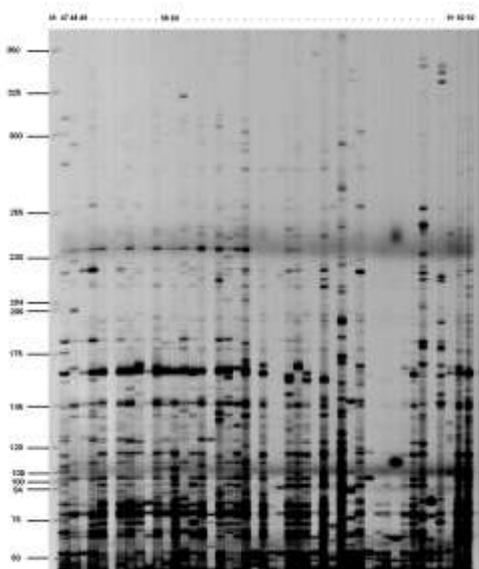


Figura 3. Productos de amplificación de marcadores AFLP obtenidos con la combinación de iniciadores M-CAT–E-AAC en líneas endogámicas, combinaciones genéticas y poblaciones de maíz

El criterio tomado para la distancia de corte y definición de los grupos en los dendogramas, se estableció como la mitad de la mayor distancia de agrupamiento dado que no se cuenta con datos de evaluaciones fenotípicas que pudieran ayudar a la definición de los grupos.

Los dendogramas construidos con el método de UPGMA y Ward para las combinaciones genéticas y poblaciones de maíz se encuentran en las Figuras 6 y 7, respectivamente. Para la construcción de los dendogramas se utilizó el coeficiente de Nei y Li. (1979). Los valores de los coeficientes de correlación cofenética para los métodos UPGMA y Ward fueron de 0.865 y 0.644, respectivamente.

En el Cuadro 4 se encuentran los grupos definidos con el método Ward. Como puede observarse, los grupo 1 y 2 del dendograma generado por el método de Ward, se corroboran en su totalidad con grupos formados en el dendograma generado por el método UPGMA a distinta distancia de corte.

Cuadro 4. Grupos formados por las combinaciones genéticas y poblaciones de maíz del dendograma generado con el método Ward.

Grupo	Combinaciones genéticas y poblaciones de maíz
1	71,76,78,82,84,85,86,89,91.
2	2a 70,73,74,75,77,79,81,87,88,92,93
	2b 72,80,83,90

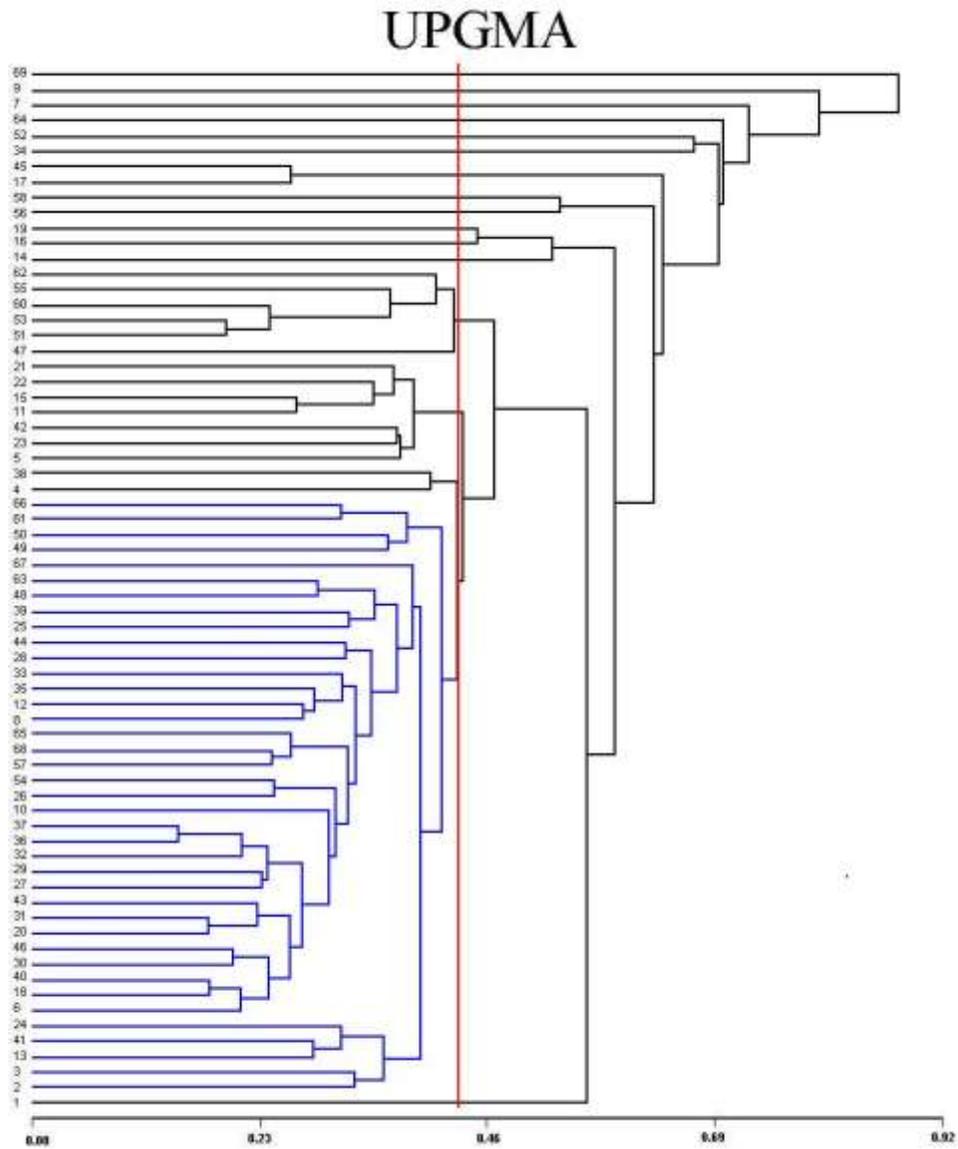


Figura 4. Dendrograma generado en base a datos de 68 líneas endogámicas, 45 marcadores RAPD y 107 marcadores AFLP, estimando similitud genética según el coeficiente de Nei y Li (1979) utilizando como método de agrupamiento el de media aritmética no ponderada (UPGMA).

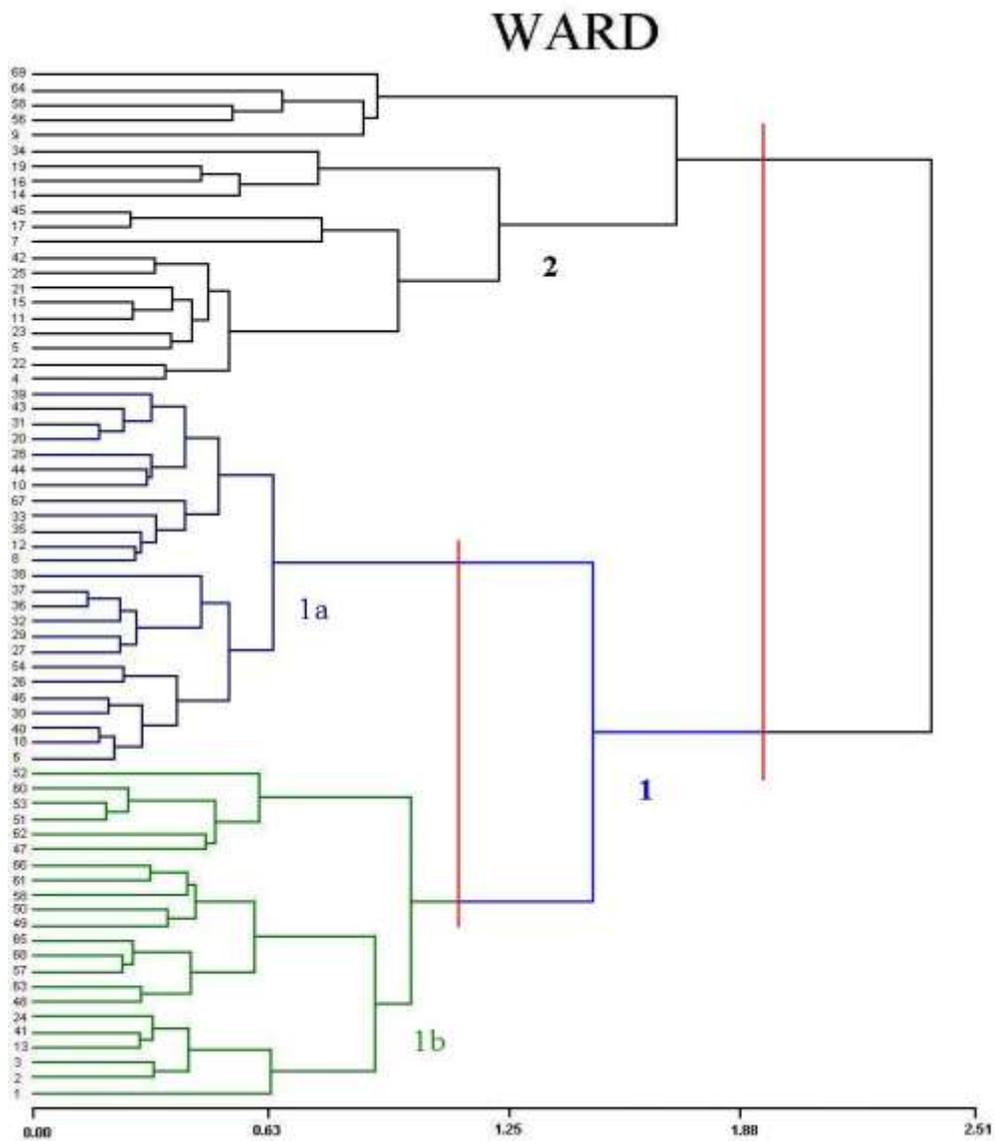


Figura 5. Dendrograma creado en base a datos 68 líneas endogámicas, 45 marcadores RAPD y 107 marcadores AFLP estimando similitud genética según el coeficiente de Nei y Li (1979) utilizando como método de agrupamiento el propuesto por Ward.

4. CONCLUSIONES

1. Los RAPD son una técnica simple y poco costosa con la que se lograron obtener productos de amplificación reproducibles con 14 iniciadores de los 40 probados, produciendo 98 bandas polimórficas de las cuales se seleccionaron 45 para el análisis

de las líneas y 40 para las combinaciones genéticas.

2. A pesar de ser una técnica más compleja tanto en la preparación de las reacciones como en la captura e interpretación de las imágenes se logró obtener productos de amplificados con las 6 combinaciones de iniciadores para los AFLP produciendo así

538 bandas polimórficas seleccionando 107 para el análisis de las líneas y 115 para las combinaciones genéticas.

3. Se tomó la decisión de juntar las matrices de datos de ambos sistemas de marcadores ya que los datos producidos por los RAPD son complementarios a los producidos por AFLP debido al rango de bandeado.

4. Se utilizó el coeficiente de Nei y Li (1979) por ser el único de los coeficientes utilizados para variables binarias, con significado biológico.

5. UPGMA fue el método de agrupamiento más preciso, sin embargo se optó por utilizar el método de Ward para la formación de los grupos dada su interpretación visual sencilla y formación de grupos principales (corroborados por UPGMA a distinta distancia de corte).

6. Para una clasificación agronómica de los grupos es necesario asociar los datos moleculares con datos obtenidos de marcadores morfológicos de interés.

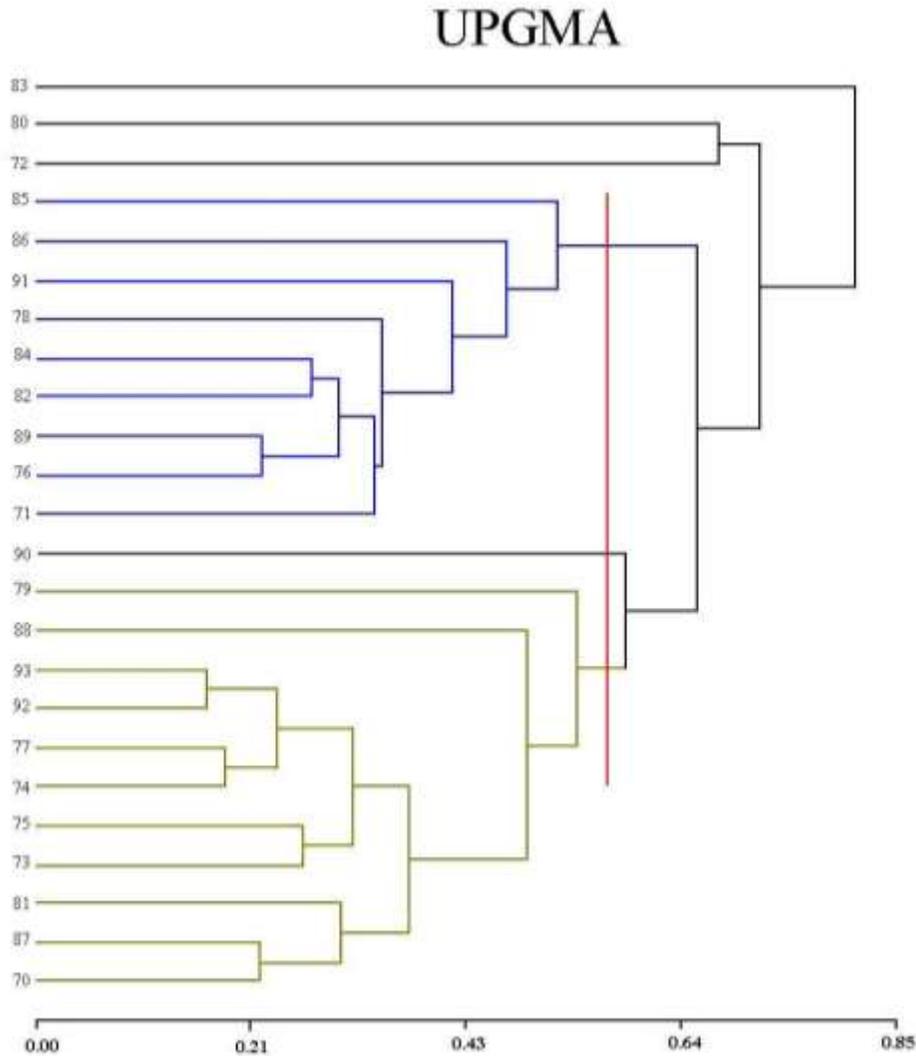


Figura 6. Dendrograma generado en base a datos de 24 combinaciones genéticas y poblaciones de maíz, 40 marcadores RAPD y 115 marcadores AFLP estimando similitud genética según el coeficiente de Nei y Li (1979) utilizando como método de agrupamiento el de media aritmética no ponderada (UPGMA).

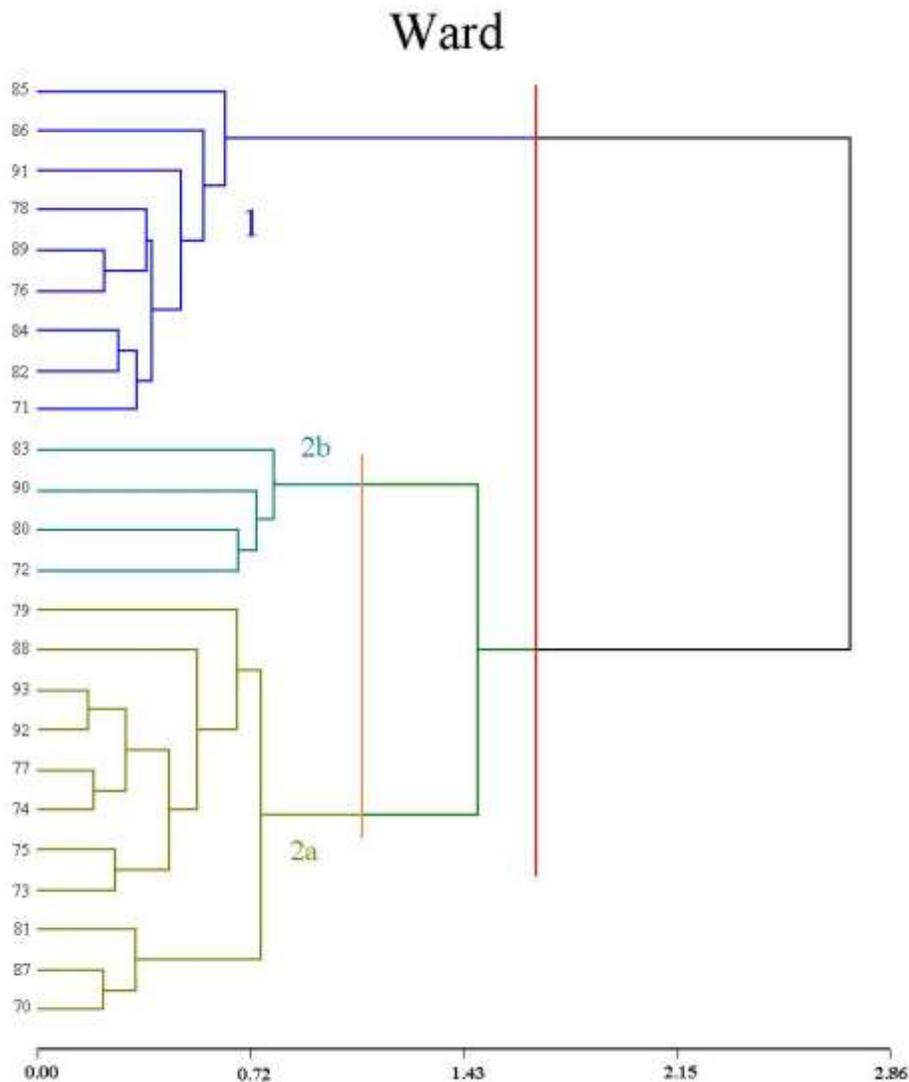


Figura 7. Dendrograma construido en base a datos de 24 combinaciones genéticas y poblaciones de maíz, 40 marcadores RAPD y 115 marcadores AFLP estimando similitud genética según el coeficiente de Nei y Li (1979) utilizando como método de agrupamiento el propuesto por Ward.

5. BIBLIOGRAFÍA

Becerra, V., Paredes, M. 1999. Uso de marcadores bioquímicos y moleculares en estudios de diversidad genética. Instituto de investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación Quilamapu. Chillán, Chile.

Caujapé, C. J. 2006. Brújula para Botánicos desorientados en la genética de poblaciones. Departamento de Biodiversidad Molecular y banco de ADN Jardín Botánico Canario "viera y Clavijo". Las Palmas de Gran Canaria, España. EXIGEN ediciones. p. 31-123.

Hoisington, D., Khairalla, M. and González-de-León, D. 1994. Laboratory Protocols: CIMMYT Applied Molecular Genetics

Laboratory. Second Edition. México, D.F.: CIMMYT

- Narváez R, C., Valenzuela J., Muñoz C., y Hinrichsen, P. 2000. Comparación de RAPD y AFLP como métodos de identificación genética de vid basados en el estudio de fragmentos genómicos anónimos. Universidad de Chile.
- Nei, M. 1972. Genetic distance between populations. *American Naturalist*. 106:283-292
- Nei, M. and W.H. Li. 1979. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 76:5269-5273
- Ruiz De Garraleta, J.I. 1993. Agrupación de poblaciones locales de maíz (*Zea mays* L.) mediante caracteres morfológicos y parámetros ambientales. Tesis. Universidad de Lleida. Salamanca, España p. 6-133.
- S.I.A.P. 2007. Situación actual y perspectivas del maíz en México 2006-2012. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. www.siap.gob.mx
- Vicente, M.C. de y Fulton, T. (eds.). 2003. Tecnologías de Marcadores Moleculares para Estudios de Diversidad Genética de Plantas: Módulo de Aprendizaje. Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), Roma, Italia.
- Vos P., R. Hogers, M. Bleeker, M. Reinjans, T. Van de Lee, M. Hornes, A. Frijters, J. Pot, J. Peleman, M. Kuiper, and M. Zabeau. 1995. AFLP: a new technique for DNA fingerprinting. *Nucleic Acids Res.* 23: 4407-4414.

ESTABLECIMIENTO *IN VITRO* DE *Hylocereus undatus* L. PITAHAYA CACTACEAE

M. C. Ojeda-Zacarías^{1*}, L. Iracheta-Donjuan², A. Gutiérrez-Diéz¹, H. Rodríguez-Fuentes¹, E. A. García-Zambrano¹, V. Aguirre-Arizona¹, Y. Santiago-Juárez¹

¹ Facultad de Agronomía. Universidad Autónoma de Nuevo León. Campus de Ciencias Agropecuarias, Escobedo, N.L. Calle Fco. Villa s/n Col, Ex - Hacienda El Canadá C.P. 66054.
² Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias; Campo Experimental Rosario Izapa, Tuxtla Chico Chiapas, México C.P.30870.
*ojedacz@yahoo.com.mx

RESUMEN: La familia cactáceae requiere métodos alternativos de propagación puesto que en su hábitat natural son de lento crecimiento y pobre germinación. Los cactus tradicionalmente son propagados a partir de semillas o cortes los cuales suelen ser susceptibles a pudriciones; por lo que en los últimos años el cultivo *in vitro* se ha utilizado como una herramienta alternativa para la propagación de cactáceas. Se sabe que estas condiciones de medios artificiales aceleran significativamente el crecimiento de estas plantas, logrando así una ventaja adicional a esta metodología. Sin embargo, se ha encontrado que cada especie responde de manera diferente a las condiciones artificiales que son sometidas, por lo que, es necesario trabajar con cada una de ellas para encontrar el protocolo más adecuado. Uno de los métodos más usados para la propagación *in vitro* de cactáceas es la utilización de brotes a través de la activación de areolas, tal es el caso, de la pitahaya (*Hylocereus undatus* L.) donde se utilizaron las partes apicales de las plántulas como funete de explante ya que ahí se encuentran las areolas. La activación de areolas se logra mediante la adición de citocininas al medio de cultivo. En nuestra especie las que se utilizaron fueron zeatina, cinetina y bencilaminopurina presentándose mejores resultados cuando se utilizaron la dosis altas de 2.0 mg l⁻¹ de BAP en el segundo experimento.

PALABRAS CLAVE: *Micropropagación, explante, bencilaminopurina.*

ABSTRACT: The cactaceae family needs alternative methods for the propagation, because in its natural habitat the germination is poor and growing is very slow. Traditionally, the Cactus is propagated by seeds or slices, but these are exposed to rotting. For that reason in recent years many new techniques had been developed like the micropropagation and another *in vitro* cultures. In the artificial media almost all the plants increase their growing but each species have a unique response to the artificial conditions, because of this every plant requires a unique protocol. A common method for the *in vitro* propagation of the cactaceae is the use of shoots trough the use of areoles as the case of the Pithaya (*Hylocereus undatus* L.) in which was used the apical parts of the plantule as source of explants. The activation of the areole was made with cytocinines in culture media. In our species we used zeatine cytocinine and benzylaminopurine. Best results were obtained when we used a high dose of BAP (2.0 mg l⁻¹).

KEY WORDS: *Micropropagation, explant, benzylaminopurine.*

1. INTRODUCCIÓN

México alberga la mayor riqueza en especies de la familia Cactaceae, las cuales cumplen un papel muy importante en aspectos ecológicos, culturales, sociales, medicinales y económicos, ya que, algunos de sus frutos y tallos forman parte de la dieta alimenticia de los pueblos

indígenas de zonas áridas y semiáridas del país. La familia comprende unas 2,000 especies de plantas principalmente en América Central y América del Sur, de las cuales alrededor de 715 especies de cactáceas existen en México. Los géneros mas destacados son: *Opuntia* y *Mammillaria* (Sánchez y Hernández, 2002).

La pitahaya (*Hylocereus undatus* L.) es una planta que pertenece a la familia de las cactáceas originaria de América tropical cuyo fruto se consume ampliamente en Yucatán y en México. En los últimos 10 años, la producción y comercialización de pitahayas se han hecho cada vez más atractivas, desde el punto de vista económico, tanto para México como para otros países del mundo (Rodríguez, 2000). Su fruto es una baya de forma esférica u ovoidea, de cáscara roja cubierta de brácteas, su pulpa es de color blanco, de sabor agradable sabor ligeramente agrídulce, con suave aroma y delicada fragancia, con gran cantidad de pequeñas semillas de color negro distribuidas de forma más o menos uniforme en toda la pulpa, es un fruto nutritivo y muy atractivo por su forma y su color (Cáliz, 2000),

Los cactus tradicionalmente son propagados a partir de semillas o cortes, en estos casos las plántulas tienden a ser de lento crecimiento y susceptibles a pudriciones. Por lo tanto, la aplicación de métodos biotecnológicos, como la multiplicación *in vitro*, puede contribuir en gran medida a la posible propagación rápida y masiva de esta familia. Se sabe además que estas condiciones de medios artificiales aceleran significativamente el crecimiento de estas plantas, logrando así una ventaja adicional a esta metodología (Mata *et al.*, 2001). Sin embargo, se a encontrado que cada especie responde de manera diferente a las condiciones que son sometidas de reguladores de crecimiento y medios de cultivo *in vitro*, por lo que, es necesario trabajar con cada una de ellas para encontrar el protocolo más adecuado. Uno de los métodos más usados para la propagación *in vitro* de cactáceas es la utilización de brotes a través de la activación de areolas, estructuras que contienen las yemas axilares. La activación de areolas se logra mediante la adición de citocininas al medio de cultivo, siendo las más usadas la 6-bencilaminopurina o benciladenina (BA), la 6-(dimetilalilamino) purina o 2-isopenteniladenina (2ip) y la furfurilaminopurina o cinetina (Hubstenberger *et al.*, 1992). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar una técnica de desindeción y establecimiento *in vitro* de *Hylocereus undatus* L.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos maduros fueron lavados y cepillados con detergente y enjuagados con agua corriente. Se procedió al establecimiento de tres experimentos los cuales fueron los siguientes:

Experimento uno; bajo la campana de flujo laminar en condiciones asépticas se procedió a realizar una desinfección del fruto completo con hipoclorito de sodio al 20 % v/v y 2 gotas de tween-20 por cada 100 ml de solución permaneciendo así por un tiempo de 20 minutos, seguido de tres enjuagues con agua bidestilada esterilizada. Se procedió a extraer la pulpa de los frutos y separar las semillas, las cuales fueron enjuagadas con agua estéril tres veces y colocadas en agua-agar previamente ya estéril. Se utilizaron 10 frascos con 5 semillas por unidades experimentales. Después de 12 días se evaluaron las variables: % de contaminación, % de asepsia, y % de germinación.

Segundo experimento: Consistió en desinfectar las semillas con hipoclorito de sodio a concentración de 5% v/v y 2 gotas de tween-20 por cada 100 ml de solución permaneciendo así por un tiempo de 5 minutos, se procedió a realizar tres enjuagues con agua bidestilada esterilizada. Las semillas fueron sembradas en agua-agar previamente ya estéril. Se establecieron 10 repeticiones por tratamiento. Sembrando 5 semillas por unidades experimentales. A los 12 días del establecimiento asépticos se evaluaron las mismas variables del experimento anterior.

Tercer experimento: El establecimiento fue en condiciones *ex-vitro*, las semillas fueron lavadas únicamente con agua estéril y establecidas en un sustrato de perlita y peat-moss. (2/3 y 1/3) previamente esterilizados, se establecieron en condiciones controladas de fotoperiodo 14 horas luz y 8 oscuridad y temperatura de 21 C° ± 2 C° durante 25 días , posteriormente las plántulas fueron desinfectadas con alcohol etílico al 70 % v/v por 30 segundos seguido por un enjuague con agua estéril, pasando por una solución de hipoclorito de sodio al 10 % v/v y 2 gotas de tween-20 por cada 100 ml de solución durante 15 minutos procediéndose a realizar tres enjuagues con agua estéril para eliminar el exceso del agente desinfectante este proceso

se realizó bajo la campana de flujo laminar en condiciones asépticas. Las plántulas fueron seccionadas con bisturí a la mitad separando el epicótilo del hipocótilo, utilizando únicamente explante de 5.0 mm de la parte apical del epicótilo ya que aquí es donde se encuentran las areolas. Se establecieron en el medio de cultivo de Murashige- Skoog (1962), básico adicionado con vitaminas y reguladores de crecimiento, sacarosa 30 gr l⁻¹ y agar-gel 5 gr l⁻¹ se ajustó el pH 5.5, ± 0.02 posteriormente se fundió en horno-microondas por 10 minutos seguido de la dosificación en frascos de vidrio de 130 ml de capacidad estos fueron esterilizados a una temperatura de 121 C° y 15 atmósferas de presión por 15 minutos. Después de mantener el medio de cultivo en reposo durante 7 días fueron utilizados. Los reguladores para este experimento fueron la Zeatina, cinetina y 6- bencilaminopurina en proporción de 1.0 mg l⁻¹ y 2.0 mg l⁻¹ ver cuadro 1. Así como la combinación de (BAP con zeatina y cinetina) ver cuadro 2. Se establecieron 10 repeticiones por tratamiento para ambos experimentos. Las unidades fueron establecidas bajo condiciones controladas de 16 horas luz y 8 oscuridad y temperatura de 24 C° ± 2 C° durante 20 semanas. Fueron establecidas bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial 2x3 y 2x2. Utilizando únicamente un brote apical por unidad experimental, las variables evaluadas fueron para ambos experimentos: % de contaminación, % de asepsia, % de supervivencia, y % de respuesta a los 15 días después del establecimiento *in vitro* en los diversos tratamientos.

Cuadro 1. Reguladores de crecimiento utilizados para la etapa de establecimiento *in vitro* de *Hylocereus undatus* L.

Dosis	zeatina	cinetina	BAP
1.0 mg l ⁻¹	T1	T2	T3
2.0 mg l ⁻¹	T4	T5	T6

Cuadro 2. Combinación de reguladores de crecimiento utilizados en el establecimiento *in vitro* de *Hylocereus undatus* L.

Dosis	Zeatina 1.0 mg l ⁻¹	Cinetina 1.0 mg l ⁻¹
1.0 mg l ⁻¹ BAP	T1	T2
2.0 mg l ⁻¹ BAP	T3	T4

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados del experimento uno: no resultaron favorables ya que el 84% de las semillas se contaminaron logrando únicamente un 16 % de asepsia y un 10% de germinación.

En el segundo experimento se presentó un 76% de contaminación, el 24% de asepsia así como de germinación, el alto porcentaje de contaminación se pudo deber a que la dosis del agente desinfectante no fue la idónea por lo que, se pueden sugerir realizar otros ensayos con dosis más altas en cuanto a la concentración del agente desinfectante y los tiempos que permanecen en contacto en la solución. Roca y Mroginski, 1991, mencionan que el NaClO en concentraciones de 1% a 3% es un agente muy útil como germicida, por lo que, por mucho tiempo ha sido utilizado como esterilizante superficial en los tejidos vegetales.

Para el experimento tres se utilizaron las plántulas de las semillas que lograron germinar después de 25 días del establecimiento en el sustrato. Se pudo determinar en promedio un 50% de germinación, este resultado se pudo deber a que existen sustancias que inhiben la germinación por otro lado, se reportan especies que requieren un tratamiento de estratificación ligera.

Después de 15 días del establecimiento *in vitro* se evaluaron las variables, presentándose cero por ciento de contaminación en ambos experimentos por lo tanto, la asepsia fue del 100% así como, la supervivencia del explante con respecto a la variable porcentaje de respuesta para el primer experimento presentaban respuesta únicamente los tratamientos 4,5,6. Sin embargo en el segundo todos los tratamientos presentaban respuesta.

Etapa de Inducción. Después de permanecer los explantes *in vitro* por 15 días en el medio de

cultivo se hicieron evidentes la formación de estructuras nodulares semejantes a callo sobre la superficie de los cortes, lo anterior puede atribuirse a la utilización y combinación de auxinas y citocininas que estimulan el crecimiento de los callos en cactáceas.

A las 10 semanas del establecimiento todos los explantes se subcultivaron a medios nuevos y fue hasta las 20 semanas cuando se contabilizaron los brotes de todos los tratamientos. En años recientes se ha demostrado que las citocininas son un factor eficiente en el rompimiento del letargo en yemas y explantes de cactáceas (Jonson y Emino, 1979). Para el experimento uno el análisis de varianza no mostró diferencia significativa para ningún tratamiento. Presentándose un promedio de 8 y 9 brotes por tratamiento. Mientras que en el experimento dos el análisis de varianza mostró diferencia significativa en el factor A, que corresponde a la combinación de las dos citocininas. Por lo que, se procedió a realizar la comparación de medias por medio de una prueba tukey con $\alpha=0.05$ determinando que a mayor concentración de citocininas mayor número de brotes el número de brotes promedio en el nivel uno fue de 10.30, mientras que en el nivel dos, fue de 21.35 brotes promedio

4. CONCLUSIONES

- 1) La cactácea *Hylocereus undatus* L (pitahaya) responde exitosamente al cultivo *in vitro*
- 2) Los mejores resultados se obtuvieron cuando se utilizaron las dos citocininas en concentraciones altas en el nivel dos.

5. AGRADECIMIENTOS

Al PROMEP por el financiamiento de la investigación.

6. RECOMENDACIONES

* Se logró desarrollar el establecimiento *in vitro* de *Hylocereus undatus* L.

* La utilización de las técnicas de cultivo de tejidos *in vitro* con fines de propagación manifiesta una alternativa viable de utilizarse en cactáceas

* Se sugiere desarrollar un protocolo de micropropagación específico para cada especie en particular.

7. LITERATURA CITADA

Cáliz-de Dios, H. 2000. Cultivo de pitahaya (*Hylocereus* spp) sobre tutores vivos. En: Simposio Internacional sobre el cultivo y aprovechamiento de la pitaya (*Stenocereus*) y la pitahaya (*Hylocereus* y *Selenicereus*). Univ. de Guadalajara.

Hubstenberger J.F., Clayton P.W., y Phillips G.C. 1992. Micropropagation of cacti (Cactaceae). En Bajaj Y.P.S. Ed. Biotechnology in Agriculture and Forestry, Vol.20. High-Tech and Micropropagation IV.pp. 49-68, Springer-Verlag, Berlín y Heidelberg.

Johnson, J.L. y Emino E.R. 1979. Tissue culture propagation in the cactaceae. Cactus and succulent Lour, 51: 275-277

Mata-Rosa M., Monroy de la Rosa M. A., Moebius-Goldammer, K. y Chávez-Ávila V.M. 2001. Micropropagation of *Turbincarpus laui* Glass et Forter, an endemic and endangered species. *In vitro Cellular and Developmental Biology-Plant* 37:400-404.

Murashige, T. y Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue culture. *Physiol. Plant.* 15:473-479.

Roca, W.M. y Mroginski, L.A. 1991. Establecimiento de cultivo de tejidos *in vitro* en: W.M. Roca y L.A. Mroginski (Ed). Cultivo de tejidos en la agricultura. CIAT. Colombia 12-13.

Rodríguez-Canto, A. 2000. Pitahayas: estado mundial de su cultivo y comercialización. Fundación Yucatán Produce AC. Universidad Autónoma de Chapingo.

Sánchez, E. and M.M. Hernández. 2002. Propagation of Mexican cacti threatened with extinction. *Cactus and Succulent Journal.* 74 (1): 17-21.

GAS SINTÉTICO (GASSIN): COMBUSTIBLE OBTENIDO DE LA GASIFICACIÓN DEL COQUE DE PETRÓLEO MEXICANO DE LAS REFINERÍAS DE CD. MADERO Y CADEREYTA

J. C. González-Rocha¹, R. Longoria-Ramírez² y G. Urquiza-Beltrán^{2,3}

¹ *División de Estudios de Posgrado e Investigación. Instituto Tecnológico de Cd. Madero. Jesús Urueta y Juventino Rosas S/N C. P. 89410. Cd. Madero, Tamaulipas, México. E mail: jcglezr_20@yahoo.com.mx*

² *Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET) -Dpto. Ing. Mecánica, Av. Palmira s/n Col. Palmira, Tel. y Fax: (777) 3127613, Cuernavaca, Morelos. Email: rlr@cenidet.edu.mx*

³ *Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas División de Turbomaquinaria, Av. Universidad 1001, Col. Chamilpa, 62209, Cuernavaca, Morelos, México. Email: gurquiza@uaem.mx*

RESUMEN: En este trabajo se evalúa energéticamente la gasificación del coque de petróleo de las refinerías de Cd. Madero, Tamaulipas y Cadereyta, Nuevo León, México. La evaluación energética del gas sintético (gassin) se centra principalmente en la composición química del gassin limpio (gasl) y sus características energéticas: el poder calorífico, la potencia energética, la eficiencia de gas frío y la eficiencia térmica de gasificación. Los resultados de la indican que la gasificación del coque de Cadereyta denominado CRC, produce un gasl con mejor rendimiento y características energéticas que el gasl obtenido al gasificar el coque de petróleo de Cd. Madero denominado CRM. Cuando se gasifica el CRC la razón de producción de gasl obtenida es de $2.07 \text{ kg}_{\text{gasl}}/\text{kg}_{\text{coque}}$, mientras que la razón de producción de gasl para el CRM es de $1.89 \text{ kg}_{\text{gasl}}/\text{kg}_{\text{coque}}$. El poder calorífico del gasl del CRC es de $12\,729.56 \text{ kJ}/\text{kg}_{\text{gasl}}$ mientras que para el CRM es de $11\,639.13 \text{ kJ}/\text{kg}_{\text{gasl}}$. La potencia energética del gasl del CRC es mayor con una diferencia de $25.87 \text{ GJ}/\text{h}$ con respecto a la potencia energética del gasl del CRM. Con las condiciones de operación especificadas, en la gasificación del coque de petróleo CRC se generan energía a razón de $26.46 \text{ MJ}/\text{kg}_{\text{coque}}$, mientras que al gasificar el coque de petróleo CRM se generan $22.09 \text{ MJ}/\text{kg}_{\text{coque}}$. Actualmente, el coque producido en la refinería de Cd. Madero se consume en las plantas de potencia de Tamián, San Luis Potosí, México, mientras que el coque que produce la refinería de Cadereyta se usa en la industria cementera.

PALABRAS CLAVE: Poder calorífico, potencia energética, eficiencia de gas frío, eficiencia térmica.

ABSTRACT: This paper evaluates in terms of energy the gasification of the petroleum coke from the refineries of Cd Madero, Tamaulipas and Cadereyta, Nuevo León, Mexico. The energy evaluation of the synthetic gas (syngas) focuses mainly on the chemical composition of the clean syngas (gasl) and its energy characteristics: heating value, the energy power, the cold gas efficiency and the thermal efficiency of gasification. The results of the simulation indicate that the gasification of the petroleum coke from Cadereyta called CRC, produces a gasl with better performance and energy characteristics than those obtained when gasifying the coke of petroleum from Cd. Madero, called CRM. When the CRC is gasified, the rate of production of gasl obtained is of $2.07 \text{ kg}_{\text{gasl}}/\text{kg}_{\text{coke}}$, while the rate of production of gasl for the CRM is $1.89 \text{ kg}_{\text{gasl}}/\text{kg}_{\text{coke}}$. The HHV of the gasl of the CRC is $12\,729.56 \text{ kJ}/\text{kg}_{\text{gasl}}$ while for the CRM is $11\,639.13 \text{ kJ}/\text{kg}_{\text{gasl}}$. The energy power of the gasl of the CRC is greater, with a difference of $25.87 \text{ GJ}/\text{h}$, with regard to the energy power of the gasl of the CRM. Under the specified conditions of operation, energy is generated at a rate of $26.46 \text{ MJ}/\text{kg}_{\text{coke}}$ in the gasification of the CRC coke of petroleum, while when gasifying the CRM coke of petroleum $22.09 \text{ MJ}/\text{kg}_{\text{coke}}$ are generated. Currently, the petroleum coke produced in the refinery of Madero is consumed in the power plants of Tamián, San Luis Potosí, Mexico, while the petroleum coke produced by the refinery of Cadereyta is used in the cement industry.

KEY WORDS: Heating value, energy power, cold gas efficiency, thermal efficiency.

1.- INTRODUCCIÓN

El coque de refinería, en general, es un producto residual sólido de alto contenido energético, alto índice de pulverización, bajo en volátiles, alto contenido de azufre (alrededor de un 7 %) y metales como el vanadio y níquel.

A nivel mundial en la última década se ha incrementado el interés por usar el coque del petróleo como combustible en la generación limpia de energía eléctrica aplicando la tecnología de gasificación (Neville, 1996; Mahagaokar y Hauser, 1992; Generux y Doucette, 1996; Swain, 1991; Bryan *et al.*, 1996). Este interés se debe principalmente al incremento en la producción del coque de petróleo como consecuencia del procesamiento de mayores volúmenes de crudos pesados en las refinerías y al incremento en el rendimiento de los productos con alto valor agregado, como la gasolina, turbosina, diesel o combustóleo, entre otros (González y Villalobos, 2001).

En México se han estimado las posibilidades de generación de energía eléctrica a partir del uso del coque de petróleo utilizando la tecnología de gasificación (Millán y Jiménez, 1992; Fernández, 1991; Bolado, 1995; Fernández y Alaniz, 1993; Fabela, 1998; Fernández *et al.*, 1998; González, 2007).

Actualmente, el coque de petróleo producido en la refinería de Cd. Madero es consumido en su totalidad en el complejo termoeléctrico de Tamuín San Luis Potosí, mientras que el coque de petróleo que se produce en la refinería de Cadereyta, se ha diversificado a diferentes usos, entre ellos en la industria cementera.

En el presente estudio se realiza una simulación energética comparativa entre la gasificación del coque de petróleo producido en la refinería de Cd. Madero y la gasificación del coque de petróleo producido en la refinería de Cadereyta, con la finalidad de determinar de cuál de ambos coques se puede producir un gas sintético (gassin) con las mejores propiedades energéticas para ser usado como combustible, sea para generar electricidad limpia o para usarse en una refinería aplicando el concepto de la trigeneración (producción de electricidad, vapor y productos químicos).

Para la simulación se usó el software ASPEN (ASPEN PLUS SHELL, 2007, Aspen Technology Inc.) como herramienta complementaria, con el cual se obtuvieron los

presentes resultados, eligiéndose este software por su gran versatilidad de modelos termodinámicos y su gran flexibilidad para la simulación en interfaces con el usuario.

Antecedentes

Producción de coque de petróleo en México

La producción de coque de petróleo en México se ha incrementado en años recientes, debido, principalmente, a la reconfiguración de las refinerías de Cd. Madero y Cadereyta.

Las siguientes estadísticas conforman una selección de datos obtenidos de las referencias (Secretaría de energía, 2005; Aguilar y Cano, 2000; Secretaría de energía e Instituto Mexicano del petróleo, 2001), los cuales, expresan la tendencia en cuanto al procesamiento del crudo pesado Maya y a la producción de coque de petróleo durante el periodo de 1993 a 2005. En la Figura 1 se muestra los miles de barriles diarios (mbd) de crudo pesado Maya que se han procesado en el sistema nacional de refinación (SNR) en el periodo mencionado.

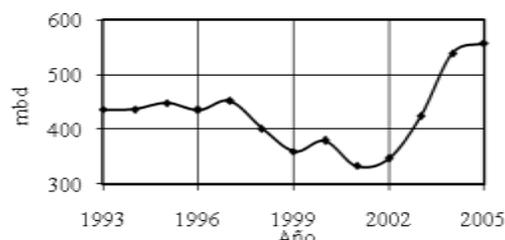


Figura 1. Crudo pesado procesado en el SNR

El incremento significativo en el procesamiento de crudo pesado Maya entre los años 2003 y 2005, fue debido principalmente a los volúmenes procesados en la refinería de Salina Cruz y sobretodo, por las refinerías de Cd. Madero y Cadereyta. La evolución del porcentaje de crudo Maya procesado (Figura 2), representa un incremento de 13.83 % del año 2002 al 2005, respecto a la cantidad total de procesamiento por año.

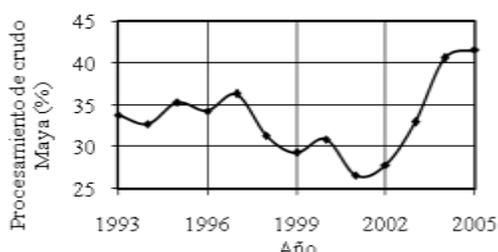


Figura 2. Porcentaje de crudo Maya procesado.

El incremento del procesamiento del crudo Maya durante el periodo del 2002 al 2005 se debe principalmente al inicio de operaciones de la unidad coquizadora de la refinería de Cd. Madero en el 2002 y la unidad coquizadora de la refinería de Cadereyta en el 2003. En la Tabla 1 se observa claramente el incremento en procesamiento del crudo Maya, el cual representó un 72 % del año 2003 al 2004 y un 62 % de incremento al 2005, los miles de barriles de crudo Maya procesados diariamente impacta en las toneladas diarias de producción de coque de ambas refinerías (Tabla 2).

Tabla 1. Procesamiento de crudo Maya en las refinerías de Cadereyta y Cd. Madero (mbd).

Refinería/año	2003	2004	2005
Madero	71.00	110.9	113.7
Cadereyta	77.21	143.6	126.9
Total	148.21	254.5	240.6

Con la integración de la coquizadora en la refinería de Cadereyta, la producción nacional diaria de coque se incrementó de 107.1 toneladas producidas únicamente por la refinería de Cd. Madero en el 2002 a 2324.36 toneladas en el año 2003. En el siguiente año esta producción se incrementó significativamente en un 70 % con respecto al año anterior (Tabla. 2). Aproximadamente, durante el periodo 2003-2005 por cada 1000 barriles de crudo procesado se produjeron 15.6 toneladas de coque, en promedio.

Tabla 2. Producción nacional de coque en las refinerías de Cadereyta y Cd. Madero (td).

Refinería/año	2002	2003	2004	2005
Madero	107.10	1234.50	1926.90	1976.71
Cadereyta	0	1089.86	2026.60	1791.70

Total	107.10	2324.36	3953.50	3768.40
-------	--------	---------	---------	---------

Se estima que con la reconfiguración de la refinería de Minatitlán iniciada en el 2003 y su entrada en operación para el 2008 y en conjunto, con la reconfiguración del resto de las refinerías (Salamanca, Salina Cruz y Tula), las cuales conforman el Sistema Nacional de Refinación, la producción de coque de petróleo se incrementa a razón de un 19.6 % tmca (tasa media de crecimiento anual).

En cuanto a la importación de coque de petróleo, el principal proveedor son los Estados Unidos de América con 1709.9 mta (miles de toneladas al año) en el año 2002 y con 2166.8 mta en el 2003; esto representó un incremento de 21 %. Para el 2004 y 2005 no se tiene dato exacto de la importación de coque de petróleo.

Consumo de coque de petróleo en México

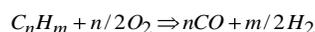
El coque de petróleo producido en la refinería de Cd. Madero se consume en conjunto con el coque de petróleo importado de la refinería de Houston para generar una potencia eléctrica de 460 MW mediante el complejo termoeléctrico de Tamuín, San Luis Potosí (2 unidades de 230 MW). El coque de petróleo consumido por cada unidad se encuentra entre 1800 y 2200 toneladas diarias (td). De acuerdo con este consumo y con el dato de la producción de coque de petróleo de la refinería de Cd. Madero dado en la Tabla 2 para el periodo 2004-2005, es posible estimar lo siguiente: con el coque de petróleo de la refinería de Cd. Madero se están generando aproximadamente 230 MW con una razón de producción de energía de 10 MJ/kg_{coque}.

Con respecto al coque de petróleo producido en la refinería de Cadereyta éste está siendo utilizado fundamentalmente en la industria del cemento (CEMEX).

Gasificación

La gasificación es una tecnología que en la última década ha resultado de gran aceptación para convertir combustibles sólidos como el carbón, biomasa y últimamente el coque de refinería. Básicamente consiste en convertir un combustible sólido en un gas limpio, cuya composición esta formada principalmente de CO y H₂ (alrededor de 90 %) y de N₂, CO₂, H₂O, H₂S y COS.

La reacción básica de gasificación puede expresarse como sigue;



Entre las principales compañías a nivel mundial propietarias o usuarios de esta tecnología se puede mencionar a Texaco, Shell, Lurgi y BGL con aplicaciones en países como Estados Unidos de América, Holanda, España, Italia, Japón, India, Sudáfrica, entre otros. Desde 1986 las experiencias de gasificación, exclusivamente de coque de petróleo, se han usado para producir hidrógeno, vapor y electricidad (Tabla 3).

Tabla 3. Experiencia de gasificación exclusivamente de coque de petróleo (Fabela, 1998; Ahman *et al.*, 2002; EPRI, 2006).

Lugar	Combustible	(TPD)	Producción	Año
Japón	Petcoque	1650	H ₂ y electricidad	1986
Taiwán	Petcoque	-----	Electricidad	1993
E. U. A	Petcoque	5450	Electricidad y vapor	1996
Holanda	Petcoque	2350	Electricidad	1998
España	Petcoque	2590	Electricidad	2000
México	Petcoque	2200	Electricidad	2002
India	Petcoque	2300	Electricidad	2006
Italia	Petcoque	5000	Electricidad, vapor, químicos	2006

Propiedades del coque de petróleo mexicano

De acuerdo a las cantidades de coque de petróleo que se están produciendo en las refinerías mexicanas de Cd. Madero y Cadereyta y a su gran potencial comercial, se ha seleccionado al coque de petróleo producido por estas refinerías con la finalidad de determinar el potencial energético del gassin obtenido en un proceso de gasificación.

El contenido de **cenizas** es importante, primeramente por el efecto que estas pueden tener en el interior del gasificador en cuanto a la transferencia de calor que impacta

directamente en la eficiencia de gas frío y en la eficiencia térmica de gasificación.

El bajo contenido de **materia volátil** (alrededor 10%) comparado con el del carbón, contribuye a su baja reactividad, lo cual es compensado por el alto contenido de oxígeno e hidrógeno, y que pueden incrementarse con el vapor de agua que se integra al proceso de gasificación. El contenido de **carbón fijo** influye claramente sobre el poder calorífico del gassin. El alto contenido de **azufre** tiene como consecuencias, primeramente, la influencia que éste tiene en el mecanismo de corrosión sobre los componentes del sistema de gasificación y segundo, la necesidad de considerar un proceso adicional integrado al sistema de gasificación para su eliminación del gassin crudo (gasc).

El análisis próximo (tal como se recibe), el análisis último (libre de humedad) y el poder calorífico superior del coque de petróleo (PCS_{coque}) producido en las refinerías de Cd. Madero y Cadereyta y las normas que se aplicaron para obtener sus valores (Tabla 4).

Tabla 4. Composición del coque CRM y CRC, (% peso), (informe No- 7, 2005).

Análisis próximo	CRM	CRC	Norma
Humedad	10.54	1.21	D3173-03
Cenizas	0.35	0.36	D3174-02
Materia volátil	10.22	10.65	D3175-02
Carbón fijo	78.89	87.78	D3172-02
Análisis último			
Cenizas	0.35	0.36	D3174-02
Carbono	84.24	84.63	D5373-02
Hidrógeno	3.90	3.91	D5373-02
Nitrógeno	0.79	0.72	D5373-02
Azufre	6.04	5.91	D129-00
Oxígeno	4.68	4.47	
PCS _{coque} (kJ/kg)	35202.61	38987.48	D5865-03

Descripción simplificada del sistema de gasificación

Para la simulación de la gasificación del coque de petróleo se estructuró un sistema de gasificación, el cual consiste de las siguientes

secciones: a) gasificación, que comprende dos reactores (RYELD y RGIBBS), los cuales simulan el **proceso de gasificación**; b) separación de aire, formada por una unidad separadora de aire (USA) que suministra los requerimientos de O_2 y se compone de un compresor de aire de dos pasos (COMPR), un compresor de oxígeno de 5 pasos (MCOMPR) y simulan el **proceso de separación de aire**; c) enfriamiento, la cual está formada por un enfriador radiactivo y un enfriador convectivo (HEATX), los cuales simulan el **proceso de enfriamiento y producción de vapor** en el sistema de gasificación y por último; d) separación de gases, formada por una unidad modelo (SEP 2) de separación de gases ácidos y el gassin limpio, libre en un 99 % de compuestos de azufre; simulando el **proceso de limpieza de gases** (Figura 3).

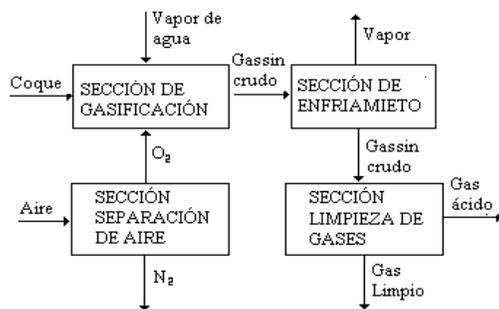


Figura 3. El sistema de gasificación del coque de petróleo.

2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Modelo termodinámico de gasificación

Los trabajos se desarrollaron en el Instituto Tecnológico de Cd. Madero, Tamaulipas (ITCM) y en el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE). En este trabajo de simulación del proceso de gasificación de coque procedente de refinерías de petróleo mexicano se consideró a una temperatura de 1515 °C y presión de 40 bar. Durante un proceso de gasificación se desarrollan una serie de reacciones químicas que dependen de las condiciones de operación del gasificador. Las principales reacciones químicas involucran al carbono, monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrógeno, vapor de agua, metano, ácido sulfhídrico y sulfuro de carbonilo. Estas

reacciones pueden expresarse de la siguiente manera (Himan y Van der Burgt 2003).



Las ecuaciones 7.4 a 7.8 son reacciones reversibles que se realizan simultáneamente a velocidades diferentes.

La mezcla reactiva a temperatura y presión considerada se desarrolla en la dirección del decrecimiento de la función de Gibbs (G) bajo el siguiente criterio de equilibrio químico:

$$\Delta G_{T,P} = 0 \quad (7.9)$$

Es necesario especificar que una reacción química a una temperatura y presión constantes no puede desarrollarse en dirección del incremento de la función de Gibbs debido a que se violaría la segunda ley de la termodinámica

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad (7.10)$$

Al resolver para cada reacción desde la 7.4 a 7.6 involucrando la 7.7 y 7.8 se puede obtener el criterio de equilibrio químico siguiente:

$$\sum_p \nu_i \bar{g} - \sum_r \nu_j \bar{g} = 0 \quad (7.11)$$

Donde

ν es el coeficiente estequiométrico.

\bar{g} es la función de Gibbs molar.

p representa a los productos de gasificación.

r representa a los reactivos involucrados.

i es el iésimo producto o reactivo en la reacción química.

En particular, la reacción de equilibrio del CO con vapor de agua, ecuación 7.7, es una reacción importante, si se considera que interviene en el control de la composición del gassin limpio (gasl); a temperaturas mayores de 1000 °C su velocidad de reacción es tan

rápida que puede considerarse que se encuentra en equilibrio, como es el caso de este trabajo de investigación.

De acuerdo con los resultados de la simulación, el efecto de la presión resultó ser de muy limitada influencia, en tanto que para la temperatura se considero que la velocidad de reacción, para las reacciones de combustión, son limitadas por la transferencia de masa a temperaturas mayores de 1150 °C no así la cinéticas de gasificación de vapor de agua y dióxido de carbono a temperaturas mayores a 1400 °C (Soumitro *et al.* 2004; Cengel y Boles, 1998; Bejan, 1980; Jeffrey, 1986).

3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación energética del gas sintético (gassin) se centra principalmente en la obtención de la composición química del gassin limpio (gasl) y sus características energéticas: el poder calorífico superior, la potencia energética, eficiencia de gas frío y la eficiencia térmica de gasificación.

El sistema de gasificación fue validado con el trabajo de investigación que sobre gasificación realizo Mahagaokar Uday y Hauser Nick en 1992; se considero iguales condiciones de operación que las usadas en su proceso de gasificación Shell.

Estimación de la composición del gassin limpio (gasl).

Una vez que es de interés la composición química y las características energéticas del gassin limpio (gasl), es decir, el producido en el sistema de gasificación, todos los resultados se referirán respecto al gasl. Estos resultados se obtuvieron para una relación másica oxígeno/coque de 1.02, una alimentación de oxígeno de 6036.388 kg/h, una relación vapor de agua/oxígeno de 23 % y una presión y temperatura de gasificación de 42 bar y 1515 °C, respectivamente. El poder calorífico del gassin fue calculado con las entalpías de reacción respectivas del CO, H₂ y H₂S (Cengel y Boles, 1998; Bejan, 1980).

En la tabla 5 se muestran la composición química del gassin limpio (gasl) obtenida de la gasificación de los coques CRC y CRM. Como se puede observar, alrededor del 90 % del gasl está compuesto por CO y H₂, con trazas de CO₂, N₂, CH₄, H₂S, COS, y H₂O.

Tabla 5. Composición del gasl como producto de la gasificación del coque de refinería mexicano (CRM y CRC), porcentaje molar.

	CRM	CRC
Componente	Gassin	Gassin
CO	64.075	68.037
H ₂	27.008	27.645
CO ₂	6.662	2.292
N ₂	0.797	0.703
CH ₄	0.003	0.012
H ₂ S + COS	0.108	0.125
H ₂ O	8.3236e-03	8.4322e-03

El poder calorífico superior del gasl (PCS_{gasl}) obtenido para el CRM es de 11 639.19 kJ/kg_{gasl} y para el CRC es de 12729.56 kJ/kg_{gasl} ambos difieren en aproximadamente 1090.429 kJ/kg_{gasl} equivalente en un 9.4 % mayor para el CRC. Este resultado se debe principalmente a la diferencia entre ambos coques en cuanto al contenido de carbón fijo (CF) y humedad (H), ver Tabla 4 y 6 y al mayor contenido de CO en el gasl del CRC, ver Tabla 5.

Eficiencia del gas frío del gasl (EGF_{gasl})

La eficiencia de gas frío del gasl es un parámetro de rendimiento que expresa el porcentaje de energía química del coque de petróleo contenida en el gasl y se define como:

$$EGF_{gasl} = \left[\frac{\Omega_{gasl} (GJ/h)}{\Omega_{coque} (GJ/h)} \right] \times 100$$

Considerando los resultados de la Tabla 6, se puede observar que un incremento en el contenido de carbón fijo con un decremento en la humedad, tiene como consecuencia un incremento en el porcentaje molar del CO en el gasl; así como también un incremento en el poder calorífico superior (PCS_{gasl}) y en la potencia energética del gasl (Ω_{gasl}). De igual manera en la eficiencia de gas frío del gasl (EGF_{gasl}), esto de acuerdo con la definición de EGF_{gasl} (Himan y Van der Burgt, 2003). Comparando ambos resultados se tiene que la EGF del CRC es de 67.87 % y para el CRM de 62.75 % con una diferencia aproximada de 5%.

Tabla 6. Efecto de la variación del carbono fijo y la humedad sobre el PCS_{gasl} , la Ω_{gasl} y la EGF_{gasl} .

CRM					
CF (%)	H (% peso)	CO(%) mol)	PCS_{gasl} (kJ/kg _{gasl})	Ω_{gasl} (GJ/h)	EGF (%)
73.89	15.54	61.80	11052.95	117.64	56.46
78.89	10.54	64.08	11639.14	130.74	62.75
83.89	5.54	66.22	12197.43	143.84	69.04
88.89	0.54	68.25	12729.79	156.92	75.32
CRC					
CF (%)	H (% peso)	CO(%) mol)	PCS_{gasl} (kJ/kg _{gasl})	Ω_{gasl} (GJ/h)	EGF _{gasl} (%)
73.78	15.21	62.06	11162.58	119.74	51.90
78.78	10.21	64.31	11746.80	132.92	57.61
83.78	5.21	66.42	12303.24	146.10	63.32
87.78	1.21	68.04	12729.57	156.61	67.88
88.78	0.21	68.43	12833.20	159.23	69.01

Eficiencia térmica de gasificación

En la Tabla 7 se puede observar específicamente, la potencia energética del gasc (Ω_{gasc}), la potencia energética del vapor (Ω_{vapor}) y la potencia energética del coque alimentado (Ω_{coque}), las cuales definen la eficiencia térmica de gasificación. En la gasificación del CRC y del CRM la energía recuperada en forma de vapor es de alrededor de 7.5% para ambos, sin embargo, la potencia energética del gasc difiere notablemente, siendo mayor la potencia energética del gasc del CRC en una cantidad de 27 GJ/h respecto a la potencia energética del CRM. Esta diferencia entre las potencias energética de cada gasc, hace posible que la eficiencia térmica obtenida (η_{tg}) al gasificar el CRC sea de 83.65 % y la eficiencia térmica obtenida al gasificar el CRM tenga un valor de 79.66 %.

Manteniendo el sistema de gasificación operando en estado estable, en la gasificación del CRM, el gasl se produce a razón de 1.89 kg_{gasl}/kg_{coque}, mientras que para la gasificación del CRC, el gasl se produce a razón de 2.07 kg_{gasl}/kg_{coque}. La potencia energética del gasl del CRC es mayor en 25.87 GJ/h respecto a la potencia energética del gasl del CRM, representando un incremento de aproximadamente 4.4 MJ/kg_{coque} gasificado.

Considerando la potencia energética respectiva y la alimentación de coque al reactor se puede observar lo siguiente; cuando se gasifica el CRM se produce 22.09 MJ/kg_{coque}, mientras que cuando se gasifica el CRC se produce 26.46 MJ/kg_{coque}, con lo que es posible generar directamente 36.31 MW y 43.50 MW, respectivamente.

Otro parámetro que comúnmente se usa para definir el desempeño de un proceso de gasificación es la eficiencia de gas frío del gassin crudo (EGF_{gasc}), la cual se define como la relación de la potencia energética del gassin crudo Ω_{gasc} (GJ/h), respecto a la potencia energética del coque alimentado Ω_{coque} (GJ/h) [31]:

$$EGF_{crudo} = \left[\frac{\Omega_{gasc} \text{ GJ/h}}{\Omega_{coque} \text{ GJ/h}} \right] \times 100$$

Considerando los valores de la Tabla 7 que por definición le corresponden a la EGF_{gasc} del CRM y CRC, se obtienen valores de 72.340 % y 77.070 %, respectivamente. Estos valores son también de gran importancia debido a que indican dos cosas: la cantidad de energía contenida en el gasc inmediatamente después del proceso de gasificación y directamente el grado de pérdida de energía en el reactor.

Tabla 7. Resumen de los resultados obtenidos de la gasificación del coque de petróleo CRM y CRC.

Resultados obtenidos para una relación oxígeno/coque de 1.02, una alimentación de oxígeno de 6036.388 kg/h, una relación vapor de agua/oxígeno de 23 %, una presión y temperatura de gasificación de 42 bar y 1515°C. respectivamente.

	Coque CRM	Coque CRC	Gassin del CRM	Gassin del CRC
PCS (KJ/kgcoque)	35202.6	38987.5		
PCS (kJ/kggasl)			11639.14	12729.57
\dot{m} (kg/h)	5918.30	5918.30	11232.86	12302.96
Ω_{coque} (GJ/h)	208.34	230.74		
Ω_{gasl} (GJ/h)			130.74	156.61
EGFgasl (%)			62.75	67.87
Ω_{gasc} (GJ/h)			150.72	177.82
Ω_{vapor} (GJ/h)			15.25	15.19
EGFgasc (%)			72.34	77.07
η_{tg} (%)			79.66	83.65

En la Figura 4 se presenta el balance térmico del proceso de gasificación del CRM y CRC. En esta figura se puede observar que la mayor pérdida de energía se encuentra durante el proceso de gasificación, representando una reducción en el gasc del 28.61 % respecto a la potencia energética del coque CRM alimentado, mientras que en la gasificación del CRC la reducción en el gasc representa un 22.93 % con relación a la potencia energética del coque CRC alimentado. Cabe hacer mención que estas pérdidas no son recuperables como es el caso del calor contenido en el vapor radiactivo producido en el reactor.

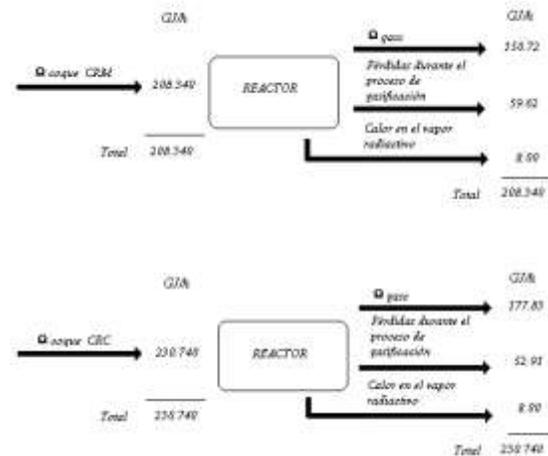


Figura 4. Balance térmico para el proceso de la gasificación del coque CRM y CRC.

4.- CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema de gasificación integrado por cuatro procesos: proceso de gasificación, proceso de separación de aire, proceso de producción de vapor, y proceso de limpieza de gases, con la finalidad de producir un gassin limpio (gasl) a partir de coque de petróleo mexicano, con las características energéticas apropiadas para usarse como combustible. Se usó el simulador ASPEN PLUS SHELL como herramienta complementaria por su flexibilidad de intercambiar modelos térmicos y especificaciones de diseño con el usuario.

Los resultados obtenidos con el sistema de gasificación tuvieron buena aproximación con los resultados de validación.

Los resultados de la simulación indican que la gasificación del coque de Cadereyta produce un gasl con mejores características energéticas comparado con el gasl obtenido al gasificar el coque de petróleo de Cd. Madero.

-La razón de producción de gasl por kg de coque alimentado del CRC es de 2.07 $\text{kg}_{\text{gasl}}/\text{kg}_{\text{coque}}$, mayor que la razón de producción de gasl del CRM con 1.89 $\text{kg}_{\text{gasl}}/\text{kg}_{\text{coque}}$.

-Para una igual alimentación de coque de 5918.304 kg/h es posible generar 43.5 MW gasificando el coque CRC, mientras que gasificando el coque CRM es posible generar 36.31 MW, con una razón de producción de

energía de 26.46 MJ/kg_{coque} y 22.09 MJ/kg_{coque}, respectivamente.

-Las diferencias entre los resultados de la gasificación del coque de petróleo CRM y CRC se deben a sus contenidos de carbón fijo (CF) y humedad (H), ya que éstos modifican la composición del gassin.

-Por lo anterior, el coque de la refinería de Cadereyta ofrece mejor rendimiento energético que el coque de la refinería de Cd. Madero, en condiciones iguales de operación del sistema de gasificación.

-Con el gassin obtenido en un sistema de gasificación se puede aplicar el concepto de la trigeneración haciendo posible generar electricidad (Jeffrey, 1986), vapor ó productos químicos como el H₂.

-Considerando la razón de producción de energía para el CRM de 22.09 MJ/kg_{coque} obtenido como resultado de este estudio y la producción actual de coque de la refinería Madero, se estima que sería posible obtener una generación de electricidad de aproximadamente 500 MW.

-Las simulaciones suministran información detallada y completa relacionada con balances de masa y energía, usualmente con mayor resolución y flexibilidad que las logradas con los trabajos experimentales.

5.- AGRADECIMIENTOS

Un especial agradecimiento al Instituto Tecnológico de Cd. Madero por las facilidades otorgadas para la realización de esta investigación.

6.- LITERATURA CITADA

Aguilar-Rodríguez, E., Cano-Domínguez J. L. 2000. "Situación actual y perspectivas de las tecnologías para la refinación del petróleo", Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), mayo.

Ahman, S., Pisano-Altom J., Charly G. C. 2002. "Refinería de Taiwán utilizará coque de

petróleo en dos CFB's de avanzada tecnología", Power, mayo/junio.

ASPEN PLUS SHELL, 2007. Aspen Technology Inc.

Bejan, A. 1980. Advanced Engineering Thermodynamics, Wiley-Interscience publication, John Willey and Son.

Bolado, E. R. 1995. "Nuevas tecnologías para la utilización de combustibles Fósiles en la generación eléctrica", Publicación Interna, Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), Cuernavaca, México, pp. 1-41.

Cengel-Yunus, A y Boles M. 1998. "Thermodynamics: An Engineering Approach", Editorial McGraw-Hill, 3^o edición, ISBN 0-07-11524-4.

EPRI.2006. Final report. "Petcoke and Low-Rank Coal/Lignite Supply Outlook for IGCC Evaluations", Program 066.0 Future Coal Generation Options, 1013038 Final Report 200602, sitio Web: http://www.epri.com/OrderableItemDesc.asp?product_id=00000000001013038&searchdate=02/22/2006.

Fabela, R. 1998. "Alternativas para la utilización del coque", Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), workshop de carbón, Subdirección de Planeación de Pemex-Refinación, febrero.

Fernández-Montiel, M. 1991. "Procesos de gasificación aplicados a sistemas de cogeneración con residuales sólidos nacionales", Instituto de Investigaciones Eléctricas, CONAE, pp. 401-408.

Fernández-Montiel, M., Alaniz Ch. F. J. 1993. "Gasificación de combustibles sólidos y de combustóleo para la generación eléctrica", Reporte del estado actual de las tecnologías de gasificación aplicadas a la generación de energía eléctrica, reporte No. 44207, IIE, División de sistemas mecánicos, departamento de ingeniería mecánica.

Fernández-Montiel, M., González-Santaló, J. M., Gutiérrez-Ramírez, R., Milán-Foressi, J.

- y Romo Millares, C., 1998. "Tendencias tecnológicas en los procesos de combustión en la generación de electricidad", mayo/junio Boletín IIE.
- Generux R. P., y Doucette B., 1996. "Pet-Coke-Firing experience involves over three decades", *Power*, No. 7, July/august, 140; pp. 61-62.
- González, F. R., Villalobos, H. 2001. "Procesamiento de crudos pesados en México", Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), www.imiq.org.
- González-Rocha, J. C. 2007. Estudio del desempeño de una planta de potencia de ciclo combinado con gasificación integrada., Tesis doctoral, centro nacional de investigación y desarrollo tecnológico (cenidet), Cuernavaca, Morelos, México.
- Himan, Ch., Van der Burgt M. 2003. Gasification, editorial Elsevier Science USA, British Library Cataloguing-in-Publication Data, ISBN0-7506-7707-4.
- Informe No. 7. 2005. "Análisis de las muestras de coque procedentes de Cd. Madero, Tamaulipas y Cadereyta, Nuevo León" Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico- Cenidet, Ingeniería Mecánica-procesos térmicos. Marzo 14. Cuernavaca, Morelos.
- Jeffrey-Northridge P. 1986. "A Study of the Off-design performance of integrated coal gasification combined-cycle power plants", Ph. D., University de Stanford.
- Mahagaokar, U. y Hauser N. 1992. "Gasification of Petroleum Coke in the Shell Coal Gasification process", The Fifth International Power Generation Exhibition & Conference, POWER-GEN, Orange Country C. Orlando Florida, November, pp. 17-19.
- Millán-Foressi, J. J. 1992. "La combustión de coque de petróleo en un combustor experimental de lecho fluidizado", XV Congreso Internacional de Calderas y recipientes a presión, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Depto. Ingeniería. Mecánica. Noviembre. Guadalajara, Jalisco, México.
- Neville, H. 1996. "Gasificación de combustibles fósiles" Boletín Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE), tendencias tecnológicas, noviembre-diciembre, pp. 256-259.
- Secretaría de energía, publicaciones. 2005. *Prospectiva petrolíferos 2004-2013*, www.energía.gob.mx.
- Secretaría de energía, Instituto Mexicano del petróleo, 2001. "Oportunidades de gasificación de coque de petróleo".
- Soumitro-Nagpal, T. K., Sarkar, P. K. Sen. 2004. "Simulation of petcoke gasification in slagging moving bed reactors", *Fuel processing Technology*, pp. 617-640, ELSEVIER.
- Stuart B., Hill B. Yee, Rosenquist W. A. 1996. "Petroleum Coke as a Viable Alternative Fuel", POWER-GEN International, Orlando, Florida, EUA, pp. 259-267.
- Swain, E. 1991. "Major Growth in Coke Production Taker Place", *Oil and Gas Journal*, May.

ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD DE MICRO Y PEQUEÑAS EMPRESAS FABRILES DE LA ZONA CENTRO DEL ESTADO DE TAMAULIPAS UTILIZANDO REGRESIÓN LINEAL.

*F. A. González-Jiménez, F. J. García-Paz
Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria
floraagj@yahoo.com, paco_garcia8@hotmail.com*

RESUMEN: Se presentan los resultados parciales encontrados a la fecha sobre el índice de productividad en micro y pequeñas empresas fabriles de la zona centro del Estado de Tamaulipas; la investigación se realiza a través de encuestas dirigidas a empleadores y personal operativo de 10 empresas seleccionadas, de diversos giros y tamaños, las cuales son representativas del tipo de industria de esta región. Los datos obtenidos fueron analizados mediante Regresión Lineal. Los resultados indican que por tamaño, los factores que más afectan son la comunicación, los salarios, los estímulos y la capacitación; en el caso de la micro y pequeña empresa, específicamente los factores que afectan son la capacitación, los estímulos y los salarios. Se utilizó el Diseño de Experimentos Factorial para encontrar los valores de los parámetros adecuados para mejorar el desempeño de este tipo de empresas en esta parte del Estado.

PALABRAS CLAVE: Productividad, tamaño, fabriles, recursos, gastos, producción, micro y pequeña empresa

ABSTRACT: In this paper we present partial results on productivity index in micro and small manufacturing firms located at the central region of Tamaulipas, Mexico. The investigation was conducted through surveys of employers and staff of 10 operating companies selected to participate in the study; companies were of different size and sector and representative of the type of industry in this region. Data obtained were analyzed by Lineal Regression. The results showed that considering size of companies, factors that more affected productivity index are communication, salaries, stimulus and training; in the case of micro and small companies, factors that more affected productivity index were training, stimulus and salaries. A Factorial design was used to assess values of adequate parameters to improve performance of companies in the region.

KEY WORDS: Productivity, size, companies, costs, production, micro and small companies

1. INTRODUCCIÓN

La zona centro del estado de Tamaulipas tradicionalmente ha desarrollado una actividad económica enfocada a la agricultura y ganadería; sin embargo, en los últimos años, se han asentado una treintena de empresas fabriles, según el Directorio Industrial del Estado de Tamaulipas (2007), de diversos giros y tamaños, lo cual ha motivado un mayor crecimiento económico en esta zona. De acuerdo a las necesidades que se presentan, se requiere una mayor inversión para mejorar el nivel de vida de sus habitantes, lo cual conlleva a preguntarnos que se tendría que hacer para que fuera atractivo para los capitales invertir en esta región.

Revisando los índices de productividad, se observa que los resultados obtenidos en los 2 últimos años son menores que los índices que las empresas tenían como meta, por lo que, es necesario investigar que es lo que está influyendo para que el índice de productividad sea menor que el proyectado por dichas empresas.

Para desarrollar este estudio, se revisó el directorio de empresas del gobierno del Estado y se seleccionaron por giro y por tamaño, 10 empresas que representan la diversidad que existe actualmente en esta región del Estado.

La información necesaria para realizar este estudio, se obtuvo mediante encuestas dirigidas tanto a la administración de las

empresas como al personal operativo de las mismas, siendo aplicadas por estudiantes de la carrera de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.

Para diseñar este estudio se revisaron trabajos desarrollados sobre productividad por diferentes autores tanto nacionales como extranjeros. De acuerdo con ellos, existen diversos conceptos sobre este índice y también diversas maneras de medirlo, siendo considerados en estas discusiones más recientes factores, además de los tradicionales, la nutrición, la edad, el sexo, el stress, la tecnología, etc.

Este trabajo se ha estructurado de la siguiente manera: en el apartado 2, se presenta el planteamiento del problema; en el apartado 3, se encuentra el estado del arte; en el apartado 4, se presenta la metodología utilizada; en el apartado 5, los resultados obtenidos a la fecha; en el apartado 6, se presenta una discusión sobre los resultados; en el apartado 7, se muestran las conclusiones obtenidas hasta este momento y en el apartado 8, las referencias bibliográficas consultadas para la realización de este estudio.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema es la baja productividad que presentan las empresas fabriles del centro del Estado; los objetivos de este estudio son los siguientes: 1) Determinar los factores que afectan a la productividad de las empresas fabriles; 2) Establecer si el tamaño es un elemento que influya en los factores que afectan la productividad de este tipo de empresas; 3) Definir los factores que afectan a la micro y pequeña empresa fabril. Las hipótesis que se han planteado para lograr los objetivos anteriores son: 1) La comunicación, los salarios, los estímulos y la capacitación son los factores que afectan la productividad de la micro y pequeña empresa fabril; 2) El tamaño influye en la determinación de los factores que afectan la productividad de las empresas fabriles; 3) El sexo, la edad y la escolaridad son los factores que influyen en la productividad de las empresas fabriles micro y pequeñas.

3. ESTADO DEL ARTE

Desde el siglo XIX se han realizado trabajos y estudios, principalmente por economistas, sobre la productividad, destacando la publicación de Adam Smith titulada "La Riqueza de las Naciones", en la que presenta el autor definiciones teóricas sobre la visualización de la productividad, considerando la división del trabajo como un aspecto muy importante para la productividad laboral.

De acuerdo con Sumanth (1979), Quesnay hizo la primera referencia en 1766 a la productividad; en Paris en 1846, se edito un libro en el que se presento su concepción de este término, siendo titulado "Dialogues sur le comerse et les travaux des artisans en Physinocrates".

Como se indicó anteriormente, Adam Smith se refirió a la división del trabajo y su efecto en la productividad en su libro, en el que presenta los conceptos de productividad y competitividad cuando analiza las causas y repercusiones de la división del trabajo, de las características de los trabajadores y del desarrollo tecnológico y la innovación. También señala que la división del trabajo es la causa más importante del progreso de las facultades productivas del trabajo, de manera que la aptitud, la destreza y la sensatez con que este se realiza, es una consecuencia de dicha división. Las ventajas se fundamentan en la destreza de los trabajadores, el ahorro del tiempo debido a que no se tiene que cambiar de actividad y a la invención de maquinaria que permite que el trabajo se desarrolle de manera más rápida y con menos esfuerzo por parte de la mano de obra. Estas dos son las referencias más antiguas sobre este tema.

Kendric y Vaccara (1979) señalan que en 1883, Littre definió la productividad como la facultad de producir. También indican que a fines del siglo XIX, se profundizó en términos teóricos en el concepto de productividad y realizaron trabajos de medición a nivel nacional, en la industria manufacturera y en el sector de servicios; según Kendric (1961), es en este siglo cuando se desarrollan técnica y metodológicamente el concepto de productividad, así como se realizaron ejercicios de medición incrementándose cuantitativa y

cualitativamente la investigación en el área. En estos trabajos se analiza el impacto que tiene la productividad en el crecimiento económico, en la competitividad de los países y las empresas y en el nivel de vida de los trabajadores.

En el siglo XX, los economistas enfocaron sus estudios hacia el concepto teórico de la productividad, estando estos dirigidos a la macroeconomía (nacional, internacional e industrial); en este mismo siglo, otro aspecto de la productividad que ocupó los desvelos de economistas e ingenieros, además de contadores, administradores, sociólogos y psicólogos, fue la medición de la productividad y los instrumentos para hacerlo, siendo las empresas al campo de acción de estos trabajos.

En las últimas décadas del siglo XX y en estos albores del siglo XXI, se ha hecho bastante referencia al concepto de productividad y se ha reconocido que dada su amplitud, no puede circunscribirse al elemento laboral, puesto que son demasiados los factores que de una forma u otra afectan su comportamiento tanto en las empresas, en los sectores industriales y en los países.

De acuerdo con Levitan y Werneke (1984), se confunde el concepto de productividad con otros, como el de intensidad del trabajo (incremento del trabajo lo que trae como consecuencia un exceso de esfuerzo del trabajador), eficiencia (generar bienes y servicios de alta calidad en el menor tiempo posible), eficacia es el grado en que se consiguen los objetivos y producción (actividad de producir bienes y servicios), lo que conduce a errores, que a continuación se mencionan: Se reduce el concepto de productividad al de productividad laboral; creer que se puede medir el rendimiento solo por el producto; confundir productividad con la rentabilidad; creer que la reducción de costos siempre mejora la productividad; considerar que la productividad solo se puede aplicar a la producción; reducir los problemas de productividad a problemas técnicos o gerenciales.

Por lo anterior, se impone la necesidad de revisar las diferentes definiciones que de este término se conocen, las que se han

transformado en el transcurso del tiempo; de manera general, productividad es un indicador que refleja como se están usando los recursos de una economía en la producción de bienes y servicios; en este concepto, es conveniente aclarar que los recursos a que se refiere son: humanos, capital, conocimiento, energía, materiales, etc., los cuales son usados para producir bienes y servicios que luego serán colocados en el mercado, siendo indicado por Levitan y Werneke (1984).

Una observación interesante es que los conceptos que se utilizaron en el siglo XIX y principios del XX, involucran solo 2 factores: trabajo y capital. Actualmente, muchos factores como las inversiones, la razón capital/trabajo, la investigación y desarrollo científico-tecnológico, la utilización de la capacidad instalada, las leyes y normas gubernamentales, las características de la maquinaria y equipo, los costos de energéticos, la calidad de los recursos humanos, sindicatos, etc., deben ser considerados para establecer una medición adecuada de la productividad en su concepción mas amplia.

Sumanth (1992) indica que se han estado analizando y valorando dos situaciones, a saber: una, el concepto teórico de productividad y la otra, la medición adecuada de esta. En este sentido, existen dos formas de medir la productividad: 1) mediciones parciales (producción/un solo insumo), 2) mediciones multifactoriales que relacionan la producción con un índice ponderado de los diferentes insumos utilizados. Es obvio que el segundo tipo de medición es el más congruente con las condiciones con las que se trabaja actualmente en las empresas, por tal razón, sería la más adecuada para hacer dicha medición, dando un dato estimado más cercano a la realidad.

Sin embargo, según Ahumada (1987), manejar el concepto de productividad del trabajo como la relación entre la producción y el personal ocupado, permite ciertas ventajas, entre las que se encuentran las siguientes: determinar la movilidad ocupacional, proyectar requerimientos futuros de mano de obra, determinar políticas de formación de recursos humanos, examinar los efectos del cambio tecnológico en el empleo y desempleo, etc.

Ricardo (1973), relacionó la productividad con la competitividad de los países en el mercado internacional, e impulsó la idea de los rendimientos decrecientes en el uso de los factores.

Marx (1980), señala las características de la ciencia y la tecnología que influyen en el proceso de producción y por consiguiente, afectan la productividad de las empresas.

Una contribución importante fue la de Solow (1957), ya que permitió establecer el factor total de la productividad, partiendo de la función de producción, como un concepto operacional; de acuerdo con Solow (1957), el concepto "cambio técnico" es utilizado para referirse a cualquier clase de desplazamiento de la función de producción. Así pues, los retardos, las aceleraciones, las mejoras en la educación de la fuerza de trabajo y toda clase de cosas, aparecerán como "cambio técnico".

Indica Kendrick (1961), que el índice de la productividad total de factores (PTF) es una relación entre el producto real y los insumos, utilizando las expresiones siguientes para hacer dicho cálculo:

$$\text{Productividad Total} = \text{Producción} / (\text{M O} + \text{C})$$

En donde:

Insumo Mano de Obra (M O) es el número de horas – hombre ajustadas según los cambios en la calidad de la mano de obra.

Insumo Capital (C) es el inventario neto de estructura más equipo en la planta más inventarios más capital de trabajo más terreno. Estos insumos se agregan a los factores de precios como ponderación; las medidas de capital no toman en cuenta los cambios de calidad debido a mejores tecnologías.

Los cálculos parciales de productividad para los insumos anteriores, se hacen mediante las siguientes expresiones:

$$\text{Productividad Parcial MO} = \text{Producción en precios del periodo base} / \text{Insumos de MO en precios del periodo base.}$$

$$\text{Productividad Parcial Capital} = \text{Producción en precios del periodo base} / \text{Insumos de Capital en precios del periodo base.}$$

$$\text{Productividad Parcial de Materiales} = \text{Producción en precios del periodo base} / \text{Productos intermedios comprados en precios del periodo base.}$$

Como señalan Kendrick y Vaccara (1979), las ventajas de utilizar las medidas de productividad total y parcial, son las siguientes: 1) Cada una de las medidas de productividad parcial es útil para indicar los ahorros logrados a través del tiempo en cada uno de los insumos por unidad de producción. 2) A corto plazo, un incremento en la productividad total puede significar mejores tasas de utilización de la capacidad, hasta llegar a la tasa más eficiente. A largo plazo, los avances de la productividad total reflejarían, principalmente, un progreso tecnológico debido a la reducción de costos a la inversión en investigación y desarrollo, en educación y en capacitación de la fuerza de trabajo.

Kendrick (1961), indica que la productividad total para un periodo dado es igual a la producción del periodo medido en precios del periodo base entre los insumos del periodo medido en precios del periodo base. En otras palabras, el Índice de Factor de Productividad Total es la producción neta entre los insumos de factor total.

Levitan y Werneke (1984), identifican como factores que afectan a la productividad a la tecnología, la educación y la calificación de la fuerza de trabajo, los cambios en la utilización de la planta y el equipo y la organización. Distinguen 2 corrientes en torno a la caída de la productividad a nivel internacional y son las siguientes: 1) La económica, la cual evalúa tendencias de la productividad para enfatizar factores macroeconómicos que contribuyen directamente al crecimiento, inflación y cambio cíclico de la demanda, inversión en nuevas plantas y equipo, el desarrollo de nuevas tecnologías y la calificación y experiencias de la fuerza de trabajo. 2) La institucional, que concentra su explicación en el rol de la conducta, actitudes e interacciones entre los principales participantes económicos.

Menciona Correa (1970), que cuando trabajan personas con capacidades diferentes, sus productos difieren; a estas diferencias de producto, en la medida en que se deben a la educación, se les llamara el producto directo de la educación; este producto depende de la interacción del trabajo educado con otros factores de producción, por lo que, las mediciones deben hacerse teniendo presente esta interdependencia y considerando la función de producción de bienes, donde el trabajo educado es un factor.

Hernández (1993), dice que la productividad generalmente se concibe como una relación entre los recursos utilizados y el producto obtenido; plantea que si bien es cierto que el indicador más usado es el de productividad del trabajo, también es cierto que tanto índices como recursos sean utilizados en la producción.

De acuerdo con Sumanth (1992), la medición de la productividad a nivel nacional tiene ciertos usos, como: 1) Predecir el ingreso y producto nacional en alguna fecha futura, 2) Comparar el poder competitivo de los distintos sectores en las diferentes economías nacionales, 3) Índice de crecimiento puesto que una nación avanza utilizando menos para producir mas. Un incremento global en la productividad de la mano de obra de una nación significa una mayor cantidad de bienes y servicios por trabajador, por tanto, un ingreso potencial mas alto por trabajador, 4) Un factor importante que afecta los precios y salarios.

4. METODOLOGÍA

Las empresas que participan en este estudio pertenecen a los giros de eléctrica-electrónica, mobiliario, agroindustrial, textil y maquiladora. En cuanto a los tamaños, participan 2 micros, 1 pequeña, 2 medianas y 5 grandes, de acuerdo al número de empleados. La muestra de empresas es de un 33.33%, lo cual es estadísticamente adecuado, de acuerdo con Mendenhall (1992); la disponibilidad de los recursos para realizar este estudio esta sujeta a la disposición de las empresas y del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria.

A la fecha se han aplicado 3 encuestas, 2 dirigidas a los empleadores y una al personal

operativo de las empresas que aceptaron participar en este estudio. La selección del personal que participó se hizo considerando todos los departamentos o áreas de trabajo, así como todos los turnos que tienen las empresas, se busco también que participaran tanto hombres como mujeres, tomándose en cuenta las edades del personal para que la muestra fuera representativa de todos empleados; los tamaños de muestra estuvieron basados en función del número de empleados de cada empresa, tomando como regla encuestar al menos el 10% de los empleados en las empresas medianas y grandes; en el caso de las micro y pequeñas empresas, se encuestaron todos los empleados.

Los resultados de las encuestas se presentan en tablas diseñadas para tener mayor visualización de los mismos; la información se analizó por empresa y posteriormente se hizo un concentrado de todas las empresas, en el que se presentaron las medias de cada una de éstas con respecto a los factores que se evaluaron, los cuales fueron antigüedad, escolaridad, salarios, estímulos, equipo de seguridad, herramientas de trabajo, capacitación y prestaciones.

Se aplicó el Modelo de Análisis de Regresión Lineal Simple a los resultados dados por las encuestas; siendo este modelo el siguiente:

$$Y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

En donde:

Y es la variable dependiente

X es la variable independiente

α es la ordenada en el origen

β es la pendiente de la recta

ε es el error aleatorio

Este modelo resultó útil para las medianas y grandes empresas, razón por la cual no se presenta en este artículo la aplicación de dicha herramienta y sus resultados, los cuales se comentarán en otro momento, dada la amplitud de su análisis y de la discusión generada.

También se aplicó el Modelo de Regresión Lineal Múltiple, para determinar los factores que afectan la productividad de la micro y pequeña empresa; este modelo es el siguiente:

Datos poblacionales:

$$Y_p = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon$$

Para estimar la ecuación anterior, se utilizan datos muestrales, quedando de la manera siguiente:

$$Y_p = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_kX_k$$

En donde:

Y_p es la variable dependiente

X_1, X_2, \dots, X_k son las variables independientes

b_0 es la ordenada en el origen

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ son los coeficientes obtenidos de datos poblacionales, que indican el incremento de la variable dependiente por cada valor que toma la variable independiente 1, 2, ..., k

b_0 es la ordenada en el origen calculada a partir de datos muestrales

b_1, \dots, b_k son los coeficientes obtenidos de datos muestrales; son los estimadores de los coeficientes β

k es el número de variables independientes

ϵ es el error aleatorio

Se encontraron resultados interesantes que se comentarán a continuación.

5. RESULTADOS

Revisando los resultados obtenidos por empresa, se observó que había problemáticas comunes por giro y por tamaño; también se aprecia que la mayoría de las empresas tienen personal muy joven, el cual no está plenamente capacitado para desarrollar su trabajo; otro aspecto que se ve, es que el sexo es otro factor importante, ya que las empresas con mayor proporción de personal femenino, tienen mayor índice de productividad. La escolaridad de los empleados en promedio es de secundaria, sin embargo hay algunos que tienen iniciados los estudios de bachillerato o a nivel técnico y tienen inconformidad con el sueldo, estímulos y capacitación que reciben.

Para fines de este trabajo, se enfocará el análisis de los resultados hacia la problemática encontrada por tamaño, específicamente la micro y pequeña empresa.

Las microempresas que participan en este estudio tienen como factores influyentes en su productividad el salario, la capacitación y los estímulos. Las ecuaciones que se formularon partiendo de los datos recabados para encontrar el modelo de la Regresión Lineal Múltiple, fueron las siguientes:

$$6b_0 + 10b_1 + 13b_2 + 15b_3 = 330$$

$$10b_0 + 20b_1 + 25b_2 + 27b_3 = 595$$

$$13b_0 + 25b_1 + 33b_2 + 35b_3 = 770$$

$$15b_0 + 27b_1 + 35b_2 + 39b_3 = 855$$

Resolviendo el sistema de ecuaciones anteriores, se obtuvieron los siguientes resultados para los coeficientes del modelo:

$$b_0 = 32.5$$

$$b_1 = 7.5$$

$$b_2 = 7.5$$

$$b_3 = -2.5$$

Entonces, la ecuación de predicción para estos datos, es la siguiente:

$$Y_p = 32.5 + 7.5X_1 + 7.5X_2 - 2.5X_3$$

En donde:

X_1 son los salarios

X_2 es la capacitación

X_3 son los estímulos

En el caso de los estímulos, se observa que el coeficiente es negativo, lo cual implica que de acuerdo con los datos presentados por las empresas, este factor tiene menos efecto en la variable dependiente y al conjugar los efectos de las 3 variables, son más fuertes los salarios y la capacitación en su influencia sobre el índice de productividad.

Para validar este modelo, se utilizó el Análisis de Correlación; se calcularon los coeficientes de correlación lineal (R) y determinación múltiple (R^2), de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$R^2 = SSR/SST$$

$$SSR = SST - SSE$$

En donde:

SSR es la suma de cuadrados de la regresión.

SST es la suma de cuadrados totales y se calcula como la suma de las diferencias elevadas al cuadrado de cada dato con respecto a la media.

SSE es la suma de cuadrados del error y se calcula como la suma de las diferencias elevadas al cuadrado entre el valor real y el pronosticado con la ecuación de regresión.

Haciendo los cálculos necesarios a partir de los datos obtenidos, se obtuvieron los resultados siguientes:

$$\begin{aligned} SST &= 700 \\ SSE &= 114.5 \\ SSR &= 585.5 \\ R^2 &= SSR/SST = 585.5/700 = 0.8364 \\ R^2 &= 83.64\% \\ R &= \sqrt{SSR/SST} = \sqrt{585.5/700} = \sqrt{0.8364} \\ R &= 0.9145 = 91.45\% \end{aligned}$$

En el caso del resultado de R^2 indica que el 83.64% de la variación en el promedio de la productividad se atribuye a la variación de las variables salarios, capacitación y estímulos, solamente el 16.36% de la variación de la variable dependiente no se atribuye eso; esto implica que el modelo de regresión lineal múltiple es válido para predecir la productividad a partir de las variables independientes mencionadas, dado que, teóricamente, valores de $R^2 = 0.70$ o mayores significan que las variables independientes consideradas en el modelo si afectan el comportamiento de la variable dependiente.

En el caso de R , la interpretación de su resultado señala que la fuerza de la relación o dependencia lineal existente entre las variables, es grande, por lo que si es correcto usar el análisis de regresión para encontrar la relación lineal entre dichas variables y usarla para fines de predicción. Al igual que para el coeficiente de determinación, se considera que valores del coeficiente de correlación iguales o mayores a 70%, indican una relación lineal fuerte.

6. DISCUSIÓN

Analizando los resultados obtenidos, se observa que el personal contratado por las microempresas considera que su trabajo y desempeño no son tomados en cuenta en su justa medida por éstas y que el perfil de ingreso para los puestos, no está debidamente requisitado, razón por la cual, dichos puestos son cubiertos por personas que no tienen los conocimientos ni habilidades necesarias para cubrirlos adecuadamente tanto a nivel de mandos medios como a nivel operativo; se requiere un mayor involucramiento en las necesidades de la empresa y una mayor y mejor capacitación del personal que se contrata. Además los salarios y estímulos no están acordes con las responsabilidades del personal ni con su preparación, siendo esta

otra razón por la cual, presentan una actitud negativa con respecto a mejorar su desempeño laboral.

Con respecto a las empresas pequeñas, también la capacitación es fundamental y la que recibe el personal no es suficiente ni tampoco oportuna, por lo que, es necesario que la empresa vea como una inversión el costo de la capacitación. Los salarios son otro factor que también está influyendo en el comportamiento del personal y que de manera directa, afecta a su rendimiento.

Para validar estos resultados, se continuará con este estudio, aplicando en los meses siguientes un diseño de experimentos que permita extraer información concreta sobre los factores mencionados anteriormente y definir los valores que se deben manejar en éstos, de tal forma que se pueda concluir con certeza, por tamaño de empresa, cuáles, cuántos y en que niveles deben manejarse para mejorar su desempeño y que se refleje en un incremento de la productividad en las empresas de esta zona región del Estado.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados parciales obtenidos hasta ahora, se puede concluir que se tiene con respecto a la productividad de las empresas de la zona centro del Estado, una problemática común por tamaño y por giro.

Por tamaño, se observó que los factores que afectan a las micro y pequeñas empresas son la capacitación, el salario y los estímulos. Está pendiente el análisis para las medianas y grandes.

Se usará otra herramienta estadística, el Diseño de Experimentos Factoriales, para profundizar en el estudio y encontrar los niveles adecuados de los factores mencionados, de tal manera que se pueda mejorar el desempeño del índice de productividad en las empresas fabriles de la zona centro del Estado.

8. AGRADECIMIENTO

La jefatura de proyectos de investigación del Departamento de Ingeniería Industrial del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, agradece al Fondo Mixto de Fomento a la

Investigación Científica y Tecnológica CONACYT–Gobierno del Estado de Tamaulipas, por el apoyo brindado para la realización y publicación de este artículo.

9. LITERATURA CITADA

Ahumada, I. 1987. La Productividad Laboral en la Industria Manufacturera. Nivel y Evolución durante el periodo 1970 – 1981. Secretaria del Trabajo y Previsión Social, México.

Correa, H. 1970. Economía de los Recursos Humanos. Fondo de Cultura Económica, México.

Directorio Industrial del Estado de Tamaulipas. 2007. Gobierno del Estado, Tamaulipas, México.

Hernández, L. E. 1993. Análisis de la Productividad Total de los Factores en Economía Mexicana (Un Enfoque Teórico – Empírico). UNAM, México.

Kendrick, J. W. 1961. Productivity Trends in the United State (for NBER). Princeton University Press, Princeton, N. J., USA.

Kendrick, J. W. y Vaccara, M. 1979. New Development in Productivity Measurement. Mimeo, USA.

Levitan, S. y Werneke, D. 1984. Productivity: Problems, prospects and policies. The John Hopkins University Press, Baltimore, USA.

Marx, K. 1980. El Capital. Siglo XXI Editores, México, España, Argentina.

Mendenhall, W. 1992. Estadística para Administradores. Editorial Iberoamericana, México.

Ricardo, D. 1973. Principio de Economía Política y Tributaria. Fondo de Cultura Económica, México.

Solow, R. 1957. El Cambio Técnico y la Función de Producción Agregada. Fondo de Cultura Económica, México.

Sumanth, D.1979. Productividad Total: la Razón de Producción Tangible entre Insumos Tangibles.

Sumanth, D. 1992. Ingeniería y Administración de la Productividad: Medición, Evaluación, Planeación y Mejoramiento de la Productividad en las Organizaciones de Manufactura y Servicio. Mc Graw – Hill, (1992), México.

IMPLEMENTACIÓN EN HARDWARE RECONFIGURABLE DE UN COPROCESADOR PARA CÁLCULO DE FUNCIONES RESUMEN

M. Morales-Sandoval¹, H. M. Marin-Castro² y B. Alemán-Meza³

Departamento de Tecnologías de Información
Universidad Politécnica de Victoria
{¹mmoraless, ²hmarinc, ³balemanm}@upv.edu.mx

RESUMEN: Este artículo describe el diseño e implementación de un coprocesador para calcular la función resumen (hash) de un mensaje de longitud arbitraria utilizando el algoritmo SHA-1. El coprocesador es ideal para la implementación en un chip de servicios de seguridad de la información, tal como el servicio de integridad, que pueda operar directamente en la capa física de una red. El coprocesador se implementa en hardware reconfigurable utilizando un dispositivo FPGA (Field Programmable Gate Array), por lo que además de obtener un mejor desempeño en términos de tiempo de procesamiento en comparación con una implementación en software, también permite realizar actualizaciones rápidas y de bajo costo de la implementación en comparación con una implementación en un circuito integrado ASIC.

ABSTRACT: This article describes the design and implementation of a coprocessor for computing the hash function of messages of arbitrary length by using the SHA-1 algorithm. The developed coprocessor is well suited to be integrated into a full hardware implementation of information security services such as integrity, operating at the physical layer of a computer network. The coprocessor is implemented in reconfigurable hardware using an FPGA (Field Programmable Gate Array) device which implies not only a better performance in terms of time compared to a software-based solution, but also an easier and cheaper way for updating the coprocessor to support different versions of the same algorithm, as compared to an implementation in an ASIC integrated circuit.

PALABRAS CLAVE: Algoritmo SHA-1, función resumen, Hash, FPGA.

1.- INTRODUCCIÓN

Una función resumen o hash, es un algoritmo que calcula un valor numérico de longitud fija (hash) intrínsecamente relacionado a un mensaje o cuerpo de datos m (Schneier, 1996; Stallings, 2003). A la operación de obtener el valor hash $e(m)$ a partir de un mensaje m se le conoce como *Hashing*. El valor $e(m)$ es la huella digital del mensaje m y el algoritmo de hashing es tal que si $e(m_1) = e(m_2)$, entonces $m_1 = m_2$. El mínimo cambio de un bit en un mensaje m producirá un valor hash asociado completamente distinto. Las funciones hash son de un solo sentido, es decir, dado m es relativamente fácil obtener $e(m)$, pero la operación inversa es computacionalmente difícil. Las funciones resumen se utilizan junto

con algoritmos criptográficos para implementar servicios de seguridad de la información tales como la integridad y la autenticación. Cuando un mensaje m se transmite a través de una red de datos donde el medio de transporte es inseguro, el servicio de integridad se implementa como se describe a continuación:

Por el lado del emisor:

1. Se calcula $e(m)$
2. El valor $e(m)$ se cifra utilizando un algoritmo criptográfico C , resultando el valor $C(e(m))$
3. Se envía el paquete de datos $\{m, C(e(m))\}$, es decir, el mensaje y su huella digital cifrada.

Por el lado del receptor:

1. Se recibe el paquete $\{m', C(e(m))\}$
2. Se descifra $C(e(m))$ utilizando el algoritmo asociado a C para recuperar el valor $e(m)$ original.
3. Se calcula el hash del mensaje recibido $e(m')$
4. El mensaje recibido m' se considera íntegro solo si $e(m') = e(m)$, de lo contrario, el mensaje original m fue corrompido.

Note que del lado del receptor, se denota el mensaje recibido como m' , ya que éste puede no ser el mismo mensaje m que se envió originalmente.

El valor hash de un mensaje también se utiliza para implementar el concepto de firma digital (Schneier, 1996; Stallings, 2003). En este caso, las operaciones criptográficas no se aplican directamente sobre el mensaje m sino sobre su huella digital $e(m)$, la cual es de tamaño menor. Los algoritmos más representativos para hashing son SHA, MD5 y MD4 (Stallings, 2003). El algoritmo SHA-1 (Schneier, 1996; Stallings, 2003) es un algoritmo ampliamente aceptado y recomendado en varios estándares para seguridad de información, como P1363 de la IEEE (SEC1) o ANSI X9.62 (ANSI X9.62-1998).

2.- EL ALGORITMO SHA-1

El algoritmo SHA-1 calcula el valor hash $e(m)$ de un mensaje m como un valor numérico de 160 bits. SHA-1 utiliza una recurrencia lineal para calcular $e(m)$ iterativamente, procesando bloques de datos de 512 bits del mensaje de entrada m . Para un mensaje m cuyo tamaño en bits es igual a $S(m)$, SHA-1 calcula su valor hash en a lo más $T+1$ iteraciones, siendo $T = \lceil S(m)/512 \rceil$. En cada iteración t ($1 \leq t \leq T$) se procesa un bloque de datos D_t de m , y se calcula un valor preliminar de $e(m)$ denotado por $e_t(D_t)$. El valor $e_t(D_t)$ se calcula aplicando 80 iteraciones de procesamiento al valor anterior $e_{t-1}(D_{t-1})$ que involucran operaciones elementales de 32 bits. La recurrencia lineal que utiliza SHA-1 asegura que cada bit del mensaje de entrada afectará las funciones internas de procesamiento al menos una docena de veces. Para el cálculo de $e_t(D_t)$ se utiliza un valor inicial predefinido. El hash del

mensaje m será el resultado de procesar el bloque de datos final, es decir, $e_T(D_T) = e(m)$.

Otras versiones del algoritmo SHA-1 son SHA-2 y SHA-3, que producen un valor hash de 256 y 512 bits respectivamente del mensaje de entrada m .

Inicialmente, el algoritmo SHA-1 realiza un pre-procesamiento sobre el mensaje de entrada m tal como se muestra en la figura 1. Al mensaje m se le concatena el bit '1' y el tamaño del mensaje m expresado en bits como un número de 64 bits. A continuación, se le concatena el número necesario de '0's hasta que el tamaño de m sea un múltiplo de 512. La figura 1 muestra el ejemplo de pre-procesamiento del mensaje $m = 110_2$.

Después del pre-procesamiento al mensaje m , se comienzan a ejecutar las T iteraciones. En cada paso t , $e_t(D_t)$ se expresa como la concatenación del contenido de cinco variables de 32 bits H_0, H_1, H_2, H_3, H_4 y H_5 . El contenido de cada palabra H_j ($0 \leq j \leq 5$) en el paso t se denota como $H_j^{(t)}$. El valor inicial e_0 está dado por los siguientes valores iniciales en las palabras $H_j^{(0)}$ (en base hexadecimal).

$$H_0^{(0)} = 67452301_{16}$$

$$H_1^{(0)} = \text{efcdab89}_{16}$$

$$H_2^{(0)} = 98badcfe_{16}$$

$$H_3^{(0)} = 10325476_{16}$$

$$H_4^{(0)} = \text{c3d2e1f0}_{16}$$

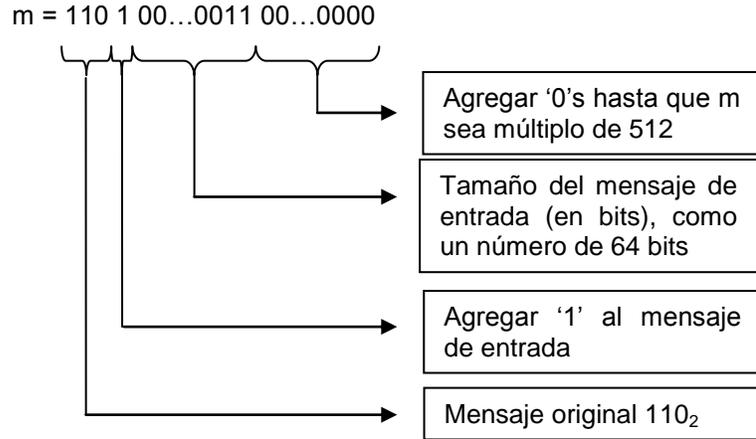


Figura 1. Pre-procesamiento al mensaje de entrada m para calcular la función resumen.

El algoritmo 1 llamado *SHA-1 core* muestra el procedimiento para calcular $e_k(D_i)$ ($1 \leq i \leq T$). *SHA-1 core* realiza 80 iteraciones procesando el bloque de entrada D_i con funciones elementales de 32 bits tales como rotaciones y operaciones lógicas XOR, AND y NOT a nivel de bits. *SHA-1 core* utiliza una recurrencia para generar 80 valores de 32 bits W_k en cada iteración ($0 \leq k \leq 79$) a partir del bloque de entrada D_i , estos valores se utilizan en cada iteración de procesamiento. El bloque de entrada D_i se divide en 16 palabras de 32 bits $M_0 - M_{15}$, las cuales se convierten en las primeras 16 palabras $W_0 - W_{15}$. A partir de estas, se generan las palabras restantes $W_{16} - W_{79}$ mediante la recurrencia lineal siguiente:

$$W_k = \begin{cases} M_k & \text{Si } 0 \leq k \leq 15 \\ \text{ROTL}^1(W_{k-3} \oplus W_{k-8} \oplus W_{k-14} \oplus W_{k-16}) & \text{Si } 16 \leq k \leq 80 \end{cases} \quad \oplus = \text{XOR}$$

El algoritmo *SHA-1 core* utiliza la operación $\text{ROTL}_j(A)$ que significa una operación de rotación circular del valor A en j posiciones.

También utiliza una función f , cuya definición cambia dependiendo del número de iteración k en la cual se encuentre el algoritmo, tal como se muestra a continuación:

$$f_k(D, C, D) = \begin{cases} (B \wedge C) \oplus (\neg B \wedge D) & \text{Si } 0 \leq k \leq 19 \\ B \oplus C \oplus D & \text{Si } 20 \leq k \leq 39 \\ (B \wedge C) \oplus (B \wedge D) \oplus (C \wedge D) & \text{Si } 40 \leq k \leq 59 \\ B \oplus C \oplus D & \text{Si } 60 \leq k \leq 79 \end{cases}$$

$\oplus = \text{XOR}$
 $\neg = \text{NOT}$
 $\wedge = \text{AND}$

Finalmente, el algoritmo *SHA-1 core* utiliza cuatro constantes en el procesamiento de cada iteración, una para cada 20 iteraciones. Los valores de estas constantes son:

$$C_k = \begin{cases} 5A827999_{16} & \text{Si } 0 \leq k \leq 19 \\ 6ED9EBA1_{16} & \text{Si } 20 \leq k \leq 39 \\ 8F1BBCDC_{16} & \text{Si } 40 \leq k \leq 59 \\ CA62C1D6_{16} & \text{Si } 60 \leq k \leq 79 \end{cases}$$

Algoritmo 1. SHA-1 core

Entrada: Bloque de datos D_t de 512 bits
 Salida: $e_t(D_t)$, el valor hash temporal correspondiente a D_t a partir de $e_{t-1}(D_{t-1})$

Inicio:

1. Inicializar A, B, C, D, E con el valor hash del bloque anterior $e_{t-1}(D_{t-1})$

$$\begin{aligned} A &= H_0^{(t-1)} \\ B &= H_1^{(t-1)} \\ C &= H_2^{(t-1)} \\ D &= H_3^{(t-1)} \\ E &= H_4^{(t-1)} \end{aligned}$$

//Realizar 80 iteraciones de procesamiento

Para $k = 0$ hasta 79 hacer

```

Paralelo{
    E = D
    D = C
    C = ROTL30(B)
    B = A
    A=ROTL5(A)+fk(B,C,D)+E+Ck+Wk
}
    
```

//Calcular $e_t(D_t)$

$$\begin{aligned} H_0(t) &= A + H_0^{(t-1)} \\ H_1(t) &= B + H_1^{(t-1)} \\ H_2(t) &= C + H_2^{(t-1)} \\ H_3(t) &= D + H_3^{(t-1)} \end{aligned}$$

Fin

3.- ARQUITECTURA DEL Coprocesador SHA-1

El diagrama general del coprocesador para cálculo de la función resumen se muestra en la figura 2. El coprocesador contiene buses de datos y de control para interactuar con un host externo. El mensaje ingresa al circuito serialmente en bloques de 1, 8, 16 o 32 bits. A medida que los datos se van alimentando al circuito, este los va encolando en una memoria FIFO (*first input, first output*). Cuando un bloque válido de 512 bits está disponible en la memoria FIFO, el circuito procede a calcular $e_t(D_t)$ mientras puede seguir recibiendo datos de entrada y encolarlos en la memoria FIFO. El procesamiento de un bloque de 512 bits involucra 80 iteraciones o ciclos de reloj, por lo que se pueden aceptar 80 datos de entrada durante este periodo. Si la entrada de datos es serial de 1 bit, el cálculo del valor hash del mensaje de entrada se puede realizar al vuelo, y de manera transparente. Por el contrario, si la entrada es serial de 8 o más bits, el circuito debe detener el ingreso de datos hasta que el bloque actual sea completamente procesado. Por ejemplo, si se tienen entradas seriales de 8 bits de información, el host deberá esperar 16 ciclos de reloj para reanudar el envío de datos, tiempo necesario para terminar de calcular el valor $e_t(D_t)$ actual.

La comunicación entre el coprocesador SHA-1 y el host se realiza a través de un protocolo simple de notificación o *handshake* mediante señales de control. La tabla 1 muestra la descripción de los buses de datos y control del coprocesador propuesto SHA-1.

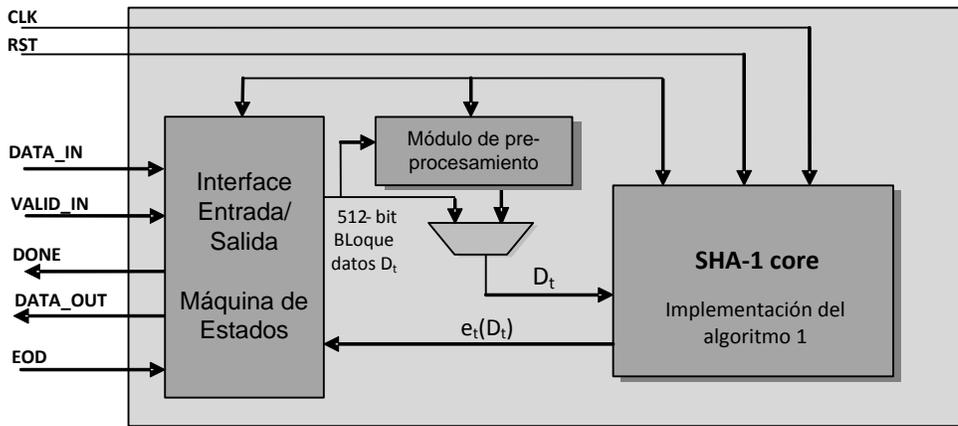


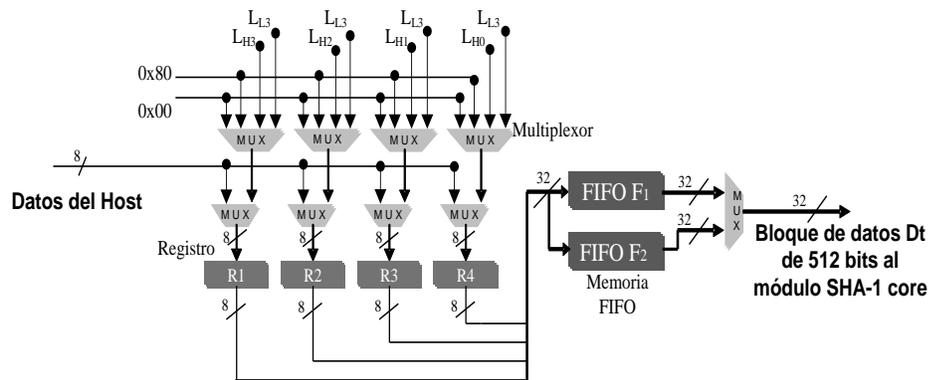
Figura 2. Diagrama general del coprocesador SHA-1

La figura 2 muestra tres bloques principales que conforman la estructura del coprocesador: unidad de control, módulo de pre-procesamiento y el módulo SHA-1 core, que implementa el algoritmo 1.

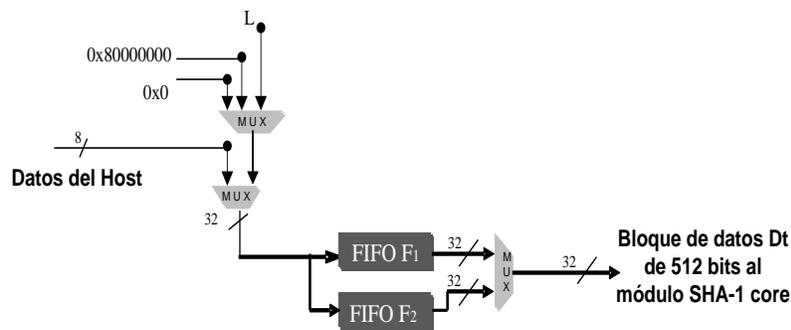
El módulo de control es una máquina de estados finita que se encarga de interactuar con el host y de enviar las señales de control al módulo de pre-procesamiento y al módulo SHA-1 core para el cálculo de $e_i(D_i)$. El módulo de pre-procesamiento es también una máquina de estados que se encarga de realizar la modificación del último bloque a procesar, tal como se mencionó en la sección 2 y se ilustró en la figura 1.

Tabla 1. Descripción de señales de interface entre el coprocesador SHA-1 y un host.

Nombre	Tipo de señal	Descripción
Data in	Entrada	Bus de datos de entrada
hash	Salida	Bus de datos de salida
rst	Entrada	Reinicia al coprocesador para calcular un nuevo hash.
clk	Entrada	Señal de reloj
done	Salida	Notificación de hash $e(m)$ calculado.
Valid_in	Entrada	Indica nuevos datos validos en el bus de entrada.
Ready	Salida	Listo para recibir más datos de entrada.
eod	Entrada	Fin de datos de entrada.



a) Módulo de pre-procesamiento para un bus de entrada de 8 bits.



b) Módulo de pre-procesamiento para un bus de entrada de 32 bits.

Figura 3. Módulo de pre-procesamiento para datos de entrada de 8 bits a) y 32 bits b).

Durante la lectura de datos por parte de la máquina de estados finita, se lleva la cuenta de de los bits de entrada mediante un contador de 64 bits, cuyo valor se agrega al último bloque de datos de m . El módulo de pre-procesamiento puede generar incluso un bloque de datos adicional como resultado de pre-procesamiento del mensaje, como se explicó en la sección 2. La figura 3 muestra el módulo de pre-procesamiento para datos de entrada de 8 y 32 bits.

El módulo que implementa el algoritmo 1 se muestra en la figura 4. Éste módulo es el que determina el área y desempeño del coprocesador. Este módulo implementa la recurrencia lineal para generar las palabras W_k de 32 bits del algoritmo 1. El generador W_k se muestra en la figura 5. Este módulo está basado en registros de corrimiento de 32 bits, una operación XOR a nivel de palabra y una operación de rotación circular a la izquierda. Las primeras dieciséis palabras W_k corresponden a las dieciséis palabras de 32 bits del bloque de datos de entrada D_t . Las palabras W_k restantes se obtienen a partir de la recurrencia lineal.

4.- IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN

El diseño del coprocesador SHA-1 para hashing se realizó en el lenguaje de descripción de hardware HDL (IEEE 1076-2002) utilizando la herramienta ActiveHDL 6.2. La descripción del hardware corresponde a los módulos descritos en la sección 3 y se encuentran organizados en tres bloques: módulo de control, módulo de pre-procesamiento y el módulo SHA-1 core. El módulo de control orquesta el flujo de datos y el cálculo $e_t(D_t)$ para cada bloque de datos D_t . El módulo SHA-1 core se encarga del cálculo de $e_t(D_t)$ a partir de $e_{t-1}(D_{t-1})$ y un bloque de datos D_t del mensaje m . El módulo de pre-procesamiento se encarga de agregar los bits finales al último bloque de datos que vienen del host y asume el control para orquestar el cálculo final de $e(m)$.

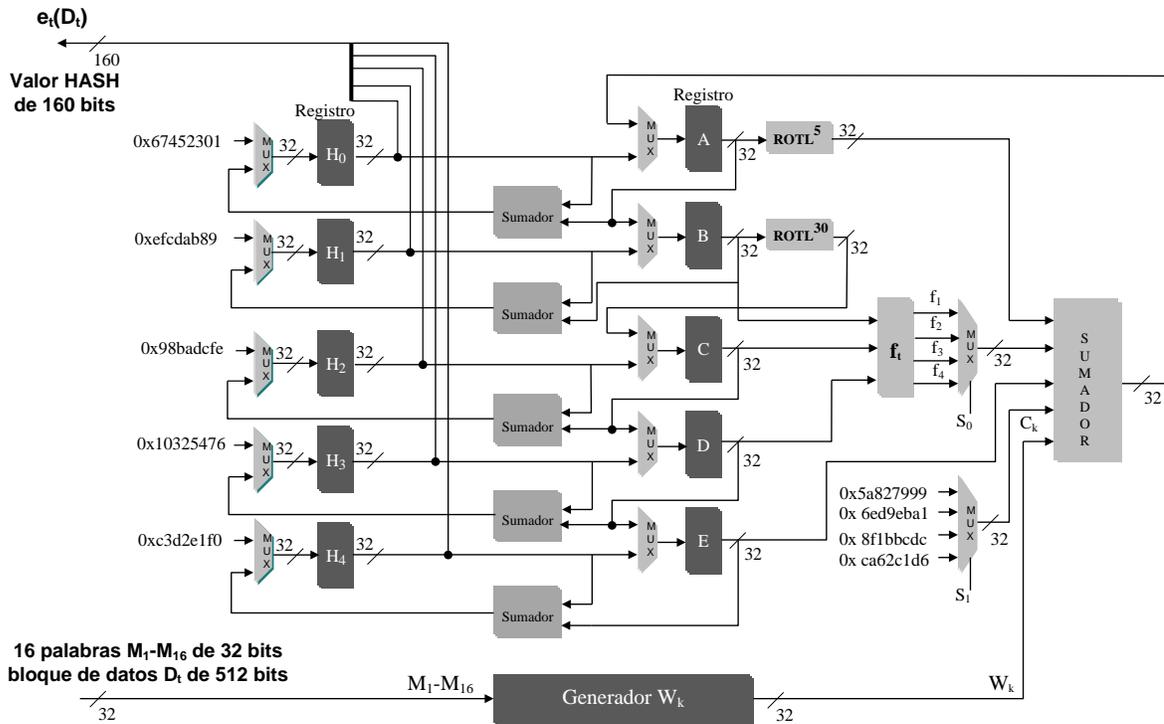


Figura 4. Arquitectura hardware para el cálculo de $e_t(D_t)$.

La descripción del hardware se validó mediante simulación utilizando ActiveHDL 6.2. Esta herramienta permite estimular las entradas del circuito como ocurrirían en la realidad y capturar los resultados y almacenarlos en archivos de texto. La estrategia de validación consistió en implementar un módulo que simulaba la función del host. Los datos de entrada se tomaban un byte a la vez desde un archivo de texto. El host interactuaba con el coprocesador de acuerdo a las señales de control descritas en la sección 3. Cuando todos los bytes del archivo de entrada eran leídos, se enviaban las señales correspondientes al coprocesador y se esperaba hasta que el coprocesador estableciera la señal done en alto, indicando así el cálculo final $e(m)$ como un valor de 160 bits presente en la salida del coprocesador. Se realizaron varias simulaciones y los resultados de estas se compararon con resultados obtenidos de una implementación del algoritmo SHA-1 en Java.

Tras validar el diseño en HDL, el coprocesador fue sintetizado e implementado para un dispositivo reconfigurable FPGA (*Field Programmable Gate Array*) de la familia Xilinx, el Virtex4 (Xilinx Inc. 2007). Se utilizaron las herramientas Xilinx ISE 8.2i para el proceso de síntesis e implementación. El circuito se verificó “*in circuit*” al implementar el diseño en la tarjeta de prototipado ML403 de Xilinx (Xilinx Inc. 2006). Los resultados obtenidos de la implementación en hardware se validaron comparándolos con resultados obtenidos de una implementación propia del algoritmo SHA-1 en Java.

5.- RESULTADOS

Los recursos utilizados por el diseño propuesto para cálculo de funciones resumen en el dispositivo FPGA Virtex 4 se muestran en las tablas 2 y 3. La tabla 2 muestra los componentes detectados para la herramienta de síntesis e implementados utilizando la lógica reconfigurable del FPGA. La unidad básica de hardware reconfigurable en el FPGA es el *slice*, el cual permite implementar dos funciones binarias combinacionales de 4 entradas, memorias de 1x16, registros de 1 bit o multiplexores de 1 bit.

**16 palabras M_1-M_{16} de 32 bits
Bloque de datos de 512 bits**

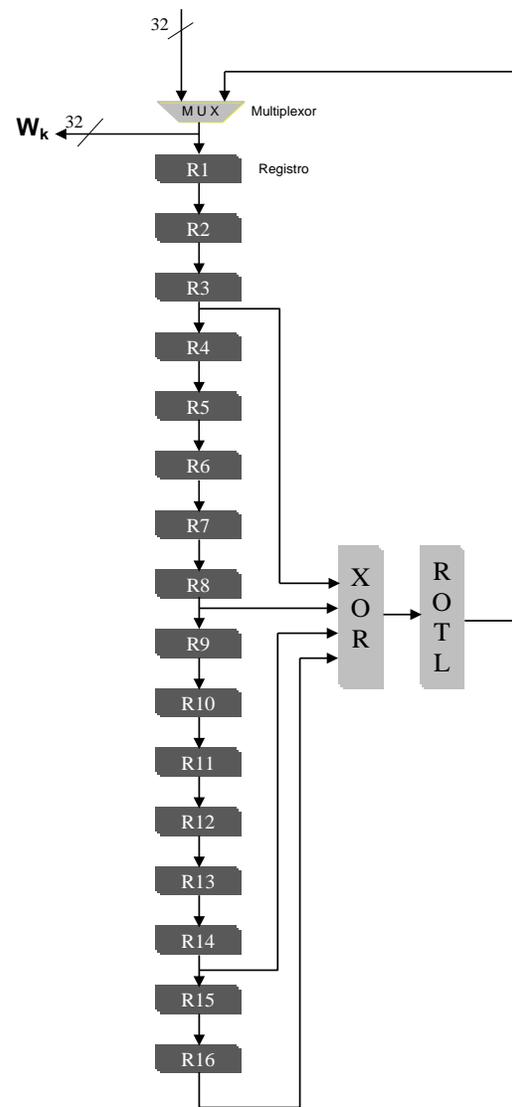


Figura 5. Control para la generación de las palabras W_k en el algoritmo SHA-1.

Una combinación de los *slices* permite implementar componentes más complejos como registros, comparadores, contadores o registros de corrimiento. Los *slices* utilizados por el FPGA y la frecuencia de operación del diseño se muestran en la tabla 3.

Tabla 4. Comparación de implementaciones en FPGA del algoritmo SHA-1.

Referencia	FPGA	Desempeño	Frecuencia de operación	#ciclos/bloque
Yong <i>et al.</i> , 2002	Altera EP20K100 0EBC652	114 Mbps	18 MHz	81
Diez <i>et al.</i> , 2002	Virtex 2V3000	899.8 Mbps	-	-
Grembowski <i>et al.</i> , 2002	Virtex XCV1000	462 Mbps	75.8 MHz	-
		530 Mbps	87 MHz	
Amphion, 2002	Virtex-II	350 Mbps	56 MHz	-
CAST Inc., 2002	Virtex-II XCV2V500	498.4 Mbps	79 MHz	-
Alma Tech., 2002	Virtex-II	644 Mbps	102 MHz	-
Alfredo-Badillo, 2004	Virtex II XC2V1000	1109 Mbps	47 MHz	20
Este trabajo	Virtex4	994 Mbps	155 Mhz	80

Tabla 2. Componentes hardware utilizados en la implementación del coprocesador SHA-1.

Componente	Cantidad
Máquinas de estados	5
Sumadores/Restadores	20
Contadores	2
Flip-Flops(Para implementar registros)	2597
Comparadores	20

Tabla 3. Recursos y frecuencia de operación del coprocesador SHA-1 en el FPGA Virtex4.

Recursos del FPGA	Cantidad utilizada
Slices	2193 de 5472 (40%)
IOBs	15 de 320 54%
Frecuencia	155.45 MHz

Para entradas de datos de 1 bit, el coprocesador tiene un desempeño de 155 Mbps (Megabits por segundo) con cálculo de la función hash al vuelo y de manera transparente. El coprocesador esperaría 512 ciclos para almacenar el primer bloque de 512 bits en la memoria FIFO, en este momento se inicia el cálculo de $e_i(D_i)$ en 80 ciclos mientras la FIFO acumula el siguiente bloque de 512 bits. Para entradas de 8 bits o superiores, el

coprocesador procesa en promedio 6.4 bits por ciclo de reloj, ya que procesa 512 bits en 80 ciclos. Tomando en cuenta la frecuencia de operación del circuito, el desempeño del coprocesador sería de $(512/80) \times 155 = 994$ Mbps, un valor muy cercano a la razón de transferencia de las redes de alta velocidad de 1Gbps (Giga bit por segundo).

La tabla 4 muestra una comparación de los resultados obtenidos en este trabajo con implementaciones en FPGA del algoritmo SHA-1 reportadas en la literatura.

Los resultados del coprocesador presentados en este trabajo son superiores a los reportados en los trabajos (Yong *et al.*, 2002; Diez *et al.*, 2002; Grembowski *et al.*, 2002; Amphion, 2002; CAST Inc., 2002). En el caso del trabajo (Grembowski *et al.*, 2002), no se realiza el formateo del mensaje de entrada, algo que es indispensable para generar el hash correcto del mensaje, ya que como se ha explicado, el cambio de un solo bit del mensaje de entrada produce un valor hash totalmente diferente. En el caso de [15], aunque se reporta un tiempo de procesamiento de 1Gbps, el circuito tampoco realiza el formateo del mensaje de entrada. En ambos casos, en (Grembowski *et al.*, 2002; Alfredo-Badillo *et al.*, 2004), la arquitectura se valida a nivel de procesamiento del bloque de 512 bits, sin tomar en cuenta todos los

aspectos involucrados para la lectura del mensaje (interface con el host) y el cálculo del hash del mensaje completo, que implica varias consideraciones de control en la arquitectura hardware. Además, el trabajo en (Alfredo-Badillo *et al.*, 2004) supone entradas y salidas paralelas dando como resultado la utilización de 261 IOBs (Pines de entrada y salida del FPGA). Aunque el trabajo (Alfredo-Badillo *et al.*, 2004) reduce el cálculo de $e_i(D_i)$ a 20 ciclos, incrementa el consumo de área, ya que se necesitan hacer cuatro réplicas del algoritmo SHA-1 core. Este incremento en el consumo de área y complejidad del circuito se ve reflejado en la frecuencia de operación, que se reduce a 47 MHz.

6.- CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

En este trabajo se discutió el diseño e implementación en hardware reconfigurable de un coprocesador SHA-1 para el cálculo de funciones resumen o huella digital de un cuerpo de datos m . Las funciones resumen permiten obtener una representación única más pequeña que el cuerpo de datos original m , al mismo tiempo que permiten implementar el servicio de integridad de información. El coprocesador SHA-1 se diseñó desde un enfoque modular utilizando herramientas de diseño e implementación de alto nivel como Active HDL e ISE. El enfoque modular permitió obtener una frecuencia de operación alta, que permite un desempeño de operación superior a trabajos reportados en la literatura. El coprocesador SHA-1 se acopla a un host para calcular de principio a fin el valor hash de un cuerpo de datos m de longitud arbitraria. A diferencia de otros trabajos, el coprocesador SHA-1 reportado en este trabajo obtiene un desempeño de procesamiento superior, muy cercano a 1Gbps.

El coprocesador SHA-1 puede utilizarse para implementar otros servicios de seguridad en hardware como la autenticación, a través del concepto de la firma digital (*Digital Signature Algorithm*) o de algoritmos MAC (*Message Authentication Code*). Como trabajo futuro se planea diseñar e implementar arquitecturas hardware para estos algoritmos reutilizando u optimizando el coprocesador SHA-1 discutido en este trabajo.

7.- LITERATURA CITADA

- Alma Technologies. 2002. Hoja de especificaciones técnicas.: SHA-1 High Performance Hash Function. Disponible en http://www.alma-tech.com/Data-Sheets/SHA-1_pre_sales.pdf
- Alfredo-Badillo I., Cumplido-Parra R. y Feregrino, C. 2004. "Rondas Parcialmente Desenrolladas para Implementaciones a 1 Gpbs en FPGA de los Algoritmos SHA-1 y MD5". XIII International Congress on Computing, 13-15 Oct, México DF.
- American Bankers Association, "ANSI X9.62-1998. Public Key Cryptography for the Financial Services Industry: The Elliptic Curve Digital Signature Algorithm (ECDSA).
- Amphion. 2002. Hoja de especificaciones técnicas.: CS5316 High Performance SHA1/MD5 Hashing Algorithm Core. disponible en <http://www.amphion-semi.com/acrobat/DS5316.pdf>
- CAST, Inc. 2002. Hoja de especificaciones técnicas.: SHA-1 Processor. Disponible en http://www.cast-inc.com/sha-1/cast_sha-1.pdf
- Diez J. M., Bojanić S., Stanimirović, L. Carreras, C. y Nieto-Taladriz, O. 2002. Hash Algorithms for Cryptographic Protocols: FPGA Implementations, 10th Telecommunications Forum TELFOR 2002, Belgrade, Yugoslavia.
- Grembowski T., Lien, R., Gaj, K., Nguyen, N., Bellows, P., Flidr, J., Lehman T. y Schott, B. 2002. Comparative Analysis of the Hardware Implementations of Hash Functions SHA-1 and SHA-512, Information Security, 5th International Conference on Information Security, páginas 75-89
- IEEE 1076-2002. IEEE Standard VHDL Language Reference Manual, 2002.
- NIST. 2008. "FIPS 180-3: Secure Hash Standard (SHS)." <http://csrc.nist.gov/publications/fips>

SEC1. 2007. "Elliptic Curve Cryptography: Standards for Efficient Cryptography Group." <http://www.secg.org>.

Schneier, B. 1996. Applied Cryptography. NY: John Wiley & Sons.

Stallings, W. 2003. Cryptography and Network Security. NJ: Prentice Hall.

Xilinx Inc., 2006. ML401/ML402/ML403 Evaluation Platform, User Guide, UG080. www.xilinx.com

Xilinx Inc. 2007. Virtex4 Family Overview, Data Sheet, DS112 (v2.0). <http://www.xilinx.com>

Yong K. K., Dae W. K., Taek W. K., Jun R. C. 2002. An Efficient Implementation of Hash Function Processor for IPSec, The Third IEEE Asia-Pacific Conference on ASICs, Taipei, Taiwan, p. 93-96.



Instituto Tecnológico de Cd. Victoria

División de Estudios de Posgrado e Investigación

Maestría en

CIENCIAS EN BIOLOGÍA



Especialidad:

Manejo y Conservación de Recursos Naturales (Terrestres o Acuáticos)

Maestría en Ciencias en Biología

PERFIL

El programa está diseñado para egresados de la carrera de biología o afines como médicos veterinarios, ingenieros agrónomos, ingenieros ambientales e ingenieros forestales. Podrán participar egresados de otras carreras con la aprobación del consejo de posgrado.

REQUISITOS DE INGRESOS Y DOCUMENTACIÓN

- Presentar solicitud por escrito justificando su ingreso a la Maestría en Ciencias en Biología.
- Copia (s) de título profesional, certificado de calificaciones, diploma (s) y constancias de otros estudios.
- Constancia de promedio mínimo de 8 (ocho) en estudios de licenciatura.
- Presentar currículum vitae con copias de documentos que amparen el mismo.
- Comprender el idioma inglés.
- Carta de recomendación de un investigador reconocido.
- Carta de aceptación de un maestro asesor del programa de maestría.
- Dos fotografías tamaño credencial.
- Acreditar el examen de admisión.
- Carta compromiso para asegurar el término en 2 años de los estudios de maestría.
- Involucrarse en proyectos de investigación.
- Entrevista con el comité de posgrado.
- Ser estudiante de tiempo completo.

PLAN DE ESTUDIOS

El programa está diseñado para concluirse en 2 años y consta de 5 materias básicas, 6 optativas y elaboración de una tesis.

Áreas disponibles actualmente para investigación y desarrollo de tesis:

Entomología, Malacología, Micología, Mastozoología, Ciencias Forestales (Biodiversidad, Sistemática, Ecología y Fisiología).

PLANTA DOCENTE

-Almaguer Sierra Pedro, M.C. UAAAN.
Conservación de Suelos y Agrometeorología.

-Barrientos Lozano Ludivina, Ph.D. University of Wales College of Cardiff. Reino Unido.
Entomología Aplicada.

-Correa Sandoval Alfonso, Dr. UNAM
Malacología y Ecología Marina.

-Escamilla Gallegos Oscar S., Dr. U.A.T.
Nutrición y Forrajes.

-Flores Gracia Juan, M.C. UAT
Genética y Biotecnología.

-García Hernández Jorge, M.C. UANL
Ecología Forestal.

-García Jiménez Jesús, M.C. UANL
Micología y Parasitología Forestal.

-González Gaona Othon J., Dr. ITESM.
Entomología y Toxicología.

-Guevara Guerrero Gonzalo, Dr. UANL.
Biotecnología y Micología.

-Horta Vega Jorge V., Dr. CINVESTAV-IPN
Neurociencias y Entomología.

-Moreno Valdez Arnulfo, Ph.D. Texas A & M University, USA
Ecología y Conservación de Mamíferos.

INFORMES

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. VICTORIA División de Estudios de Posgrado e Investigación

Bld. Emilio Portes Gil No. 1301 Cd. Victoria, Tam.
C.P. 87010 Apdo. Postal 175
Tels. (834) 31 3 06 61, 3 06 62 Fax (834) 31 3 36 46
Pág.: <http://www.itvictoria.edu.mx/>
E-mail: ludivinab@yahoo.com



**CONVOCATORIA PARA PUBLICAR EN TecnoINTELECTO: TÍTULO CON MAYÚSCULAS
DEBIDAMENTE ACENTUADAS, EN NEGRITAS, CENTRADO, ARIAL 10,
INTERLINEADO SENCILLO**

Autor(es) Arial 10 puntos, itálica, centrado, interlineado sencillo; principia con la inicial del nombre y apellidos completos, separados por un guión, sin grado académico, más de un autor separados con comas e indicadores para los datos siguientes: Institución(es) en 10 Arial, en itálico y centrado, interlineado sencillo, correo electrónico de los autores centrado, interlineado sencillo

RESUMEN: Deberá ser lo más general y significativo posible, de manera que en pocas palabras exprese la aportación más relevante del artículo. Letra tipo Arial de 10 puntos, interlineado sencillo y espaciado anterior de 8 puntos y posterior de 6, iniciando con la palabra **RESUMEN** en negritas. Texto con alineación ajustada en todo el artículo. Si el artículo está en español, adjuntar el resumen inglés.

PALABRAS CLAVE: Colocar las palabras (tres a cinco) más significativas en el artículo, no repetir palabras del título, fuente de 10 puntos, dejando un espacio entre el párrafo anterior.

ABSTRACT: The abstract shall be as general and substantial as possible, in such a way that provides in a few words a clear idea of the paper's contribution. Please use Arial font 10 points, single space, space above 8 points and below 6 points, begin text with the word **ABSTRACT** in bold face. All text through the paper must be aligned to fit page. If paper is in Spanish abstract shall be in English.

KEY WORDS: Please use the most (three to five) significant words, font of 10 points, leaving a space between the preceding paragraphs.

1.- INTRODUCCIÓN

Los criterios para la revisión técnica son contribución importante a la divulgación científica, métodos empleados adecuados, presentación de datos correcta, soporte del manuscrito con literatura relevante, discusión suficiente o necesaria. Además, figuras y tablas adecuadas. El manuscrito pasará al comité editorial quien dictaminará si contiene el mínimo indispensable para ser publicado, lo cual se notificará vía electrónica en formato PDF.

2.- CARACTERÍSTICAS

El cuerpo del artículo en dos columnas con 0.6 cm entre ellas y todos sus márgenes de 3 cm. Cada sección deberá contener un título numerado con formato de párrafo espaciado anterior de 12 y posterior de 6 puntos. La fuente de todo el manuscrito es Arial. En el cuerpo de 10 puntos, interlineado sencillo, con secciones numeradas con números arábigos.

2.1. Idioma Español o inglés.

2.2. Subsecciones

Las subsecciones en formato tipo título, negritas, interlineado sencillo y espaciado anterior y posterior de 6 puntos.

2.3. LAS GRÁFICAS Y TABLAS

Serán en **escala de grises** y se ajustarán de acuerdo a las características de ellas y al gusto del investigador. Deberán ser posicionadas de acuerdo a la necesidad del investigador y bajo su responsabilidad.

3.- LINEAMIENTOS

Los artículos deberán ser inéditos. Cada trabajo deberá presentarse en un mínimo de 5 y un máximo de 10 páginas. De 5 páginas se considerarán artículos cortos y se publicarán a recomendación del comité editorial.

4.- RESPONSABILIDADES

El investigador es responsable del contenido, la sintaxis y el envío de su artículo en Word a la coordinación editorial actual de TecnoINTELECTO: ludivinab@yahoo.com, ludibarrientos@prodigy.net.mx. El Instituto Tecnológico de Cd. Victoria será responsable de la revisión y aceptación o rechazo de los manuscritos, la edición de la revista, el índice, la impresión y distribución, apoyándose en el Comité Editorial y otras instituciones, si lo considera pertinente.

Los artículos que no se ajusten a las normas editoriales serán rechazados para su adecuación.

5.- FECHAS IMPORTANTES

Recepción de noviembre a enero y de junio a agosto. Respuesta y observaciones, desde su recepción hasta marzo o septiembre según corresponda. Publicación abril y octubre y su distribución en julio y enero

6.- LITERATURA CITADA

6.1. Referencias en texto

Sin numerar, solo citar apellido(s) según el caso y el año separado por una coma, si son más citas separar por punto y coma; dos autores se separan "y" y si son más de dos autores solo se pondrá el apellido(s) del primer autor seguido de "et al.,".

Al final, listar en orden alfabético sin numeración. Autor (es) iniciando con apellido (s) seguido por la inicial del nombre (s), si es el caso puede escribir los dos apellidos separados por un guión. Año. Título del artículo. Nombre de la Revista Volumen y número de páginas, tipo Arial, 10 puntos, interlineado sencillo.

Artículo científico

Armenta, C. S., H. Bravo y R. Reyes. 1978. Estudios bioecológicos de *Epilachna varivestis* Mulsant, bajo condiciones de laboratorio y campo. *Agrociencia* 34: 133-146.

Ávila-Valdez, J., L. Barrientos-Lozano y P. García-Salazar. 2006. Manejo Integrado de la Langosta centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker) (Orthoptera: Acrididae) en el sur de Tamaulipas. *Entomología Mexicana*. 5: 636-641.

Libro o Tesis

Jaffe K., J. Lattke y E. Pérez. 1993. El mundo de las hormigas. Equinoccio Ediciones. Universidad Simón Bolívar, Venezuela. 196 pp. En el caso de tesis señalar después del título si es profesional o de grado.

Capítulo de libro:

Navarrete-Heredia J. L. y A. F. Newton. 1996. Staphylinidae (Coleoptera). pp. 369-380. *In*: J. E. Llorente-Bousquets, A. N. García-Aldrete y E. González-Soriano (Eds.). Biodiversidad,

Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento. Instituto de Biología, UNAM, México, D. F.

Nota: Los autores deben apegarse a las normas editoriales señaladas arriba.

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria

División de Estudios de Posgrado e Investigación-Coordinación Editorial
TecnolNTELECTO. Dra. Ludivina Barrientos Lozano. ludivinab@yahoo.com
ludibarrientos@prodigy.net.mx