

SUBSECRETARÍA DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DIRECCIÓN GENERAL DE EDUCACIÓN  
SUPERIOR TECNOLÓGICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD.  
VICTORIA



SEP

# TecnoINTELECTO

Órgano de Divulgación Científica

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

Una Publicación del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria

Volumen 7

No. 1

Abril 2010

ISSN 1665-983X

## CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

- Estudio preliminar sobre la Quiroptero fauna del cañón de "La Peregrina", Municipio de Victoria, Tamaulipas, México. *Arriaga-Flores J.C.*.....1
- Pérdida de masa en la madera de cuatro especies forestales de Durango por exposición a dos tipos de sustrato. *Nájera-Luna J.A., García-Ramírez P., Vargas-Larreta B., De La Cruz-Carrera R., Hernández F.J y Aguirre-Calderón C.G.*.....9
- Revisión del género *Schistocerca* Stål (Acrididae: Cyrtacanthacridinae) en el Noreste de México. *Barrientos-Lozano L., Díaz-Sánchez Á. A., Rocha-Sánchez A. Y. y Méndez-Gómez B. R.*.....14
- Contribución al conocimiento de la Población de La Chihua, *Eugerres plumieri* Cuvier, 1830 (Perciformes, Gerreidae) en el Área Natural Protegida "Santuario del Manatí", Quintana Roo, México. *Sánchez-Ceballos L. D.*.....25

## INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

- Análisis del sistema de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios (Eco Eficiencia). *Pérez-Arriaga E., Garza-Flores R., Canales-Caballero S. y Guevara-Guerrero M.* .....33
- Thermal and mechanical stress distribution on a frame 7e turbine first stage air-cooled blade. *Palacios-Pineda L. y Mazur Z.*..... 40
- Estudio comparativo del Impacto del uso del software educativo "Alice" en la enseñanza de la programación orientada a objetos. *Martínez-Guerra S.I., Ramírez-Gil M.P., García-Mundo L.C. y Vargas-Enríquez J.A.*.....48
- Construction of binary covering arrays using simulated annealing. *Covarrubias-Flores E., Torres-Jiménez J., Rodríguez-Tello E., Rangel-Valdez N. e Infante-Ventura R.*.....57

## 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, Dr.

Barrientos Lozano Ludivina, Ph. D.

Correa Sandoval Alfonso, Dr.

Horta Vega J. Víctor, Dr.

#### INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA

**Ph. D. Marco Antonio Arjona**

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah.

**Ph. D. Alberto Álvarez Castillo**

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Zacatepec. Zacatepec, Mor.

**Ph. D. Alejandro Enrique Dzul López.**

División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de la Laguna. Torreón, Coah.

**Ph. D. 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

**Ph. D. 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.

**Dr. 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 Victor Horta Vega.**

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

**Ph. D. 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.

**Dr. Pedro Almaguer Sierra**

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

**Dr. Fidel Blanco Macías**

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

**Ph. D. Humberto Rodríguez Fuentes**

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

**Ph. D. 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. Boulevard Emilio Portes Gil No. 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: Blanca Rosa Méndez Gómez & Aurora Yazmín Rocha Sánchez. Envío de documentos, consultas y sugerencias al correo electrónico: [ludivinab@yahoo.com](mailto:ludivinab@yahoo.com), [judibarrientos@prodigy.net.mx](mailto:judibarrientos@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. 7 No. 1. Cd. Victoria, Tamaulipas, México.



Consúltanos en el Índice Latinoamericano [www.latindex.org](http://www.latindex.org) y en el Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias PERIÓDICA [www.dgb.unam.mx/periodica.html](http://www.dgb.unam.mx/periodica.html)



## *EDITORIAL*

**TecnoINTELECTO**, una revista de divulgación científica resultado del esfuerzo de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria con el apoyo del Comité Editorial y la administración del plantel, se ha permitido con regularidad y con cierto equilibrio, en parte de los artículos publicados hasta el momento, un mayor énfasis en el carácter técnico-científico, sin descuidar el de la divulgación propiamente.

Es decir, ha logrado incidir no sólo en el aspecto de la difusión de la ciencia sino también en el de la expresión del conocimiento científico original o de nueva generación, lo que le ha permitido llegar a un mayor número de instituciones e investigadores.

Dada la antigüedad, extensión y áreas del conocimiento que se desarrollan en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, es necesario que estos esfuerzos de mantener vigentes publicaciones periódicas continúen, y que además, se multipliquen.

En este número se agradece la contribución de los autores del Instituto Tecnológico de El Salto, Durango, (ITES); del Instituto Tecnológico de Chetumal, Quintana Roo; el Instituto Tecnológico de Pachuca, Hidalgo y del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, Tamaulipas.

En la espera permanente de contribuciones, reiteramos que las normas editoriales para publicar en **TecnoINTELECTO** pueden consultarse al final de este número.

*COMITÉ EDITORIAL*  
*TecnoINTELECTO*

## ESTUDIO PRELIMINAR SOBRE LA QUIROPTEROFAUNA DEL CAÑÓN DE “LA PEREGRINA”, MUNICIPIO DE VICTORIA, TAMAULIPAS, MÉXICO

J. C. Arriaga-Flores

Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Blvd. Emilio Portes Gil N° 130, C.P. 87010  
Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.  
lasionycteris@hotmail.com

**RESUMEN:** Este estudio reporta la presencia de 23 especies de murciélagos pertenecientes a 15 géneros y 5 familias asociadas al bosque de galería en el cañón de “La Peregrina”, Municipio de Victoria, Tamaulipas, México. Estas representan el 40.3% de las especies registradas para el estado de Tamaulipas y el 16.7% del total de especies conocidas para México. La distribución zoogeográfica de nueve especies es Neártica y la de catorce es Neotropical. Las especies *Sturnira liliium*, *Desmodus rotundus* y *Sturnira ludovici* fueron las más abundantes, representando el 59.50% del total de individuos colectados. Se registra por segunda ocasión en Tamaulipas y México al murciélago pelo plateado (*Lasionycteris noctivagans*) el cual se encuentra bajo protección especial según NOM-059-ECOL-2001.

**PALABRAS CLAVE:** Murciélagos, *Lasionycteris noctivagans*, Cañón de “La Peregrina”, Tamaulipas.

**ABSTRACT:** This study reports the presence of 23 species of bats belonging to 15 genera and 5 families associated with the riparian forest in “La Peregrina” canyon, Cd. Victoria, Tamaulipas, Mexico. They represent 40.3% of the species recorded for the state of Tamaulipas and 16.7% of total species known from Mexico. The zoogeographic distribution of nine species is Nearctic and the distribution of four is Neotropical. The species *Sturnira liliium*, *Desmodus rotundus* and *Sturnira ludovici* were the most abundant, representing 59.50% of total individuals collected. The second record of silver-haired bat (*Lasionycteris noctivagans*) is reported for Tamaulipas and Mexico, which is a species considered under special protection according to NOM-059-ECOL-2001.

**KEY WORDS:** Bats, *Lasionycteris noctivagans*, “La Peregrina” Canyon, Tamaulipas.

### 1. INTRODUCCIÓN

A pesar de ser el segundo orden de mamíferos más diverso del mundo, los murciélagos son muy poco conocidos y mucho menos apreciados por la sociedad; esta mala fama es injusta ya que nos aportan grandes beneficios ecológicos que son muy poco valorados, como el control de plagas agrícolas, la polinización de flores y la dispersión de semillas de plantas que son aprovechadas por el ser humano; es por eso que merecen nuestro respeto (Aguirre, 2007).

Tamaulipas es el estado del norte de México con la mayor diversidad de mamíferos y el tercero a nivel nacional, albergando a 148 especies de las 525 reportadas para el país (Ceballos y Oliva, 2005). Dado a que se ubica en una zona de transición entre las regiones Neártica y Neotropical, en el estado cerca de

32 especies tropicales alcanzan su límite norte, mientras que seis boreales su límite sur (Moreno-Valdez y Vásquez-Farías, 2005).

El orden de mamíferos mejor representado en el estado de Tamaulipas es el de los murciélagos. Estudios sobre la quiropteroфаuna en el estado, como los de Villa (1967), Hall (1981), Wilson *et al.* (1985) y Moreno-Valdez y Vásquez-Farías (2005); reportan 57 especies pertenecientes a cinco familias (Molossidae, Mormoopidae, Vespertilionidae, Phyllostomidae y Natalidae), aunque existe el registro fósil de un miembro de la familia Emballonuridae (*Balantiopteryx io*). Esta riqueza representa el 41.6% de las 137 especies de murciélagos registradas en el país (Arriaga-Flores, 2010).

El cañón de “La Peregrina” es de gran interés para hacer estudios sobre murciélagos ya que cuenta con una gran disponibilidad de recursos vegetales, una variación del clima conforme a

las estaciones del año, un cuerpo de agua con afluencia constante, y una topografía accidentada que permite la presencia de refugios; estos elementos proporcionan gran viabilidad al sitio para el establecimiento de una comunidad de murciélagos.

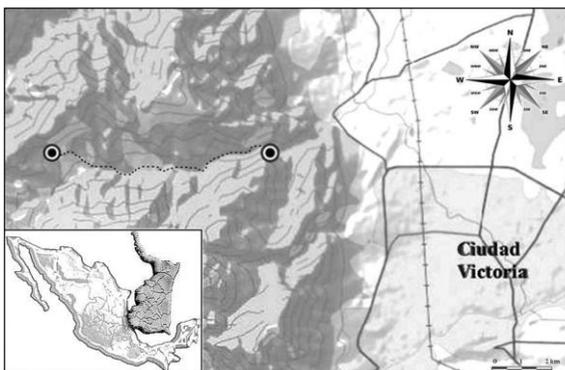
No existen antecedentes publicados acerca de la quiropteroфаuna en esa área; por lo tanto el objetivo de este trabajo es proporcionar un inventario de las especies de murciélagos distribuidas a través del cañón de “La Peregrina”, información sobre la abundancia de sus individuos y la diversidad en los tipos de gremios tróficos.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Descripción del Área de Estudio

El área de estudio se encuentra en la parte central del estado de Tamaulipas, sobre la vertiente del Golfo de México, al este de las estribaciones de la Sierra Madre Oriental, dentro del “Área Natural Protegida Altas Cumbres”, en el cañón de “La Peregrina”, Ejido La Libertad, Municipio de Victoria (Figura 1).

El transecto de muestreo se localiza entre las coordenadas N 23° 46' 39" W 99° 12' 26" y N 23° 45' 52" W 99° 17' 03", con un gradiente altitudinal que va desde los 350 msnm hasta los 500 msnm y una longitud de 7 km aproximadamente. En la zona se presenta un clima semicálido subhúmedo con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 24°C. y la precipitación anual fluctúa de 717.3 mm a 1,058.8 mm. A través del cañón corre el río “Los Troncones” o “San Felipe”, el cual es pequeño y de flujo permanente (Arriaga-Flores, 2010).



**Figura 1.** Ubicación del transecto de muestreo (puntos) a través del cañón de “La Peregrina”

(línea punteada), Municipio de Victoria, Tamaulipas, México. (Mapa modificado de: <http://explorer.arcgis.com>).

De acuerdo a García (2009) en el sitio se presentan siete tipos de vegetación conforme aumenta el gradiente altitudinal; a lo largo de las estribaciones de la SMO se encuentra el matorral submontano, constituido por especies arbustivas (*Cordia boissieri*, *Leucophyllum frutescens*) como dominantes y algunas alcanzan tamaños considerables (*Acacia farnesiana*, *Prosopis laevigata*); el bosque tropical subcaducifolio presenta una estructura compleja con presencia de estratos arbóreos (*Ficus sp.*, *Juglans sp.*, *Pithecellobium ebano*), arbustivos y herbáceos, acompañados por una buena cantidad de epífitas, trepadoras, lianas o bejucos que le dan el carácter fisonómico de una selva o bosque tropical; el bosque de encino incluye especies esclerófilas (de hojas duras), principalmente árboles de 4 a 8 m (*Quercus rhizophylla*, *Q. laurina*, *Q. polymorpha*) en uno o dos estratos y pudiendo ubicarse o no estratos arbustivos y/o herbáceos en el sotobosque; el bosque de encino-pino es una formación vegetal transicional entre los bosques de encino y de pino fisonómicamente dominada por árboles con alturas de hasta 15–18 m de especies de pino (*Pinus teocote*) mezcladas con especies de encino (*Quercus spp.*); el bosque de pino se ubica en las partes más altas de la SMO dominado por árboles de más de 15 m siempre verdes, con hojas como agujas, la especie dominante es *Pinus teocote*.; el bosque de galería enmarca el cauce del río y se encuentra conformado por especies ligadas obviamente a lugares con altos contenidos de humedad; está caracterizado por árboles (*Platanus mexicana*, *Taxodium mucronatum*, *Cephalantus salicifolius*, *Carya sp.* y *Salix sp.*), aunque los arbustos de la vegetación colindante pueden aparecer dentro de su estructura, un estrato herbáceo aparece establecido en los márgenes del río; el palmar es común observarlo acompañando al bosque de encino, en manchones intermitentes de *Sabal sp.*, muy vistosos por el porte de sus individuos, sobresaliendo de la copas de los árboles dominantes.

### 2.2 Metodología

Se realizaron 20 visitas al área de estudio con estancia de una noche cada una, de Marzo de 2009 a Marzo de 2010 para cubrir la variación

estacional seca y lluviosa. Los murciélagos se capturaron utilizando de una a dos redes de niebla de 2.5 m de alto por 12 m de largo (solo en cuatro ocasiones se utilizaron dos redes) las cuales se colocaron sobre el cauce del río ya que es un sitio donde existe una mayor probabilidad de captura. Se calculó el esfuerzo de captura por cada salida realizada mediante la ecuación:  $E = (m \cdot h/n)$ . Donde:  $m$  = número de redes totales,  $h$  = número de horas totales y  $n$  = número de noches totales (Pérez-Torres y Cortés-Delgado, 2009). En cada punto de muestreo se tomaron datos como fecha de colecta, número de sitio, fase lunar, porcentaje de luminosidad y temperatura ambiente.

La hora de apertura de las redes fue a partir de las 18:00 h hasta las 07:00 h; se revisaban a intervalos de una hora con el fin de retirar a los murciélagos y analizarlos; para cada ejemplar se registró la especie, hora de captura, sexo, peso (g), medidas somáticas (mm), edad (basada en la osificación de las falanges) y estado reproductivo de hembras (i.e. estado de las glándulas mamarias: no visibles, largas o lactantes; preñez), y machos (i.e. posición de los testículos: escrotados o abdominales).

En relación a la abundancia relativa se clasificó a las especies como abundantes si se capturaron más de 16 individuos, comunes si eran de 6 a 15 y raras si las capturas eran menores de 5 ejemplares (Chávez y Ceballos, 2001). Los murciélagos se ubicaron dentro de cuatro gremios tróficos de acuerdo a su tipo principal de alimentación: insectívoros, frugívoros, nectarívoros y hematófagos (Ceballos y Oliva, 2005).

Fueron preparados 22 individuos como piel y cráneo de acuerdo a la técnica de Villa (1967) para conformar una colección de referencia, la cual se encuentra depositada temporalmente en el Laboratorio de Zoología del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. En la identificación de los ejemplares se utilizaron las claves de campo para murciélagos de México de Medellín *et al.* (1997) y se corroboró con Hall (1981) y Álvarez *et al.* (1994); en cuanto al acomodo taxonómico se basó en Ramírez-Pulido *et al.* (2005).

### 3. RESULTADOS

El estudio se concluyó con un esfuerzo de 374.4 horas-red. Se capturaron un total de 200 individuos pertenecientes a 5 familias, 15 géneros y 23 especies de murciélagos, asociadas al bosque de galería (Apéndice 1). De acuerdo a la literatura consultada y a los resultados de este estudio, esto representa el 40.3 % de las especies reportadas para el estado de Tamaulipas y el 16.7% de las registradas en México (Villa, 1967; Hall, 1981; Wilson *et al.*, 1985; Moreno-Valdez y Vásquez-Farías, 2005; Ceballos y Oliva, 2005).

La familia Phyllostomidae es la mejor representada con cinco géneros y diez especies; la familia Vespertilionidae presentó cuatro géneros y nueve especies; se encontraron dos géneros y tres especies de la familia Moormopidae; en la familia Molossidae dos géneros y dos especies y de la familia monogenérica Natalidae se registró un solo ejemplar.

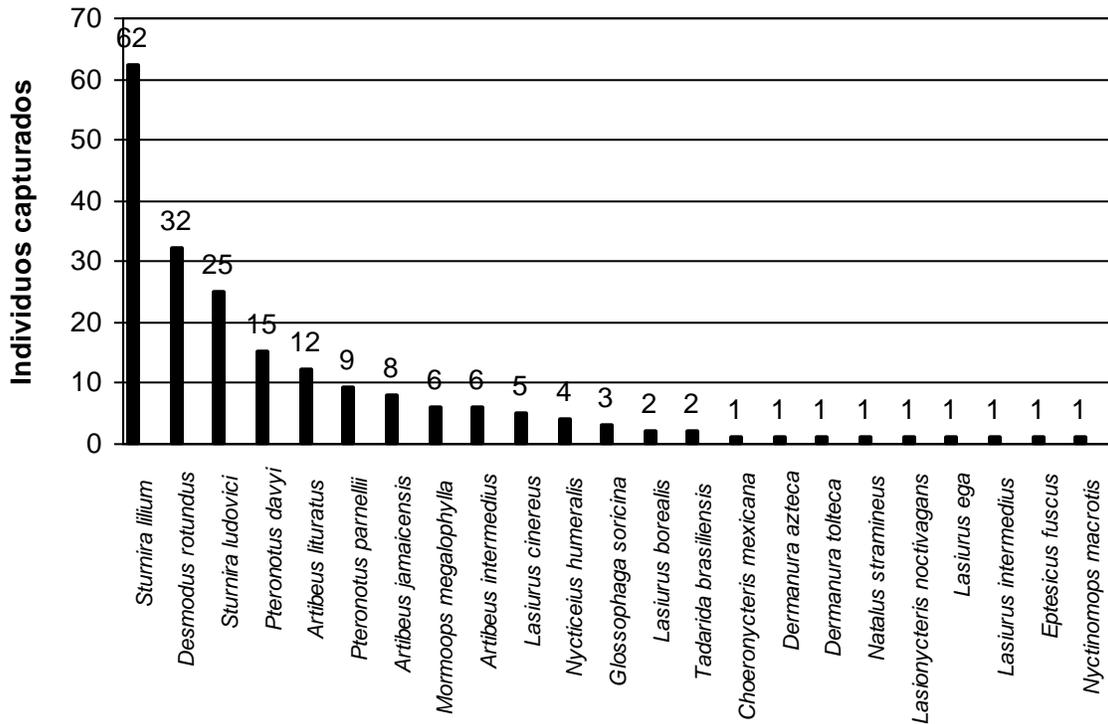
Al analizar la abundancia relativa se encuentra a tres especies (*Sturnira liliium*, *Desmodus rotundus* y *Sturnira ludovici*) como abundantes, representando el 59.50% de la muestra total; seis especies (*Mormoops megalophylla*, *Pteronotus davyi*, *Pteronotus parnellii*, *Artibeus jamaicensis*, *Artibeus intermedius* y *Artibeus lituratus*) fueron comunes y 14 especies (*Choeronycteris mexicana*, *Glossophaga soricina*, *Dermanura azteca*, *Dermanura tolteca*, *Natalus stramineus*, *Lasionycteris noctivagans*, *Lasiurus borealis*, *Lasiurus ega*, *Lasiurus intermedius*, *Lasiurus cinereus*, *Eptesicus fuscus*, *Nycticeius humeralis*, *Nyctinomops macrotis* y *Tadarida brasiliensis*) resultaron raras (Figura 2).

De las 23 especies registradas nueve tienen una distribución de origen Neártica y 14 son de origen Neotropical (Iñiguez, 1993). La captura de algunas especies representan registros importantes; la colecta de *Lasionycteris noctivagans* constituye el segundo registro tanto en Tamaulipas como para México, después de 33 años del primero realizado por Yates *et al.* (1976) en la Sierra de San Carlos, Tamaulipas (Schmidly y Hendricks, 1984), además este registro representa el límite más sureño del área de distribución de la especie (Kunz, 1982); la captura de *Dermanura azteca* entre los 350 y 400 msnm representa el registro

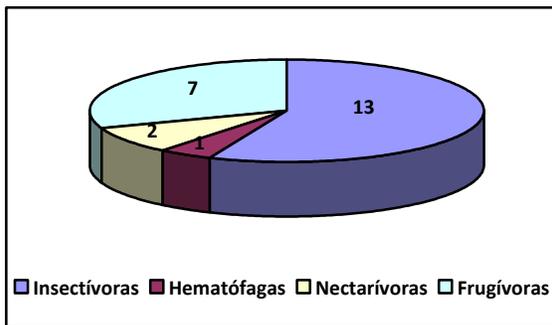
a menor altitud de la especie (Webster y Jones, 1982; López y Ayala, 2005).

La proporción de especies por gremios tróficos fue: 13 (56.52%) especies son insectívoras, siete (30.43%) son frugívoras, dos (8.69%) son

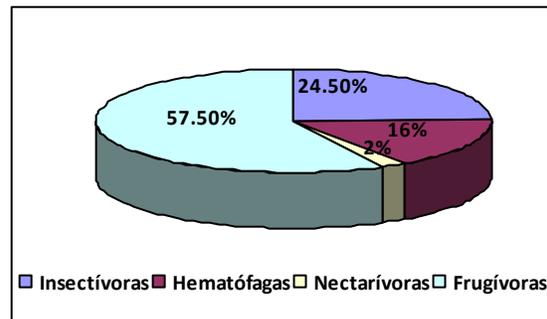
nectarívoras y una (4.34%) es hematófaga (Figura 3). En cuanto al número de individuos por gremio trófico se obtuvo que 115 (57.50%) son frugívoros, 49 (24.50%) son insectívoros, 32 (16%) son hematófagos y cuatro (2%) son nectarívoros (Figura 4).



**Figura 2.** Histograma sobre la abundancia relativa de las especies de murciélagos capturadas en el cañón de “La Peregrina”, Municipio de Victoria, Tamaulipas, México. El número sobre cada barra indica el número de individuos capturados por especie.



**Figura 3.** Riqueza de especies por gremios tróficos de los murciélagos capturados en el cañón de “La Peregrina”.



**Figura 4.** Proporción de individuos por gremios tróficos de los murciélagos capturados en el cañón de “La Peregrina”.

#### 4. DISCUSIÓN

La comunidad de murciélagos del cañón de “La Peregrina” posee una diversidad relativamente

baja; el estudio arrojó la presencia de pocas especies abundantes y una mayor cantidad de raras. Se considera que este resultado está influenciado principalmente por la reducida extensión del área muestreada y por la técnica de colecta utilizada, ya que esta es adecuada solamente para muestrear especies que usan el sotobosque, pero ineficiente para las que vuelan en el dosel; por lo tanto, al incrementar el área de estudio y diversificar las técnicas de colecta, el muestreo será más uniforme y aumentaría la diversidad y riqueza de especies.

La posición geográfica del estado de Tamaulipas en una zona donde coinciden las regiones Neártica y Neotropical, refleja el porqué en el área estudiada se distribuyen especies con afinidad para ambas regiones zoogeográficas. Se capturó en tierras relativamente bajas a *Dermanura azteca*, especie neotropical y el registro más sureño de *Lasionycteris noctivagans*, especie neártica; resultados que probablemente son consecuencia del uso de los sistemas montañosos como corredores faunísticos y otra opción sugiere que los hábitats ocupados por las especies podrían ser más extensos de lo que se pensaba (López-González y García-Mendoza, 2006).

Se encontró que los murciélagos frugívoros representaron la mayor proporción de individuos en la colecta; esta abundancia se debe a que las especies se adaptan fácilmente a áreas perturbadas y su dieta a base de frutos, es sostenida por plantas que se distribuyen ampliamente en la zona; un ejemplo son las plantas de los géneros *Piper spp.* y *Ficus spp.* cuyos frutos son consumidos principalmente por murciélagos de los géneros *Sturnira spp.* y *Artibeus spp.* (Flores-Martínez *et al.*, 1999; Téllez-Girón y Amín, 2005; Morim y Nobre, 2009; Pérez-Torres y Cortés-Delgado, 2009).

Una baja incidencia en el número de especies nectarívoras podría deberse a su hábito alimenticio tan especializado y a que las plantas de las cuales obtienen polen y néctar como *Ipomea sp.* y *Cordia sp.* (Arita y Martínez del Río, 1990) se encuentran en baja proporción y también a la variación en los períodos de floración que presentan estas.

La especie hematófaga *Desmodus rotundus* obtuvo altos niveles de abundancia; es

considerada una plaga que parasita al ganado del cual se alimenta (Greenhall *et al.*, 1983) y dado a que en el área se presenta actividad ganadera, esto les proporciona una fuente segura de alimento.

Los murciélagos insectívoros presentaron la mayor diversidad en cuanto a especies, pero no son los más abundantes; esto probablemente sucede porque poseen un sistema de sonar bien desarrollado para localizar a los insectos en pleno vuelo, por lo tanto fácilmente detectan las redes, además que prefieren moverse a niveles de dosel y otra causa podrían ser los movimientos migratorios que realizan, principalmente especies de la familia Vespertilionidae la más diversa en el estado (Moreno-Valdez, 1996; Chávez y Ceballos; 2001; Moreno-Valdez y Vásquez-Farías, 2005; Dos Reis *et al.*, 2007; Arriaga-Flores, 2010).

## 5. CONCLUSIÓN

Las especies de murciélagos del cañón de “La Peregrina” se presentan en gran cantidad como raras y pocas como abundantes; lo que nos sugiere que de aumentar esfuerzos en trabajo de campo se podría muestrear adecuadamente la diversidad en una mayor extensión del sitio. Aún se desconocen aspectos en la ecología de esta comunidad de murciélagos; como ejemplo los nuevos registros obtenidos para *Dermanura azteca* y *Lasionycteris noctivagans* (Figura 5); sin embargo, estudios como este proporcionan información básica para entender estos procesos a largo plazo.

La presencia en el área de dos especies con alguna categoría dentro de la NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT, 2002); como el murciélago trompudo mexicano (*Choeronycteris mexicana*), una de las especies polinizadoras más importante de México bajo amenaza de extinción y el murciélago pelo plateado (*Lasionycteris noctivagans*) que se encuentra bajo protección especial; además el murciélago cola libre mexicano (*Tadarida brasiliensis*) cuyas poblaciones se encuentran en un alarmante declive; dan relevancia a la generación de implicaciones para la conservación de la riqueza mastofaunística de la región y sus hábitats potenciales.



**Figura 5.** Murciélago pelo plateado *Lasionycteris noctivagans*. Presenta un característico pelaje oscuro con algunas puntas plateadas. (Fotografía del autor).

## 6. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a las autoridades del Parque Recreativo “Los Troncones” por las facilidades brindadas para realizar el estudio. Al Dr. A. Moreno-Valdez por proporcionarme la literatura especializada. A H. de la Rosa y A. Sánchez por su apoyo en el trabajo de campo. Al revisor por los comentarios realizados al manuscrito.

## 7. LITERATURA CITADA

Aguirre, L. F. (Ed.) 2007. *Historia Natural, Distribución, y Conservación de los murciélagos de Bolivia*. Centro de Ecología y Difusión Simón I. Patiño. Santa Cruz, Bolivia. 416pp.

Álvarez, T., S. T. Álvarez Castañeda y J. C. Lopez-Vidal. 1994. *Claves para Murciélagos Mexicanos*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste, S.C. y Escuela Nacional de Ciencias Biológicas., I.P.N. México. 65 pp.

Arita, H. T. y C. Martínez del Río. 1990. Interacciones flor-murciélago: un enfoque zocéntrico. *Publicaciones Especiales 4*. Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México.

Arriaga-Flores J. C. 2010. *Notas ecológicas acerca de los murciélagos capturados en*

*un transecto del cañón de “La Peregrina”, Ejido La Libertad, Municipio de Victoria, Tamaulipas, México*. Tesis de Licenciatura. Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Tamaulipas, México. 123 pp.

Ceballos, G. y Oliva G. (coords). 2005. *Los mamíferos silvestres de México*. FCE, CONABIO. México. 986 pp.

Chávez, G. y G. Ceballos. 2001. Diversidad y abundancia de murciélagos en selvas secas de estacionalidad contrastante en el oeste de México. *Revista Mexicana de Mastozoología* 5: 27-44.

Dos Reis, N. R., A. Peracchi, W. Pedro y I. de Lima (Ed.). 2007. *Morcegos do Brasil*. Universidade Estadual de Londrina. Rio de Janeiro, Brasil. 253 pp.

Flores-Martínez, J.J., J. Ortega y G. Ibarra-Manríquez. 1999. El hábito alimentario del murciélago zapotero (*Artibeus jamaicensis*) en Yucatán. *Revista Mexicana de Mastozoología* 4: 22-39.

García, J. 2009. Cañón la Peregrina, Guía de Campo para identificar tipos de Vegetación. *Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria*. Tamaulipas, México. 2 pp.

Greenhall, A. M., G. Joermann, U. Schmidt y M. R. Seidel. 1983. *Desmodus rotundus*. *Mammalian Species*. 202:1-6.

Hall, E. R. 1981. *The Mammals of America*. John Wiley and Sons. 2<sup>nd</sup> Ed. USA. 1181pp.

Iñiguez, L. 1993. Patrones Ecológicos en la Comunidad de Murciélagos de la Sierra de Manantlán. Pp.355-370 en: *Avances en el Estudio de los Mamíferos de México*. (Medellín R. y G. Ceballos, Eds.). Publicaciones Especiales, Vol. 1, Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C., México. 464 pp.

Kunz, T. H. 1982. *Lasionycteris noctivagans*. *Mammalian Species*. 172:1-5.

López, G. y M. Ayala. 2005. *Dermanura azteca*. Pp. 240-241 en: *Los mamíferos silvestres*

- de México. (Ceballos, G. y G. Oliva, coords). FCE, CONABIO. México. 986 pp.
- López-González, C. y D. García-Mendoza. 2006. Murciélagos de la Sierra Tarahumara, Chihuahua, México. *Acta Zoológica Mexicana* (ns) 22(2):109-135.
- Medellín R., Arita, H. y Sánchez-Hernández, O. 1997. Identificación de los murciélagos de México: claves de campo. *Publicaciones especiales No. 2. Asociación Mexicana de Mastozoología AC*. México. 83pp.
- Medellín, R. 1993. Estructura y Diversidad de una Comunidad de Murciélagos en el Trópico Húmedo Mexicano. Pp. 331-354, en: *Avances en el Estudio de los Mamíferos de México*. (Medellín R. y G. Ceballos, Eds.). Publicaciones Especiales, Vol. 1, Asociación Mexicana de Mastozoología, A.C., México. 464 pp.
- Moreno-Valdez, A. 1996. Murciélagos de Nuevo León, nuestros invaluable aliados. Grupo Imsa, México. 95 pp.
- Moreno-Valdez, A. y E. Vásquez-Farías. 2005. Los mamíferos terrestres de Tamaulipas. Pp. 213-219 en *Biodiversidad Tamaulipeca Vol. 1* (Barrientos L.L., A. Correa S., J. V. Horta V. & J. García J., eds.). Dirección General de Educación Superior Tecnológica – Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria, Tamaulipas, México. 272 pp.
- Morim, R. y C. Nobre. 2009. Dieta de *Artibeus lituratus* (Olfers, 1818) em área urbana na cidade do Riode Janeiro: frugivoria e novo registro de folivoria. *Chiroptera Neotropical* 15 (2): 487-493.
- Pérez-Torres, J. y N. Cortés-Delgado. 2009. Murciélagos de la Reserva Natural de “La Montaña del Ocaso” (Quindío, Colombia). *Chiroptera Neotropical* 15 (1): 456-460.
- Ramírez-Pulido, J., J. Arroyo-Cabrales y A. Castro-Campillo. 2005. Estado actual y relación nomenclatural de los mamíferos terrestres de México. *Acta Zoológica Mexicana* (ns) 21:21-82.
- Schmidley, D. y F. Hendricks. 1984. Mammals of the San Carlos Mountains in Tamaulipas, Mexico. Pp 15-69, en: Contributions in Mammalogy in Honor of Robert L. Packard (R. E. Martin and B. R. Chapman, Eds.). *Special Publications of the Museum Texas Tech University*, 22: 1-234.
- Secretaría de Medio Ambiente Recurso Naturales (SEMARNAT). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001, Protección ambiental-Especies nativas de México de Flora y Fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. *Diario Oficial de la Federación*. 6 de marzo del 2002.
- Téllez-Girón, G. y M. Amin. 2005. *Sturnira lilium*. Pp. 247-248 en: *Los mamíferos silvestres de México*. (Ceballos, G. y G. Oliva, coords). FCE, CONABIO. México. 986 pp.
- Téllez-Girón, G. y G. Ceballos. 2005. *Natalus stramineus*. Pp. 255-257 en: *Los mamíferos silvestres de México*. (Ceballos, G. y G. Oliva, coords). FCE, CONABIO. México. 986 pp.
- Villa, B. 1967. *Los murciélagos de México. Su importancia en la Economía y la Salubridad. Su clasificación Sistemática*. Instituto de Biología, UNAM, México, D.F. 491 pp.
- Webster, W.D. y J. K. Jones, Jr. 1982. *Artibeus aztecus*. *Mammalian Species*. 177:1-3.
- Wilson, D. E., Medellín R., Dirk V. L. y H. T. Arita. 1985. Los Murciélagos del Noreste de México, con una lista de especies. *Acta Zoológica Mexicana* (ns) 8:1-26.
- Yates, T. L., D. J. Schmidly y K. L. Culbertson. 1976. Silver-haired bat in México. *Journal of Mammalogy*, 57:205.

**Apéndice 1.** Clasificación taxonómica de las 23 especies de murciélagos capturados en el cañón de “La Peregrina” (Ramírez-Pulido *et. al.*, 2005). Se incluye la distribución zoogeográfica y gremio trófico correspondiente a cada especie (Iñiguez, 1993; Ceballos y Oliva, 2005).

ORDEN	FAMILIA	SUBFAMILIA	ESPECIE	DISTRIBUCION	GREMIO
Chiroptera	Mormoopidae		<i>Pteronotus davyi</i> Gray, 1838	Neotropical	Insectívoro
			<i>Pteronotus parnellii</i> (Gray, 1843)	Neotropical	Insectívoro
			<i>Mormoops megalophylla</i> Peters, 1864	Neotropical	Insectívoro
Phyllostomidae	Desmodontinae		<i>Desmodus rotundus</i> (É. Geoffroy, 1810)	Neotropical	Hematófago
		Glossophaginae	<i>Glossophaga soricina</i> (Pallas, 1766)	Neotropical	Nectarívoro
	Stenodermatinae		<i>Choeronycteris mexicana</i> Tschudi, 1844	Neotropical	Nectarívoro
			<i>Sturnira lilium</i> (É. Geoffroy, 1810)	Neotropical	Frugívoro
			<i>Sturnira ludovici</i> Anthony, 1924	Neotropical	Frugívoro
			<i>Artibeus intermedius</i> J. A. Allen, 1897	Neotropical	Frugívoro
			<i>Artibeus jamaicensis</i> Leach, 1821	Neotropical	Frugívoro
			<i>Artibeus lituratus</i> (Olfers, 1818)	Neotropical	Frugívoro
			<i>Dermanura azteca</i> (Andersen, 1906)	Neotropical	Frugívoro
			<i>Dermanura tolteca</i> (de Saussure, 1860)	Neotropical	Frugívoro
Molossidae		<i>Tadarida brasiliensis</i> (L. Geoffroy, 1824)	Neártica	Insectívoro	
		<i>Nyctinomops macrotis</i> (Gray, 1839)	Neártica	Insectívoro	
Vespertilionidae		<i>Lasiurus borealis</i> (Müller, 1776)	Neártica	Insectívoro	
		<i>Lasiurus cinereus</i> (P. de Beauvois, 1796)	Neártica	Insectívoro	
		<i>Lasiurus ega</i> (Gervais, 1856)	Neártica	Insectívoro	
		<i>Lasiurus intermedius</i> H. Allen, 1862	Neártica	Insectívoro	
		<i>Lasionycteris noctivagans</i> (Le Conte, 1831)	Neártica	Insectívoro	
		<i>Nycticeius humeralis</i> (Rafinseque, 1818)	Neártica	Insectívoro	
		<i>Eptesicus fuscus</i> (P. de Beauvois, 1796)	Neártica	Insectívoro	
Natalidae		<i>Natalus stramineus</i> Gray, 1838	Neotropical	Insectívoro	

## PÉRDIDA DE MASA EN LA MADERA DE CUATRO ESPECIES FORESTALES DE DURANGO POR EXPOSICIÓN A DOS TIPOS DE SUSTRATO

J. A. Nájera-Luna<sup>1</sup>, P. García-Ramírez<sup>2</sup>, B. Vargas-Larreta<sup>1</sup>, R. De La Cruz-Carrera<sup>1</sup>, F.J Hernández<sup>1</sup> y C.G. Aguirre-Calderón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de El Salto (ITES). Mesa del Tecnológico s/n El Salto Pueblo Nuevo, Durango, México. C.P 34942. [jalnajera@yahoo.com.mx](mailto:jalnajera@yahoo.com.mx), [vlbene@gmail.com](mailto:vlbene@gmail.com), [r.d.lc@hotmail.com](mailto:r.d.lc@hotmail.com), [fcohernan@yahoo.com.mx](mailto:fcohernan@yahoo.com.mx), [g\\_aguirremx@yahoo.com](mailto:g_aguirremx@yahoo.com). <sup>2</sup>Programa de Maestría en Ciencias en Desarrollo Forestal Sustentable ITES, [garp820203@hotmail.com](mailto:garp820203@hotmail.com)

**RESUMEN:** Se realizó un estudio para conocer la pérdida de masa en la madera de *Pinus ayacahuite*, *P. durangensis*, *Quercus laeta* y *Q. sideroxylla* de la región de El Salto, Durango mediante la exposición de probetas de madera a dos diferentes tipos de sustratos: suelo mineral y aserrín y cortezas en descomposición. Las probetas de madera estuvieron enterradas por un periodo de dos años. Los resultados mostraron un efecto directo de los tipos de sustratos en la pérdida de masa, siendo mayor en la madera expuesta al aserrín y cortezas en descomposición, mientras que no se observaron diferencias en la pérdida de masa entre los géneros *Pinus* y *Quercus*. En lo referente a las especies evaluadas, *Pinus ayacahuite* expuesto al sustrato de aserrín y cortezas en descomposición observó la mayor pérdida de masa en la madera, en contraparte, *Pinus durangensis* expuesto al suelo mineral mostró la menor pérdida de masa en la madera. Con lo anterior, se busca generar información sobre la durabilidad natural de la madera de especies de importancia comercial de la región de El Salto, Durango.

**PALABRAS CLAVE:** Durabilidad natural, biodegradación, madera, El Salto Durango.

**ABSTRACT:** A study was carried out to know the mass loss in the wood of *Pinus ayacahuite*, *P. durangensis*, *Quercus laeta* and *Q. sideroxylla* of the region of El Salto, Durango by means of the wood specimens with exposition to two types of substrates: mineral soil and litter of sawdust and bark. The wood specimens were buried for two years. The results showed a direct effect of the substrates on the mass loss, being greater in the wood exposed to the litter sawdust and bark, while no differences were observed in the mass loss between *Pinus* and *Quercus* sp. On the other hand, *Pinus ayacahuite* exposed to litter sawdust and bark observed the greater mass loss, while *Pinus durangensis* exposed to the mineral soil showed the smaller mass loss. This work aims to generate information on the natural durability of commercial wood species of El Salto, Durango.

**KEY WORDS:** Natural durability, biodegradation, wood, El Salto Durango.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los agentes degradadores de la madera pueden ser bióticos y abióticos, siendo los primeros relevantes por ser los más efectivos en el proceso de degradación, dentro de ese grupo se encuentran insectos, hongos, bacterias, algas y xilófagos marinos, dentro de los factores abióticos se pueden citar, la acción de la lluvia, los vientos, la radiación solar y las condiciones de uso (Trevisan *et al.*, 2008; Paes *et al.*, 2009; Lunz y Carvalho, 2002). La madera se encuentra dentro de los materiales biológicos de más difícil descomposición debido a la estructura anatómica y presencia de grandes cantidades de sustancias recalcitrantes como la lignina y otros

compuestos de metabolitos secundarios (Aprile *et al.*, 1999). Algunas especies maderables han desarrollado la propiedad de producir sus propias líneas químicas de defensa mediante los extractivos (Arango *et al.*, 2006). Una de las principales propiedades de la madera es la susceptibilidad a ser atacada por organismos xilófagos; las maderas con elevada durabilidad natural ante el ataque de esos organismos se destacan para un amplio espectro de utilización y consecuentemente son más valoradas (Oliveira *et al.*, 2005). La constitución química de la madera es muy variable entre las especies, incluso hasta en un mismo árbol lo que determina un mayor o menor grado de resistencia al ataque de organismos

biológicos, siendo el duramen más resistente que la albura (Carballeira y Milano, 1986). Con relación a la pudrición causada por el ataque de enzimas producidas por hongos, Seabright (1995, citado por Oliveira *et al.*, 2005), afirma que ésta es producida a partir de varios biocatalizadores donde cada una de esas sustancia desarrolla funciones específicas como la aceleración y el control de reacciones bioquímicas. Entre los hongos responsables de la pudrición de la madera se destaca la clase de los basidiomicetos los cuales son responsables de la pudrición parda y blanca en la madera, ocurriendo en la primera de estas la descomposición de los polisacáridos de la pared celular provocando que la madera atacada presente una coloración residual parduzca, en tanto que en la pudrición blanca se degrada, tanto a los polisacáridos como a la lignina, en este caso la madera adquiere un color más claro. Santos (1992), menciona que la madera atacada por hongos presenta una alteración en sus composiciones químicas, reducción en su resistencia mecánica, disminución de masa, modificaciones de color natural y mayor probabilidad de ataques de insectos comprometiendo sus cualidades y utilización para fines tecnológicos. La resistencia natural del duramen en los árboles se debe principalmente a la deposición de sustancias fungotóxicas en las paredes celulares durante su transformación de albura a duramen, por otra parte, la albura, pierde esos extractivos tóxicos y es generalmente mas susceptible al ataque de organismos (Esllyn y Highley, 1976). El conocimiento sobre la resistencia natural de la madera al ataque de organismos xilófagos, se torna en un requisito muy importante para su correcta utilización además de aportar información valiosa para proponer acciones encaminadas a disminuir su descomposición (Trevisan *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2004). Debido a la falta de información sobre la durabilidad natural de la madera, el presente trabajo tiene por objetivo estimar la pérdida de masa en la madera por exposición prolongada a diferentes sustratos en cuatro especies de importancia forestal de la región de El Salto, Durango.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Ubicación del área de estudio

El presente trabajo se realizó en el vivero forestal del Instituto Tecnológico de El Salto

Durango, el cual se encuentra en el kilómetro 102 de la carretera Durango a Mazatlán. Geográficamente se localiza en las coordenadas 23°47'18.8" de latitud norte y los 105°22'03.2" de longitud oeste en la Sierra Madre Occidental en la subprovincia denominada Gran Meseta y Cañones Duranguenses. La temperatura media anual para la región varía de 11.4 a 11.7°C, la mínima se registra para el mes de enero con 6.5 a 7.3°C, las máximas se presentan en el mes de julio con 15.3 a 16.2°C. La precipitación media anual es de 1,200 mm. Por su ubicación geográfica, la zona presenta diversas condiciones de vegetación encontrándose masas puras de encino, pino y en su mayor parte bosques mezclados de pino-encino (TIA, 1998).

### 2.2 Muestreo y selección

Se utilizaron 72 probetas de madera que consistieron en cubos de 2.5 cm por lado, 12 probetas correspondieron a la madera de *Pinus ayacahuite*, 12 a *Pinus durangensis*, 24 probetas a *Quercus laeta* y 24 a *Quercus sideroxylla*. Las probetas fueron secadas en estufa a 102°C hasta alcanzar peso constante. El 50% de probetas por especie fueron colocados en forma estratégica en dos diferentes tipos de sustratos los cuales consistieron en suelo mineral y en una mezcla de aserrín y cortezas en proceso de descomposición. Las probetas estuvieron expuestas a los sustratos desde el 17 de mayo de 2005 al 19 de febrero de 2007. La profundidad de exposición de las probetas fue de 30 cm en ambos casos. Transcurrido el periodo, se procedió a su recuperación para ser secadas y pesadas nuevamente en una báscula de precisión, una vez obtenido su peso seco, se determinó la pérdida de masa mediante la ecuación utilizada por De Oliveira *et al.*, (2005).

$$Pm = \frac{Pi - Pf}{Pi} * 100$$

Donde:

*Pm*= Pérdida de masa en %

*Pi*= Peso inicial absolutamente seco (antes de la exposición al sustrato) en gramos.

Pf= Peso final absolutamente seco (después de la exposición al sustrato) en gramos.

### 2.3 Procesamiento de datos

Para evaluar la existencia de diferencias significativas de la pérdida de masa por género y tipos de sustratos, se realizó la prueba de T Student a un nivel de significancia de 0.05. Mientras que para evaluar las diferencias de la pérdida de masa entre especies, se realizó la prueba de rangos múltiples de Duncan a un nivel de significancia de 0.05. El proceso del análisis de datos se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System) Versión 9.1 (SAS, 2002).

## 3. RESULTADOS

Los tipos de sustrato evaluados mostraron un efecto directo en la pérdida de masa de la madera (Pr-T=0.0017) siendo mayor en la madera enterrada en el sustrato de aserrín y cortezas descompuestos quien observó 1.6% mas pérdida de masa que la madera expuesta al suelo mineral (Cuadro 1).

**Cuadro 1.** Pérdida de masa de la madera por tipo de sustrato.

Tipo de sustrato	Med ia* (%)	Des v. Std. (%)	Pr-T	Pr-F
Aserrín y corteza	6.66	2.23	0.0017	0.6940
Suelo mineral	5.00	2.08		

### 3.1 Estimación de la pérdida de masa de la madera por género

Para determinar la igualdad en la pérdida de masa entre los géneros estudiados, se analizaron las varianzas obteniendo un valor de  $Pr>F=0.7969$ , indicando varianzas iguales. Al realizar la comparación de medias mediante la prueba de T Student para varianzas iguales, se encontró una  $Pr>T=0.9761$ , por lo tanto se concluye que la pérdida de masa de los géneros estudiados a la exposición del suelo mineral y al sustrato de aserrín y corteza en descomposición resultó ser igual (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Pérdida de masa de la madera por género.

Géneros	Medi a* (%)	Desv. Std. (%)	Pr-T	Pr-F
<i>Pinus Quercus</i>	5.85	2.38	0.9761	0.7969
	5.83	2.28		

### 3.2 Estimación de la pérdida de masa de la madera por especie

En cuanto a la pérdida de masa de la madera por especie, los resultados mostraron la mayor pérdida en *Pinus ayacahuite*, observando diferencias significativas sólo entre la pérdida de masa de la madera de *Pinus durangensis*, mientras que las especies de encino evaluadas resultaron ser igual ante la pérdida de masa (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Pérdida de masa de la madera por especie.

Especie	Medi a* (%)	Desv. Std. (%)
<i>Pinus ayacahuite</i>	7.26 a	1.98
<i>Quercus laeta</i>	5.95 ab	2.20
<i>Quercus sideroxyla</i>	5.71 ab	2.41
<i>Pinus durangensis</i>	4.44 b	1.89

\*Medias con las misma letras no son significativa diferentes, Duncan  $\alpha=0.05$ .

### 3.3 Estimación de la pérdida de masa de la madera por especie y tipo de sustrato

La pérdida de masa por especie y tipo de sustrato fue mayor en la madera de *Pinus ayacahuite* expuesta al sustrato de aserrín y corteza en descomposición, no se observaron diferencias significativas con la pérdida de masa en la madera de *Quercus sideroxyla* expuesta al mismo sustrato (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Pérdida de masa de la madera por especie y tipo de sustrato.

Especie y tipo de sustrato	Media* (%)	Des v. Std. (%)
<i>Pinus ayacahuite</i> en aserrín y corteza	7.66 a	2.19
<i>Quercus sideroxyla</i> en aserrín y corteza	7.26 a	2.46
<i>Pinus ayacahuite</i> en suelo mineral	6.85 ab	1.85
<i>Quercus laeta</i> en aserrín y corteza	6.39 ab	1.96
<i>Quercus laeta</i> en suelo mineral	5.50 abc	2.42
<i>Pinus durangensis</i> en aserrín y corteza	5.02 bc	1.64
<i>Quercus sideroxyla</i> en suelo mineral	4.16 c	0.90
<i>Pinus durangensis</i> en suelo mineral	3.86 c	2.09

\*Medias con las misma letras no son significativa diferentes, Duncan  $\alpha=0.05$ .

Mientras que la menor pérdida de masa fue mostrada por la madera de *Quercus sideroxyla* y *Pinus durangensis* expuestas al suelo mineral las cuales no observaron diferencias significativas entre sí.

Los resultados anteriores obedecen en primera instancia a la acción de la actividad biológica sobre la madera de las diversas especies evaluadas, sin embargo, es importante considerar la influencia que tiene la edad de los individuos, su morfología estructural y composición química en la pérdida de masa para conocer realmente el papel que desempeñan esas variables en la durabilidad natural de la madera.

#### 4. DISCUSIÓN

Paes *et al.* (2009), determinaron la resistencia de nueve especies maderables del semiárido Brasileño, para tal efecto, utilizaron tres tipos de sustratos que consistieron de suelo con cobertura de hojarasca, suelo con gramíneas y suelo de cultivos agrícolas, mediante cajas simuladoras de pudrición que fueron enterradas y regadas semanalmente por un periodo de 180 días, determinaron la pérdida de masa sufrida en la madera por acción de la actividad biológica de 16.35 a 35.45% en suelo con cobertura de hojarasca, de 12.38 a 35.88% en

suelo con gramíneas y de 13.11 a 30.26 en suelo de cultivos agrícolas. Mencionan también que las resistencias a los xilófagos en algunas especies fueron de 1.58 a 2.95%. En el presente estudio el rango de pérdida de masa en las especies evaluadas fluctuó entre 3.86 a 7.66% sin la simulación de pudrición, los valores obtenidos resultaron ser menores a lo encontrado por estos autores motivados porque no se contempló el riego para activar y acelerar la pudrición. Eslyn y Highley (1976), determinaron la resistencia y susceptibilidad a la degradación de quince especies maderables, encontraron valores de pérdida de masa de 1.0 a 23.3% siendo las más resistentes Douglas fir, Southern pine y Red pine, mientras que las más susceptibles al ataque de xilófagos fueron Balsam poplar, *Eucalyptus* sp y Red alder. Por su parte, De Oliveira *et al.* (2005), determinaron la resistencia natural de la madera de siete especies de *Eucalyptus* mediante ensayos acelerados de pudrición utilizando el hongo *Gloeophyllum trabeum* en un periodo de 16 semanas al término de las cuales midieron la pérdida de masa en la madera, encontraron que la pérdida de masa no rebasó el 10% lo cual puede ser considerado como maderas resistentes, al igual que en el presente estudio, estos autores mencionan la importancia de involucrar otras variables a la evaluación de la durabilidad natural de la madera como la edad, condiciones de crecimiento, variación de la madera de la médula a la corteza y de la base a la punta de los árboles y las características químicas de la madera para buscar explicaciones de su comportamiento ante los agentes degradantes.

#### 5. CONCLUSIONES

- El tipo de sustrato utilizado mostró un efecto directo ante la pérdida de masa en la madera resultando mayor en la que fue expuesta al sustrato de aserrín y cortezas en descomposición.
- Tanto la madera de *Pinus* spp como *Quercus* spp no mostraron diferencias significativas ante la pérdida de masa.
- En cuanto a la especie, los resultados mostraron una mayor pérdida de masa en la madera de *Pinus ayacahuite* expuesta al sustrato de aserrín y corteza en descomposición y la menor la mostró la

madera de *Pinus durangensis* expuesta al suelo mineral.

- La madera de las especies evaluadas se consideran resistentes ya que ninguna experimentó más del 10% de pérdida de masa.

## 6. LITERATURA CITADA

- Aprile, F. M., W. B. C. Delitti y Jr. Bianchini. 1999. Aspectos cinéticos da degradação de laminados de madeiras em ambientes aquático e terrestre. *Rev. Brasil. Biol.*, 59(3): 485-492
- Arango, R.A., F. Green., C. Hintz., P.K. Lebow and R.B. Miller. 2006. Natural durability of tropical and native Woods against termite damage by *Reticulitermes flavipes* (Kollar). *International Biodeterioration & Biodegradation*. 57:146-150.
- Carballeira, L y G. A. Milano. 1986. Avaliação da durabilidade natural de madeira e de produto usados na sua proteção. In: LEPAGE, E. S. (coord.). Manual de preservação de madeiras. Sao Paulo: IPT. (2): 473-521.
- Cavalcante, M. S. 1982. Deterioração biológica e preservação de madeira. Sao Paulo: IPT. 40 p.
- De Oliveira, J.T., M. Tomasello y J.C. Silva. 2005. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. *Árvore*. 29(6): 993-998.
- Eslyn, W. E., and T. L. Highley. 1976. Decay resistance and susceptibility of sapwood of fifteen tree species. *Phytopathology*, 66: 1010-1017.
- Lunz, A.M y A.G. De Carvalho. 2002. Degradação da madeira de seis essências arbóreas disposta perpendicularmente ao solo causada por *Scolytidae* (Coleoptera). *Neotropical Entomology*, 3 (3):351-357.
- Oliveira, J.T., T. Tomasello y S.J. Castro. 2005. Resistência natural da madeira de sete espécies de Eucalipto ao apodrecimento. *Revista Arvore*. 29(006): 993-998.
- Paes, J.B., V.M. Morais., C.R. De Lima y G.J.C Dos Santos. 2009. Resistência natural de nove madeiras do semiárido Brasileiro a fungos xilófagos em simuladores de campo. *Árvore*, 33 (3): 511-520.
- Santos, Z. M. 1992. Avaliação da durabilidade natural da *Ecucaliptus grandis* W. Hill: Maiden em ensayos de laboratorio. Dissertacao (Mestrado em Ciencia Florestal) Universidade Federal de Vicosa, Vicosa. 175pp.
- SAS. 2002. User's guide: statics. Ver. 9.1. SAS. Institute Inc. 1050pp.
- Silva, J.C., A.G.C. Lopez y J.TS. Oliveira. 2004. Influência da idade na resistência natural da madeira de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex. Maiden ao ataque de cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*). *Árvore*, 28 (4): 583-587.
- Técnica Informática Aplicada (TIA). 1998. Programa de Manejo Forestal 1997-2007. Ejido Forestal La Victoria Municipio de Pueblo Nuevo, Durango. 8-18.
- Trevisan, H., F.M. Marques y A.G. De Carvalho. 2008. Degradação natural de toras de cinco espécies florestais em dois ambientes. *Floresta*, 38 (1): 33-41.
- Trevisan, H., F.M. Tieppo., A.G. De Carvalho y R.C.C. Lelis. 2006. Avaliação de propriedades físicas e mecânicas da madeira de cinco espécies florestais em função da deterioração em dois ambientes. *Árvore*. 31(1): 93-101.

## REVISIÓN DEL GÉNERO *Schistocerca* Stål (ACRIDIDAE: CYRTACANTHACRIDINAE) EN EL NORESTE DE MÉXICO

L. Barrientos-Lozano, Á. A. Díaz-Sánchez, A.Y. Rocha-Sánchez y B. R. Méndez-Gómez

Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Blvd. Emilio Portes Gil No. 1301.  
Cd. Victoria, Tamaulipas, México. 87010. ludivinab@yahoo.com

**RESUMEN.** El género *Schistocerca* comprende unas 50 especies, de las cuales aproximadamente 25 ocurren en México. En el presente trabajo se reportan ocho especies que se presentan en la región noreste del país: *Schistocerca piceifrons piceifrons*, *S. pallens*, *S. nitens*, *S. alutacea*, *S. albolineata*, *S. damnifica*, *S. obscura* y *S. americana*. Tres de éstas especies son nuevos registros para México: *Schistocerca alutacea* (Harris, 1841), *S. damnifica* (Saussure, 1861) y *S. obscura* (Fabricius, 1798). Se presenta información sobre distribución geográfica de las ocho especies reportadas y los caracteres de diagnóstico para diferenciar cada una.

**PALABRAS CLAVE:** *Schistocerca* spp., noreste, México.

**ABSTRACT.** The genus *Schistocerca* comprises about 50 species of which ca. 25 are known to occur in Mexico. This paper reports eight species collected in northeastern Mexico: *Schistocerca piceifrons piceifrons*, *S. pallens*, *S. nitens*, *S. alutacea*, *S. albolineata*, *S. damnifica*, *S. obscura* and *S. americana*. Three new records for Mexico are reported: *S. alutacea* (Harris, 1841), *S. damnifica* (Saussure, 1861) and *S. obscura* (Fabricius, 1798). Information on relative abundance, geographic distribution and diagnostic characters to identify and differentiate the species are provided.

**KEY WORDS:** *Schistocerca* spp., northeastern, Mexico

### 1.- INTRODUCCIÓN

El género *Schistocerca* Stål (Orthoptera: Acrididae: Cyrtacanthacridinae) es el más grande de la subfamilia Cyrtacanthacridinae, comprende 50 especies conocidas (Song, 2002). Muchas especies de este género son migratorios y tienen la facultad de cambiar su comportamiento y fisiología, lo cual está determinado por condiciones ambientales. Los cambios físicos y de comportamiento (teoría de fases) ubican a las especies de langosta de este género como plagas voraces de cultivos, principalmente cuando pasan de la fase solitaria a la gregaria (bandos y mangas). Entre las especies del género *Schistocerca* que ocurren en México, *Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker, 1870, es la única especie con capacidad para gregarizar y emigrar grandes distancias (Barrientos, 2003). Estas características la ubican en la categoría de langosta verdadera y está considerada entre las plagas de mayor importancia económica en México y Centro América. El presente trabajo tuvo por objetivo hacer una revisión de las especies del género *Schistocerca* que se presentan en el noreste de México.

### 2.- MATERIALES Y MÉTODOS

Se revisaron 419 ejemplares recolectados entre 2000-2009 en el Noreste de México, principalmente. Este material está depositado en la colección de ortópteros del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Durante los viajes de colecta se registraron lugar y fecha de colecta, coordenadas y altitud. Las coordenadas se tomaron con ayuda de un GPS 48 con 12 canales marca Garmin. Los ejemplares fueron recolectados con red entomológica de golpeo y trasladados al laboratorio de Ecología del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. El material fue preparado, eviscerando los de mayor tamaño (Rosas Costa, 1956) y montados en alfileres entomológicos. La determinación se realizó con la ayuda de un microscopio estereoscópico marca Motic equipado con cámara digital, el cual se conectó a una computadora, esto permitió observar la estructura morfológica de las diferentes especies y tomar fotografías de los caracteres que separan a cada especie. La toma de fotografías de ejemplares completos se realizó con una cámara digital Sony de 5.0 mega píxeles. Para determinar los

ejemplares a especie se usaron las claves de Song (2002-2008) (<http://www.schistocerca.org/>) y otros recursos en línea.

### 3.- RESULTADOS

Del material revisado se determinaron ocho especies, las cuales se muestran en el Cuadro 1, indicando el número de ejemplares para cada especie y los lugares de colecta. Las especies más abundantes fueron: *Schistocerca piceifrons piceifrons* Walker, *S. nitens* (Thunberg) y *S. pallens* (Thunberg). En la región sur de Tamaulipas estas tres especies ocurren generalmente asociadas. Sin embargo, la única que presenta explosiones poblacionales y transformación fásica es *S. p. piceifrons*. Las otras dos especies, *S. nitens* y *S. pallens*, no obstante que su densidad de población puede incrementarse no se han observado en forma gregaria en la región sur de Tamaulipas o en México. Las especies menos abundantes fueron *S. alutacea*, *S. damnifica*, *S. albolineata* y *S. obscura* (Cuadro 1), éstas especies viven generalmente en selva baja y arbustos, por lo que se encuentran con menor frecuencia; *S. americana* es común encontrarla en la región noreste, sin embargo, su densidad de población es baja y no es de importancia económica hasta la fecha. Enseguida se describen los caracteres morfológicos principales para diferenciar las ocho especies que aquí se presentan:

#### 3.1. *Schistocerca piceifrons piceifrons* (Walker, 1870)

Franja sub-ocular color café oscuro, de forma triangular bien marcada cubriendo parte de la gena, tanto en adultos como ninfas (Fig. 1a); franja blanca desde el occipucio recorriendo el pronoto hasta el extremo del élitro, en adultos (Fig. 1b); el tubérculo prosternal es vertical y pubescente en la fase solitaria (Fig. 1c); fémur posterior con una línea negra sobre el borde de la carina superior externa (Fig. 1d); los élitros presentan manchas bien definidas (Fig. 1e); la placa subgenital masculina en forma de "V", diferente a otras especies (Fig. 1f).



Figura 1a



Figura 1b

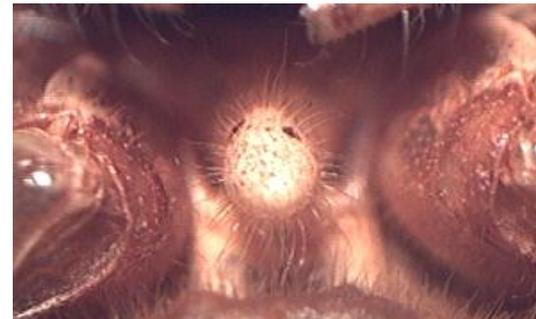


Figura 1c



Figura 1d



Figura 1e



Figura 2b

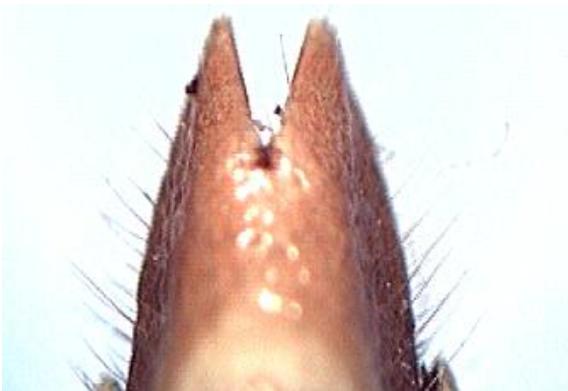


Figura 1f



Figura 2c

### 3.2. *Schistocerca pallens* (Thunberg, 1815)

Pronotum con gránulos en la parte superior dorsal (Fig. 2a); espina prosternal casi pegando o tocando el esternón torácico (Fig. 2b); margen posterior de la metazona y pronotum redondeado (Fig. 2c); femora posteriores presentando una banda color café a negro obscuro en su parte media externa (Fig. 2d).



Figura 2a



Figura 2d

### 3.3. *Schistocerca americana americana* (Drury, 1773)

Pronotum color marrón obscuro, con franjas laterales color crema-amarillo (Fig. 3a); franja dorsal en el centro desde la cabeza a la parte distal de las tegmina (Fig. 3b); tibia posterior generalmente color naranja-rojo (Fig. 3c); tegmina más allá del abdomen, transparentes, con grandes manchas oscuras diferentes al patrón de manchas de *S. p. piceifrons* (Figs. 3d, e).



Figura 3a

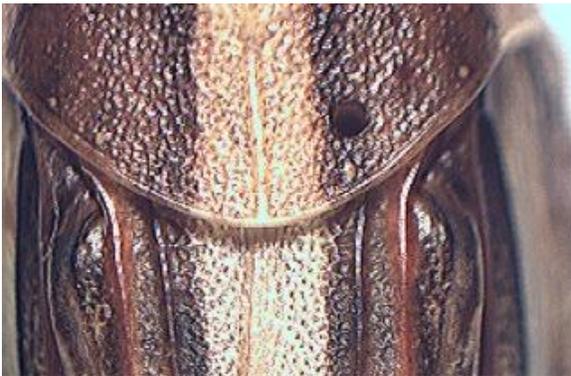


Figura 3b



Figura 3c



Figura 3d



Figura 3e

### 3.4. *Schistocerca damnifica* (Saussure, 1861)

Carina media del pronotum claramente elevada (Fig. 4a); tegmina tan largas o más allá de la punta del abdomen (Fig. 4b); todo el cuerpo de color marrón o café oxidado (Fig. 4c); manchas tenues sobre las tegmina (Fig. 4d); antenas cortas, especialmente en machos (Fig. 4e).



Figura 4a



Figura 4b



Figura 4c



Figura 4d



Figura 5b



Figura 4e



Figura 5c

### 3.5. *Schistocerca albolineata* (Thomas, 1875)

Pronotum con una banda color amarillo (Fig. 5a); espina prosternal pubescente no tocando el esternón torácico (Fig. 5b); placa subgenital ligeramente acampanada hacia el exterior (Fig. 5c); dos bandas dorsales en el fémur posterior, mitad apical del fémur color negro (Fig. 5d); placa subgenital ligeramente mas larga que ancha (Fig. 5e); tibia parte inferior color negro (Fig. 5f).



Figura 5a



Figura 5d



Figura 5e



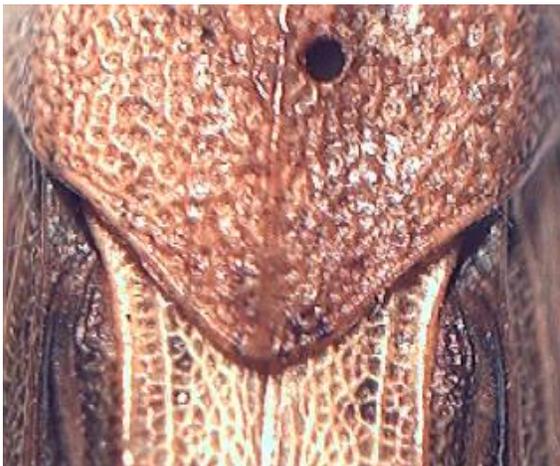
Figura 5f

**3.6. *Schistocerca nitens nitens* (Thunberg, 1815)**

Pronotum con una banda dorsal clara (Fig. 6a); bordes paralelos fuertemente estrechados en el metatórax, el borde posterior claramente anguloso (Fig. 6b); lóbulos laterales del pronotum sin banda negra bien marcada (Fig. 6c); tubérculo prosternal vertical (Fig. 6d); tibias posteriores variables, entre rojizo, violeta oscuro o sin color particular (Fig. 6e); femora posteriores con una línea de puntos negros bien definidos en la cara externa (Fig. 6f); machos mucho más pequeños que las hembras (Fig. 6g).



**Figura 6a**



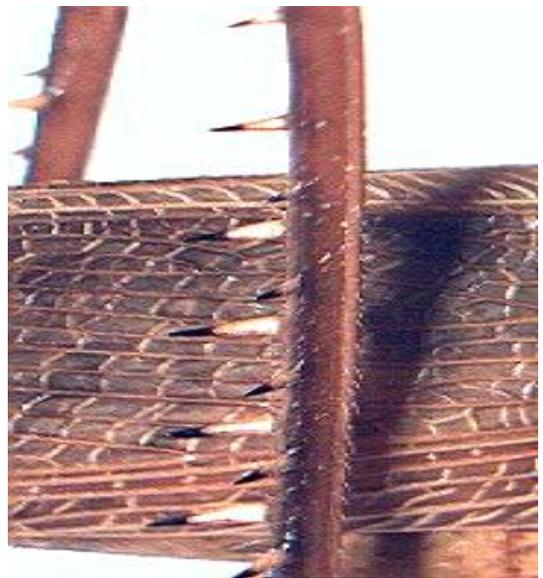
**Figura 6b**



**Figura 6c**



**Figura 6d**



**Figura 6e**

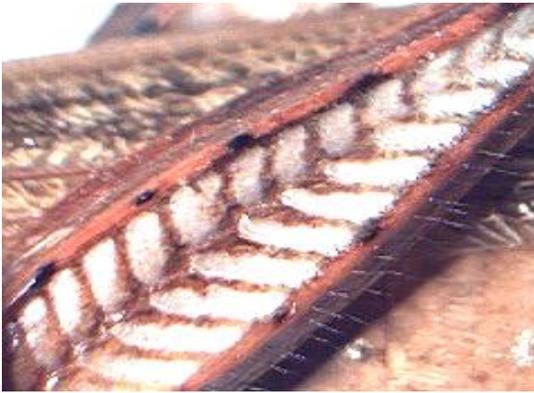


Figura 6f

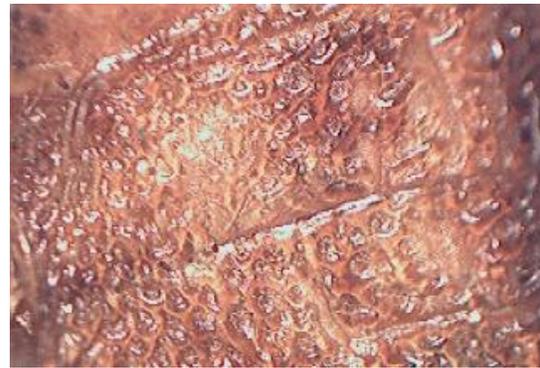


Figura 7b



Figura 6g



Figura 7c

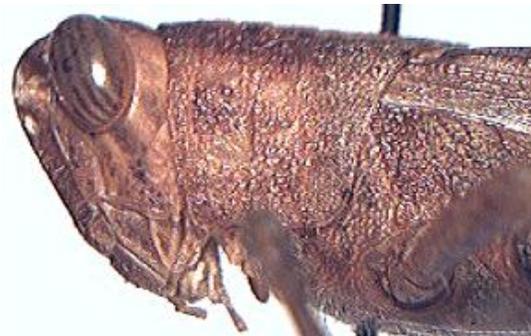


Figura 7d

### 3.7. *Schistocerca alutacea* (Harris, 1841)

Cabeza, pronotum y tegmina con una franja dorsal longitudinal color amarillo (Fig. 7a); lóbulo lateral de la metazona con gránulos (Fig. 7b); pronotum estrechándose hacia la cabeza (Fig. 7c); cabeza pequeña de color amarillo, marrón oxidado (Fig. 7d); cerco cuadrado, aproximadamente la misma longitud de ancho y largo, ligeramente inflado en el centro, extremo distal bilobulado (Fig. 7e); tegmina con venas de color marrón (Fig. 7f); carinula con una fila de puntos negros muy pequeños (Fig. 7g).



Figura 7a



Figura 7e



Figura 7f

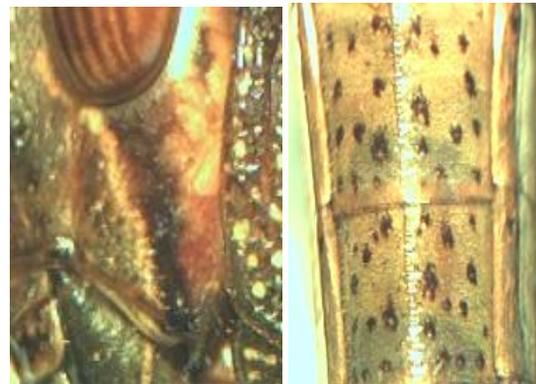


Figura 8b

Figura 8c



Figura 7g



Figura 8d

### 3.8. *Schistocerca obscura* (Fabricius, 1798)

Cabeza y pronotum con una banda dorsal longitudinal color amarillo brillante, a menudo se extiende a las tegmina (Fig. 8a); un par de rayas de color marrón oscuro entre los ojos de la mitad superior de la cordillera frontal del occipucio (Fig. 8b); margen posterior del abdomen con una fila de puntos negros (tergitos) (Fig. 8c); tibia de color marrón a negro (Fig. 8d); prozona y metazona con gránulos de color amarillo (Fig. 8e); cerco cuadrado, dos veces más largo que la longitud de ancho, no bilobulado (Fig. 8f).



Figura 8e

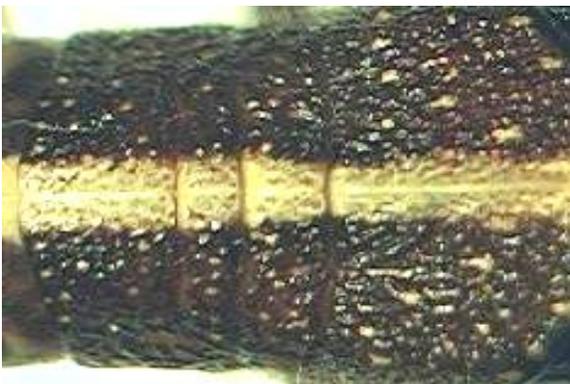


Figura 8a



Figura 8f

#### 4.- DISCUSIÓN

Weissman *et. al.* (2005), reportaron que al menos diez especies del género *Schistocerca* Stål ocurren en México; en el presente trabajo se reportan ocho especies solo para la región noreste. En una revisión más reciente de la Orthopterists' Society Species File Online (<http://orthoptera.speciesfile.org/HomePage.aspx/>, 21/07/2010) se encontró que al menos 25 especies del género ocurren en México. La distribución geográfica de *S. alutacea* se conocía solo para el este de Estados Unidos, para *S. damnifica* desde el noreste de Estados Unidos hasta Texas y para *S. obscura* para el Sureste de Estados Unidos, incluyendo Texas y Florida (<http://orthoptera.speciesfile.org/HomePage.aspx/>, 21/07/2010); en este trabajo se confirma la presencia de estas tres especies en México. La gran abundancia de *S. p. piceifrons* puede explicarse por el hecho de que esta especie es una plaga importante prácticamente en todo México y Centro América.

#### 5.- LITERATURA CITADA

- Barrientos L.L. 2003. Ortópteros Plaga de México y Centro América: Guía de Campo. Cd. Victoria Tamaulipas, México. 114 pp.
- Barrientos-Lozano L. y P. Almaguer-Sierra. 2005. Manejo Integrado de la Langosta Centroamericana (*Schistocerca piceifrons piceifrons*, Walker) y Acridoideos Plaga en América Latina. 2do. Curso Internacional. Cd. Victoria Tamaulipas México. Dinámica Impresora S.A de C.V. 302 pp.
- Fontana P., F. Maria- Buzzetti y R. Mariño-Pérez. 2008. Chapulines Langostas Grillos y Esperanzas de México. Guía fotográfica. Verona: 1-272. Editorial Board. 271pp.
- Orthopterists' Society Species File Online <http://orthoptera.speciesfile.org/HomePage.aspx>, 21/07/ 2010).
- Rosas-Costa J. A. 1966. Preparación de Acridoidea y Tettigonioidea. Geotrópica. Vol. 12 N- 39.
- Song H. 2002. On the origin of the desert locust *Schistocerca gregaria* (Forskål) (Orthoptera: Acrididae: Cyrtacanthacridinae). The Ohio State University Museum of Biological Diversity 1315 Kinnear Road Columbus, OH 43212 USA.
- Song H. 2010. *Schistocerca* site. (<http://www.schistocerca.org/>, 21/10/2010).
- Weissman D. B., H. Song & L. Barrientos-Lozano. 2005. Locust Outbreak on Socorro Island, Islas Revillagigedo, México. Entomología Mexicana, Vol. 4: 102-106.

**Tabla 1.** Especies del género *Schistocerca* presentes en el noreste de México, número de ejemplares recolectado por especie y sitios de colecta.

Especies	Número de ejemplares	Lugar de colecta
<i>Schistocerca piceifrons piceifrons</i> Walker, 1870	241	<b>Tamaulipas. Mante:</b> San Roberto, Ej. Marte R. Gómez, Ej. La Chaca, El Cautín, Ej. González Arteaga, El Triunfo # 2, Ej. Crucita; <b>Gómez Farías:</b> Ej. Emiliano Zapata; <b>Xicoténcatl;</b> <b>Victoria:</b> Carr. Cd. Victoria-Monterrey km 19.5; <b>Jaumave;</b> <b>Altamira.</b> <b>Nuevo León.</b> Aramberri; Paradero Los Altares, Iturbide. <b>San Luis Potosí.</b> Rancho El Gualul, Carr. Estación Manuel-Ébano; Hda. Los Tullillos, Ébano.
<i>Schistocerca nitens nitens</i> (Thunberg, 1815)	69	<b>Tamaulipas. Miquihuana:</b> Ej. La Peña; <b>Victoria:</b> Cañón del Novillo, Cd. Victoria, ÁNP Altas Cumbres; <b>Tula:</b> Ej. Terrones y Benítez; <b>Gómez Farías:</b> Reserva de la Biosfera "El Cielo", La Bocatoma II, Ej. la Florida; <b>Mante:</b> San Roberto, Ej. Marte R. Gómez, El Triunfo # 2.  <b>Nuevo León.</b> Paradero Los Altares, Iturbide; Vitro Parque El Manzano; Buena Vista, Galeana. <b>San Luis Potosí.</b> Taninul.  <b>Coahuila.</b> Bella Vista, Saltillo.  <b>Veracruz.</b> Carr. Tempoal-Pánuco Km., 12, Rancho El Zapotal.
<i>Schistocerca pallens</i> (Thunberg, 1815)	47	<b>Tamaulipas. Mante:</b> El Triunfo # 2, San Roberto, Ej. González Ortega; <b>Gómez Farías:</b> Ej. Emiliano Zapata; <b>Xicoténcatl;</b> <b>Jiménez.</b>  <b>San Luis Potosí.</b> Rancho El Gualul, Carr. Estación Manuel-Ébano; Hda. Los Tullillos, Ébano.
<i>Schistocerca americana americana</i> (Drury, 1773)	17	<b>Tamaulipas. Mante:</b> Ej. San Roberto, El Cautin, Mante, Ej. Marte R. Gómez, Ej. González Ortega, Ej. Emiliano Zapata; <b>Xicoténcatl;</b> <b>Victoria:</b> Carr. Interejidal Km 8.  <b>San Luis Potosí.</b> Hda. Los Tullillos, Ébano.
<i>Schistocerca alutacea</i> (Harris, 1841)	15	<b>Tamaulipas. Victoria:</b> Carr. Interejidal, Km., 8, Cañón de Calamaco; <b>Gómez Farías:</b> Reserva de la Biosfera "El Cielo", La Bocatoma II, Ej. La Florida; <b>Mante:</b> Ej. Bella Vista, Carr. Mante-Ocampo, km 14; <b>Tula:</b> Ej. Terrones y Benítez; Entre Estación Manuel, Tam., y Ébano, S.L.P, Km 11.

		<p><b>Veracruz.</b> Carr. Tempoal-Pánuco, Km., 12, Rancho El Zapotal</p> <p><b>Nuevo León.</b> Carretera Linares-Iturbide, Km 30-31.</p>
<p><i>Schistocerca damnifica</i> (Saussure, 1861)</p>	14	<p><b>Tamaulipas: Gómez Farías:</b> Reserva de la Biosfera "El Cielo"; <b>Mante:</b> Carr. Mante-Ocampo, Km., 14; <b>Xicoténcatl;</b> <b>Miquihuana:</b> Ej. La Peña.</p> <p><b>San Luis Potosí.</b> Rancho El Gualul, Carr. Estación Manuel-Ébano.</p> <p><b>Nuevo León.</b> Santa Rosa, Iturbide; Vitro Parque el Manzano.</p>
<p><i>Schistocerca albolineata</i> (Thomas, C. 1875)</p>	10	<p><b>Tamaulipas. Mante:</b> Carr. Mante-Ocampo, Ej. Bella Vista; <b>Gómez Farías:</b> Reserva de la Biosfera "El Cielo"; <b>Victoria:</b> Ej. Santa Ana, Cañón de la Libertad, Cañón de la Peregrina.</p>
<p><i>Schistocerca obscura</i> Fabricius, 1798</p>	6	<p><b>Tamaulipas.</b> Tula <b>Nuevo León.</b> Cerro Potosí, Galeana.</p>

**CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO DE LA POBLACIÓN DE LA CHIHUA, *Eugerres plumieri* Cuvier, 1830 (PERCIFORMES, GERREIDAE) EN EL ÁREA NATURAL PROTEGIDA “SANTUARIO DEL MANATÍ”, QUINTANA ROO, MÉXICO.**

L.D. Sánchez-Ceballos<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Tecnológico de Chetumal. Av. Insurgentes no. 330, C.P. 77013, Col. David Gustavo Gtz. Chetumal Quintana Roo. ldsanchezc@hotmail.com

**RESUMEN:** La chihua, *Eugerres plumieri* ha sido tradicionalmente uno de los recursos ícticos importantes en la pesquería artesanal de Chetumal y Calderitas (México), que forman parte del área natural protegida “Santuario de Manatí”. Con el propósito de conocer el estado de su población, se estudiaron los aspectos relacionados con su biología y se determinaron algunos parámetros poblacionales. La talla media de longitud patrón se estimó en 13.4 cm, mientras que el peso fue de 86.1g. La proporción sexual fue de 1.50 hembras por cada macho. La relación Longitud-Peso presentó diferencia entre sexos, estimándose una ecuación para cada sexo, Hembra:  $W = 0.081LP^{2.65}$ ; Macho:  $W = 0.062LP^{2.75}$  (W= peso; LP= longitud patrón), con un crecimiento alométrico. El factor de condición fue mayor para las hembras (Hembras= 0.96; Machos= 0.85), y para la localidad Bahía de Chetumal (Laguna Guerrero= 0.92; Laguna Salada= 0.84; Bahía de Chetumal= 0.98). Sin embargo, todos los peces presentaron una buena condición fisiológica.

**PALABRAS CLAVE:** Gerreidae, Bahía-de-Chetumal, Área-Natural-Protegida, Santuario-de-Manatí

**ABSTRACT:** The fish “Striped mojarra”, *Eugerres plumieri*, has been traditionally one of the fish resources of great importance in the fisheries of Chetumal and Calderitas (Mexico), these localities are part of the natural protected area “Santuario de Manatí”. In order to assess the status of the population, biology and some population parameters were studied. The average size of length pattern was estimated at 13.4cm, average weight was 86.1g. Sex ratio was 1.50 females per male. The length-weight relationship presented differences between the sexes, estimating an equation for females:  $W = 0.081LP^{2.65}$  and for males:  $W = 0.062LP^{2.75}$  (W= weight; LP= length pattern), with allometric growth. The condition factor was bigger for females (female= 0.96; Male= 0.85), and for the locality of Chetumal Bay (Laguna Guerrero= 0.92; Laguna Salada= 0.84; Bay of Chetumal= 0.98). However, all fishes presented a good physiological condition.

**KEYS WORDS:** Gerreidae, Bay of Chetumal, Area-natural-protected, Santuario-de-Manatí

## 1.- INTRODUCCIÓN

En el Estado de Quintana Roo (México) la explotación de los recursos pesqueros se realiza cerca de la costa y en su mayoría es de tipo artesanal, teniendo como principales recursos a la langosta espinosa, *Panulirus argus*, y el caracol rosado, *Strombus gigas*, cuyas poblaciones se consideran actualmente como sobreexplotadas (Huitric, 2005, Sosa-Cordero, 2005). Sin embargo coexiste una tercera pesquería que abarca al grupo comúnmente llamado “escama”, que representa una actividad de importancia relevante para las comunidades asentadas en la costa (Bolio-Moguel *et al.*, 2004).

La pesca de escama en el Estado es una actividad que se realiza todo el año, incluyendo las épocas cuando se dan las agregaciones

reproductivas de varias especies de importancia comercial (Caballero-Pinzón, 2001).

La fauna ictiológica de la región quintanarroense se caracteriza por representar especies consideradas como residentes permanentes o temporales contando con cerca de 400 especies de peces descritas (Pimentel-Cadena, 2001). Solamente en la Bahía de Chetumal y zonas aledañas (Santuario del manatí) hay un registro 180 especies (Schmitter-Soto, 2001), de los cuales menos del 20% de estas son considerados como recursos con potencial pesquero. Según Medina-Quej *et al.* (2009), los principales géneros y especies de escama capturados en la Bahía son los pargos (*Lutjanus* sp.), chachíes (*Haemulon* sp.), macabí (*Albula vulpes*), lisa (*Mugil cephalus*), sierra (*Scomberomorus*

*maculatus* y *S. regalis*), picuda (*Sphyraena barracuda*), mojarra blanca (*Gerres cinereus*) y mojarra rayada o chihua (*Eugerres plumieri*), entre otras. Siendo estas dos últimas especies (mojarras) miembros de la familia Gerreidae Bleeker, 1859, los cuales constituyen un recurso comercial abundante y de amplia distribución en el medio ambiente lagunar-estuarino (Aguirre-León y Yáñez-Arancibia, 1984). A pesar de ello, existe poca información sobre esta familia, siendo particularmente escasa para la chihua (*Eugerres plumieri* Cuvier, 1830). Las pocas investigaciones realizadas en México han sido hechas en la Laguna de Términos y zonas aledañas del Estado de Campeche; aunque también existen reportes para Colombia, Guatemala y Venezuela (Aguirre-León y Yáñez-Arancibia, 1984; Aguirre-León y Díaz-Ruiz, 2000; Olaya-Nieto, 2000; Wer *et al.*, 2003; Ferrer-Montaño, 2009).

La pesca de la chihua en la Bahía de Chetumal se realiza durante todo el año, utilizando principalmente atarrayas lanzadas desde una embarcación o una plataforma, o bien, caminando; asimismo se utilizan redes con apoyo de artes de pesca para herir (Medina-Quej, *et al.*, 2009). Su captura se realiza en las aguas costeras poco profundas y es común en aguas salobres (4 a 25‰) en su mayoría de fondo fangoso (Schmitter-Soto, 1998).

Uno de los problemas que presenta esta pesquería en la Bahía, es que no existe una fuente de información, estadística de capturas, ya que no hay un registro histórico confiable de ellas (Medina-Quej, *et al.*, 2009). La explotación de este recurso solo se ha dado en la parte sur de Quintana Roo, principalmente en Chetumal y Calderitas, el cual es utilizado para autoconsumo y venta a menor escala (mercados municipales), por lo que no hay un control sobre este recurso.

Cabe mencionar que *E. plumieri* alcanza un precio promedio anual por kilogramo de entre 30.50 y 35.50\$, según datos comercializados en los mercados; Manuel Altamirado, Lázaro Cárdenas, Andrés Quintana Roo y otras pescaderías de Chetumal y Calderitas. Aunque los comerciantes comentaron que esta especie aumenta ocasionalmente su valor comercial, cuando existe escases de otros recursos pesqueros como los pargos y chac-chíes.

A pesar de la importancia comercial y pesquera que pudiera tener, son nulos los trabajos realizados, sobre la especie.

Considerando esta situación, se realiza el presente estudio, basado en el análisis de información biológica, como un aporte al conocimiento de la especie, que pudiera ser de utilidad para la implementación de políticas de manejo, en esta área de importancia ecológica y pesquera.



**Figura 1.** Vista lateral de un ejemplar adulto de chihua, *Eugerres plumieri* (Sánchez-Ceballos, 2009).

## 2.- OBJETIVOS

### 2.1. General

Determinar características poblacionales de *Eugerres plumieri* en el área natural protegida el "Santuario del Manatí".

### 2.2. Específicos

- Establecer la distribución de tallas y pesos de la chihua.
- Especificar la relación entre la longitud y peso de la chihua.
- Establecer el factor de condición y la proporción sexual de la chihua.

## 3.- METODOLOGÍA

### 3.1. Área de estudio

El área natural protegida "Santuario del Manatí", abarca varios cuerpos de agua, de los cuales la principal es la Bahía de Chetumal.

La Bahía de Chetumal se ubica en la parte sur del estado de Quintana Roo y es parte de la zona fronteriza entre México y Belice. Está

limitada por los paralelos 18°21' y 18°52' N y los meridianos 87°54' y 88°03' O (Quan-Young, et al., 2003).

Laguna Guerrero se conforma por un sistema de canales de aproximadamente 15 km de extensión, limitada por los paralelos 18°40' y 18°44' N y los meridianos 88°16' y 88°12' O (Brito-Cortina y Somarriba-Silva, 2000). Laguna Salada esta delimitada por los paralelos 18°48' y 18°50' N y los meridianos 88°11' y 88°08' O.

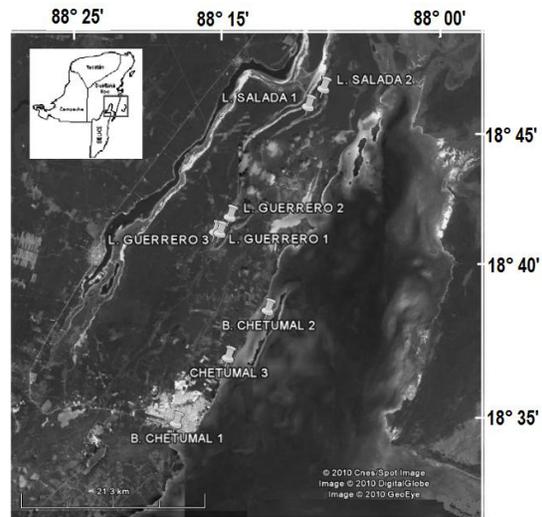
### 3.2. Método

Se recopiló la información biológica de la especie *E. plumieri* (Figura 1) a través de los muestreos realizados en ocho puntos del santuario de manatí (Tabla 1 y Figura 2). Se analizaron 156 ejemplares, colectados durante el periodo Julio-Diciembre 2009.

Se determinó el sexo, su longitud total (mm), longitud patrón (estándar), altura y peso (g), utilizando un ictiómetro de 1 mm de apreciación y una balanza de 1 g de apreciación, respectivamente.

Con esta información se determinó la relación Longitud-Peso por sexos mediante la ecuación potencial  $W = aLT^b$ , donde  $W$  es el peso total,  $LP$  es la longitud patrón,  $a$  y  $b$  son las constantes de la regresión. Con la prueba t-Student se determinó el tipo de crecimiento de la especie tomando en cuenta el valor de la constante  $b$  ó coeficiente de alometría (Pauly, 1984).

Los datos fueron transformados mediante logaritmos para evaluar diferencias en la relación Longitud-Peso entre sexos mediante un análisis de covarianza (ANCOVA), donde la variable dependiente fue el peso y la covariable la longitud.



**Figura 2.** Área de estudio con los sitios de colecta de *E. plumieri*.

Previo al ANCOVA se evaluaron los supuestos de normalidad de los residuos (prueba de Kolmogorov-Smirnov), relación lineal entre la variable dependiente y la covariable (análisis de correlación). Se calculó el factor de condición de Fulton  $K = W(100)/L^b$  (Pauly, 1984) para cada individuo en cada muestreo.

Localidad	Coordenadas	n
B. Chetumal	18 29' 28.51"N 88 18' 20.10" O	13
B. Chetumal	18°36'53.33"N 88°13'10.47" O	29
B. Chetumal	18°41'27.24"N 88°15'44.13" O	16
L. Guerrero	18 41' 27.57"N 88 15' 44.08" O	31
L. Guerrero	18 42' 25.18"N 88 14' 46.29" O	18
L. Guerrero	18 42' 25.18"N 88 14' 46.29" O	7
L. Salada	18 49' 20.20"N 88 09' 37.86" O	20
L. Salada	18 50' 27.52"N 88 08' 36.74" O	22

**Tabla 1.** Coordenadas de las localidades donde se efectuaron los muestreos (n: Número de ejemplares).

Las diferencias del factor de condición se evaluaron aplicando análisis de varianza (ANOVA) a dos vías, usando como factores los sexos y localidades de muestreos. Los datos fueron transformados logarítmicamente con el propósito de evaluar los supuestos del ANOVA. La diferencia en la proporción de sexos se evaluó por medio del estadístico Chi-Cuadrado ( $\chi^2$ ).

**4.- RESULTADOS**

Para analizar la relación L-W (Longitud-Peso) de *E. plumieri* se midieron 156 individuos, de los cuales 136 fueron hembras y 57 machos. El rango de tallas osciló entre 9.2 y 21.3 cm de LP (longitud patrón) y el de peso individual entre 25 y 245 g. Teniendo una media de 13.4 cm de LP y 86.1 g de peso.

En la Tabla 2 se presentan los valores medios, máximos y mínimos, y desviaciones estándar de las longitudes y pesos totales.

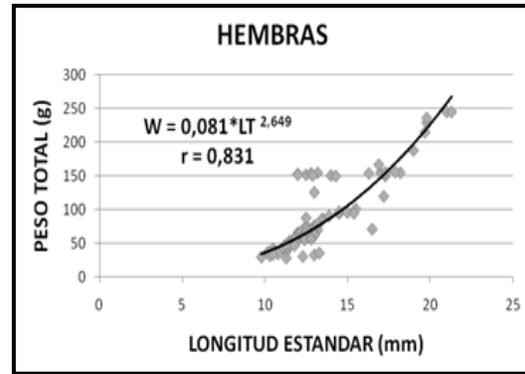
	LAGUNA GUERRERO		BAHÍA DE CHETUMAL		LAGUNA SALADA	
	L.P	PESO	L.P	PESO	L.P	PESO
Media	12,3	64,5	13,8	105,7	14,1	88,0
D. estd.	1,1	17,9	2,1	45,9	3,3	66,7
Mínimo	9,5	28,8	11,3	48	9,3	25
Máximo	14,8	109	18,2	167	21,3	245
Peces	56		58		42	

**Tabla 2.** Datos descriptivos de los peces en cada localidad (L.P = Longitud patrón o estándar; PESO= Peso total).

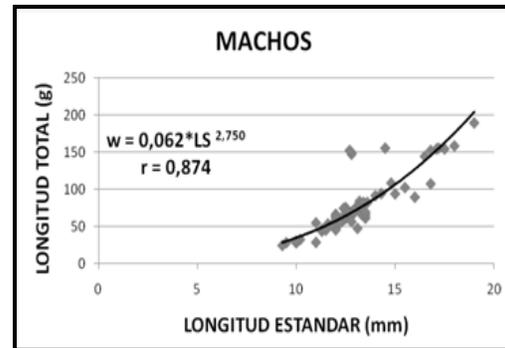
El ANCOVA indicó que entre sexos existen diferencias significativas en el peso a una misma longitud ( $F_{1,1} = 0.805$ ;  $p < 0.05$ ), permitiendo establecer una ecuación para cada uno de los sexos.

Así pues usando líneas de tendencia potencial ( $W = aLT^b$ ) en el programa Excel, se pudieron determinar las ecuaciones de relación corporal para cada sexo, como se observa en las Figuras 3 y 4. Así, la relación LP-Peso se presentó como  $W = 0.081LT^{2.649}$  para hembras, y la relación LP-Peso para machos como  $W = 0.062LT^{2.75}$ , estos resultados muestran que esta especie presenta un crecimiento alométrico negativo (Hembras:  $r=0.831$ ,  $p < 0.001$ ; Machos:  $r=0.874$ ,  $p < 0.001$ ) (King, 1995:  $b > 3$ =positivo;  $b < 3$ =negativo).

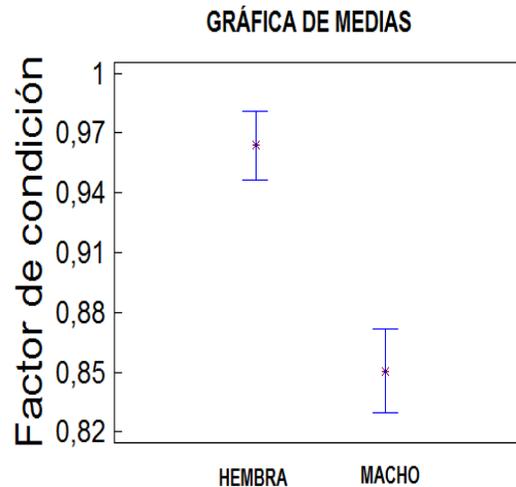
El factor de condición K varió entre sexos (ANOVA:  $F_{1,154} = 33.38$ ;  $p < 0.05$ ), fue mayor para las hembras (con 0.96), que para los machos (0.85) (Figura 5).



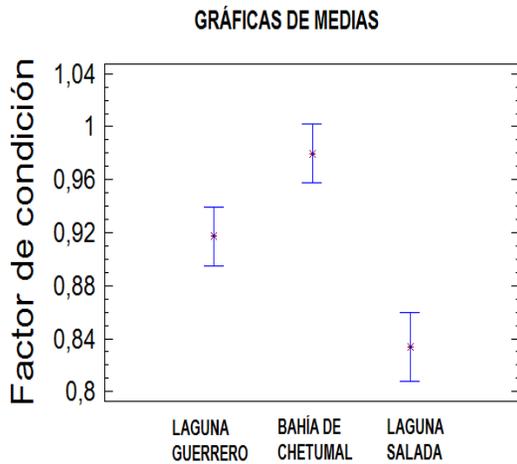
**Figura 3.** Relación Longitud-Peso de hembras de *E. plumieri* en el Área Natural Protegida El Santuario del Manatí.



**Figura 4.** Relación Longitud-Peso de machos de *E. plumieri* en el Área Natural Protegida Santuario del Manatí.



**Figura 5.** Graficas de medias del Factor de condición entre los sexos de la población de machos de *E. plumieri*.



**Figura 6.** Gráficas de medias del Factor de condición de *E. plumieri* entre las localidades.

El factor de condición también varió entre localidades (ANOVA:  $F_{2,153} = 18.22$ ;  $p < 0.05$ ), (laguna Guerrero 0.92, laguna Salada 0.84 y Bahía de Chetumal 0.98) (Figura 6).

El número de hembras fue mayor que el de machos durante todo el muestreo, con una proporción machos: hembras global de 1:1.48 ( $\chi^2 = 5.78$ ,  $p < 0.01$ ) (Tabla 3). El mismo patrón se observó en las tres localidades.

Localidades	Hembras	Machos	Proporción M:H	$\chi^2$
B. Chetumal	35	23	1:1.52	2.48
L. Guerrero	33	23	1:1.43	1.78
L. Salada	25	17	1:1.47	1.52
Total	93	63	1:1.48	5.78

**Tabla 3.** Número de hembras y machos colectados, incluyendo la proporción de sexos.

## 5.- DISCUSIÓN

Una de las problemáticas que presenta esta área natural protegida (Santuario de Manatí), es la escasa o inexistente información en cuanto a las características poblacionales de sus recursos pesqueros. Podemos mencionar por ejemplo, mojarra blanca (*Gerres cinereus*) con una talla máxima 36 cm de longitud total (Álvarez-Hernández, 1999); sierra (*Scomberomorus maculatus*) con las tallas de 33 cm a 63 cm de longitud furcal (Medina-Quej y Domínguez-Viveros, 1997); pargo mulato

(*Lutjanus griseus*) con tallas de 8.5 cm a 35.5 cm de longitud total (Tuz-Paredes, 2008).

Por lo que se analiza por primera vez algunas características poblacionales (relación LP-Peso, coeficiente de condición y proporción sexual) de *E. plumieri* en el área natural protegida "Santuario del Manatí".

En el presente estudio se reportan tallas de longitud patrón de 9.2 cm a 21.3 cm. Diferiendo por lo realizado por Aguirre-León y Díaz-Ruiz (2000) para dicha población, pues obtuvieron tallas 4.5 cm a 29.5 cm de longitud total para sistema Fluvio-Deltaico Pom-Atasta en Campeche. Los estudios realizados fuera del país, igualmente reportan tallas diferentes; Olaya-Nieto (2000) reporta tallas de captura, de longitud total 20.5 cm en la Ciénega Grande de Santa Marta, Colombia; Wer et al. (2003) reporta rangos de 3.5 cm a 6.4 cm de longitud patrón en el Lago de Izabal en Guatemala. Por su parte Ferrer-Montaña (2009) reporta para el Lago Maracaibo en Venezuela, tallas que van de 6.7 cm a 36.7 cm de longitud total. No obstante a las diferencias encontradas entre los autores, se refleja que la distribución de tallas de los individuos es diferente, dependiendo del área geográfica muestreada. Aunque estos resultados también pueden deberse a factores externos como la selectividad del arte de pesca, niveles de explotación, comportamiento, tipo de dieta, hábitat, interacción social y condiciones reproductivas.

Se determinó que los machos y hembras de *E. plumieri* poseen un crecimiento en peso distinto en cada localidad, el cual se mantuvo relativamente constante para las hembras durante todo el periodo de muestreo.

La alometría que presentan los datos demuestra un crecimiento volumétrico no proporcional (sin una fuerte tendencia cúbica), lo que indica que las relaciones talla-peso encontradas son características propias de la especie, como lo confirma Froese, R. y D. Pauly (2009). Esto fue evidente cuando se determinó que la constante "b" de la regresión potencial fue diferente a 3 (prueba *t*,  $p < 0.05$ ; Pauly, 1984). Estos resultados difieren con los publicados por Aguirre-León y Yáñez-Arancibia (1984); Aguirre-León y Díaz-Ruiz (2000); Ferrer-Montaña (2009) quienes estimaron

valores de 3.6, 2.7, 3.08 para la Laguna de Términos, Sistema Fluvio-Deltaico Pom-Atasta (Campeche), Lago Maracaibo (Venezuela), respectivamente. La diferencias entre estos resultados y el obtenido en el presente trabajo, se explica en el hecho, de que en las regiones con condiciones estuarinas, el crecimiento en peso es mayor que en áreas costeras, lo cual está relacionado principalmente con la disponibilidad del alimento (Vazzoler, 1991).

Con respecto a la proporción de sexos de los peces, esta varió en cada una de las localidades como ocurre en el ciclo de vida de las especies y en la constante migración que existe entre dichas localidades (Vazzoler, 1996; Schmitter-Soto, 1998). En el presente estudio, aún cuando la proporción de hembras fue mayor que la de machos durante todas las prospecciones (1:1.5), se asemeja a lo ya señalado por Aguirre-León y Yáñez-Arancibia (1984), quienes señalan que en la mayoría de las especies de la familia Gerreidae, el valor de la proporción sexual tiende a ser favorable para las hembras. Estos resultados son corroborados por Aguirre-León y Díaz-Ruiz (2000) pues también reportan mayores proporciones de hembras, encontrando que la época de nortes es donde se presenta el mayor valor, seguido por la secas y lluvias (1.4:3.2, 1.5:2.9 y 1.7:2.3). Por su parte Ferrer-Montaña (2009) se aproximó a lo reportado en este estudio, con un valor de proporción de 1:1.7. Aunque los resultados pueden variar considerablemente entre las especies y diferir de una población a otra, e incluso variar de un año a otro dentro de la misma población (Nikolsky, 1963).

El factor de condición de machos y hembras mostró cambios significativos (0.85 y 0.96) siendo mayor para las hembras, por lo que, no fue posible relacionar estos resultados con los cambios del ciclo reproductivo, pues en este estudio no se tomó en cuenta dicho factor. Sin embargo al observar la mayoría de las especies muestreadas, se tiene que la mayoría alcanzan medidas propias de juveniles, por lo que dichos organismos no se han visto influenciados por las presiones propias del desarrollo gónadal. Por lo que a medida que los peces comienzan su proceso de maduración sexual, se ven expuestos a presiones fisiológicas que conllevan a que el factor de condición se vea reducido, para posteriormente

umentar como consecuencia del aumento en peso de las gónadas (Ferrer-Montaña, 1988). Los valores de factor de condición fueron bajos en comparación por los registrados por Aguirre-León y Díaz-Ruiz (2000) pues registran valores de 1.01, 1.10 y 0.86 para las épocas de secas, lluvias y nortes. Teniendo un promedio anual de 0.99.

Por otra parte, el factor de condición entre localidades, tuvo su valor superior en la Bahía de Chetumal, seguida de Laguna Guerrero y Laguna Salada. Esto puede corresponder a la migración que existe entre las localidades, pues se sabe que cuando los peces son juveniles o larvas, tienden a estar lejos de la Bahía, refugiándose en los cuerpos de agua que se encuentran alrededor (Schmitter-Soto, 1998). Los cuales manifiestan con frecuencia, zonas de manglar con fondos limosos, con abundancia de detritus y aguas turbias, de manera que les proporciona a la chihua, protección y alimento (Aguirre-León y Yáñez-Arancibia, 1984; Schmitter-Soto, 1998). Cabe mencionar que el factor de condición mostró que los organismos analizados, presentan una buena condición fisiológica.

## 6.- CONCLUSIÓN

En los muestreos se observó que las tallas oscilaron entre 9.2 y 21.3 cm de LP y el de peso entre 25 y 245g, mostrándose que la proporción de hembras es mayor que en machos (1.5:1.0). Se demostró la relación existente entre longitud y el peso del organismo. La cual presentó crecimiento alométrico negativo y una buena condición fisiológica (factor de condición). Debido a que esta investigación es preliminar y son pocos los meses de muestreo y pocos los organismos colectados, no podemos brindar un panorama de la situación actual de la población de la chihua en ámbitos de crecimiento y mortalidad. Por lo que se sugiere al menos un año de muestreo para que los datos obtenidos sean confiables en dichos ámbitos. Se recomienda iniciar estudios de dinámica poblacional (reclutamiento, crecimiento, mortalidad) que son de gran utilidad en la implementación de políticas de manejo.

## 7.- LITERATURA CITADA

- Aguirre-León, A. y Díaz-Ruiz, S. 2000. Estructura poblacional, madurez gonádica y alimentación de *Eugerres plumieri* (gerreidae) en el sistema Fluvio-Deltaico Pom-Atasta, México. *Ciencias Marinas*, 26(2): 253-173.
- Aguirre-León, A. y Yáñez Arancibia, A. 1984. Las mojarra de la Laguna de Términos: taxonomía, biología ecología y dinámica trófica. (Pisces: Gerreidae). *An. Inst. Cienc., del Mar y Limnol. UNAM. Proyecto UNAM-CONACYT, PCMABEU-005322*.
- Álvarez-Hernández, J. H. 1999. Edad y Crecimiento de la Mojarra *Gerres cinereus* en la Costa Sur del Estado de Quintana Roo, México. -In: 45 Proceedings of the Forty-Fifth Annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Charleston, South Carolina USA, 514-523.
- Bolio-Moguel, K., Matos-Tun, S.M., Medina-Quej, A. 2004. Estimación de los Parámetros de Crecimiento del Mero *Epinephelus morio* en la Isla de Holbox Quintana Roo, México. In: 55 Proceedings of the Fifty Fifth Annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute. Xel Ha Mexico, 844-852.
- Brito-Cortina, L.C. y M. L. Somarriba-Silva. 2000. Visiones sobre el futuro de los recursos naturales de las comunidades de Laguna Guerrero y Raudales, Quintana Roo. Una aproximación antropológica. Manejo integrado de recursos costeros. 33p.
- Caballero-Pinzón, P.I. 2001. Anteproyecto: Evaluación hidroacústica del mero *Epinephelus striatus* en las costas caribeñas de México. CETMAR, Chetumal Quintana Roo.
- Castro-Aguirre, J.L., Espinoza-Pérez, H.S. y Schmitter-Soto, J.J. 1999. Ictiofauna estuarino-lagunar y vicaria de México. Col. Textos Politécnicos. Editorial Noriega-Limusa/IPN, México. 711p.
- Ferrer-Montaña, O.J. 1988. Madurez sexual, diámetro de huevos, fecundidad y factores relacionados de la lisa (*Mugil curema* Valenciennes, 1836) del lago de Maracaibo. *Zootecnia Tropical*, 6 (1 y 2):81-112.
- Ferrer-Montaña, O.J. 2009. Catch dynamics, growth, and reproduction of striped mojarra *Eugerres plumieri* in Lake Maracaibo, Venezuela. *Ciencia*, 17(2): 141-150.
- Froese, R. y Pauly, D. 2007. Fishbase on line. [www.fishbase.org](http://www.fishbase.org) (Diciembre 2009).
- Huitric, M. 2005. Lobster and conch fisheries of Belize: a history of sequential exploitation. *Ecology and Society* 10: <http://www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art21>
- King, M. 1995. Fisheries biology: Assessment and Management. Oxford, Oxford, Londres, Inglaterra. 341p.
- Medina-Quej, A. y Domínguez-Viveros, M. 1997. Edad y crecimiento del *Scomberomorus maculatus* en la Bahía de Chetumal, México. *Rev. Biol. Trop.* 45: 1155-1161.
- Medina-Quej, A., Arce-Ibarra, M., Herrera-Pavón, R., Caballero-Pinzón, P., Ortiz-León, H. y Rosas-Correa, C. 2009. Pesquerías: sector social, recurso base y normatividad y manejo. En *Espinoza-Avalos J., G.A. Islebe y H.A. Hernández-Arana (Eds). 2009. El sistema ecológico de la bahía de Chetumal / Corozal: costa occidental del Mar Caribe. ECOSUR. Chetumal Quintana Roo, México. 184-195.*
- Nikolsky, G.V. 1963. The Ecology of Fishes. Acad. Press. London and New York. 392p.
- Olaya-Nieto, C.W. 2000. Edad y crecimiento de la Mojarra rayada, *Eugerres plumieri* (Cuvier), en la Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia. Tesis de Maestría. Departamento de Ciencias Marinas, Universidad de Puerto Rico, Recinto de Mayagüez. Mayagüez, Puerto Rico. 58p.
- Pauly, D. 1984. Fish population dynamics in tropical waters: a manual for use with

- programmable calculators. ICLARM Studies and Reviews, Manila, 8: 325p.
- Pimentel-Cadena, E. 2001. Distribución y abundancia de la ictiofauna en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo. Tesis Lic. Instituto Tecnológico del Mar No. 6. Bahía de Banderas, Nayarit.
- Quan-Youngl, L.I., Jiménez-Flores, S.G. y Espinoza-Ávalos, J. 2003. Flora béntica y reproducción de las algas *Batophora* spp. (Chlorophyta: Dasycladaceae) de una laguna costera contaminada (Bahía de Chetumal, México). Rev. Biología Trop. 54 (2): 341-355.
- Schmitter Soto, J.J., Monks, S. y Vasquez-Yeomans, L. 2001. Peces, ictioplancton y helmintos parásitos en la Bahía de Chetumal (Santuario del Manatí). Informe final proyecto S026. ECOSUR-CONABIO. Chetumal, México. 46p.
- Schmitter-Soto, J.J. 1998. Catalogo de los peces continentales de Quintana Roo. Guías científicas ECOSUR. 238 p. Sosa-Cordero, E. 2005. Mortalidad de langostas *Panulirus argus* en aguas someras: efectos de tiempo, talla corporal y localidad geográfica. Mérida, México: Tesis de Doctor en Ciencias con Especialidad en Ciencias Marinas. CINVESTAV Unidad Mérida.
- Tuz-Paredes, V.M. 2008. Nematodos parásitos del pargo mulato (*Lutjanus griseus*) y en la costa sur del estado de Quintana Roo, México. Tesis de lic. Instituto Tecnológico de Chetumal. 111p.
- Vazzoler, A. E. A. 1996. Biología da reprodução de peixes teleósteos: Teoria e prática. Universidade Estadual de Maringa. 169p.
- Wer, R., Dix, M.A., Arrivillaga, A., Pérez, L. y Álvarez, M.R. 2003. Impacto de *Hydrilla verticillata*. Fase 1, Datos biológicos e indicadores básicos de ictiofauna en el área del Lago de Izabal. Proyecto FUNDAPARQUE, Universidad.

## ANÁLISIS DEL SISTEMA DE RUTAS DE RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS (ECO EFICIENCIA)

E. Pérez-Arriaga<sup>1</sup>, R. Garza-Flores<sup>2</sup>, S. Canales-Caballero<sup>1</sup>, M. Guevara-Guerrero<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria. Blvd. Emilio Portes Gil 1301, Cd. Victoria, Tamaulipas, México, C.P. 87010. <sup>2</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas Matamoros 8 y 9 S/N Edificio Rectoría" [satmex7@hotmail.com](mailto:satmex7@hotmail.com)

**RESUMEN:** En los últimos años el crecimiento económico ha conducido a un aumento del nivel de consumo, que está estrechamente unido al incremento de la emisión de residuos sólidos urbanos. La recolección de estos residuos se ha convertido en un problema de especial importancia que cobra mayor énfasis cuando los recursos disponibles para su recolección son limitados. En este trabajo se describe una metodología aplicada a la localización y recolección de los residuos urbanos.

**PALABRAS CLAVE:** Residuos, localización, GIS.

**ABSTRACT:** In recent years economic growth has led to an increased level of consumption which is closely linked to increased emission of municipal solid waste. Collection of this waste has become an issue of particular importance that becomes critical when resources available for collection are limited. This work describes a methodology to locate and collect urban waste.

**KEY WORDS:** municipal waste, allocation, GIS.

### 1. INTRODUCCIÓN

Según la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), se denominan residuos sólidos a "aquellas materias generadas en las actividades de producción y consumo que no han alcanzado un valor económico en el contexto en que son producidas".

La Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1993), los define como "cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento, cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó".

El desarrollo económico sufrido en las últimas décadas y los cambios en patrones de productos de consumo, refleja serios problemas en la prestación de los servicios públicos, destacando por su importancia los altos costos del servicio para la recolección, manejo y transporte de residuos sólidos domiciliarios, (RSD).

La problemática se da principalmente en las áreas de mayor población, donde la insuficiente capacidad para recoger los residuos conducen

a la aparición de tiraderos clandestinos, que se convierten en potenciales focos de infección en las ciudades.

Tanto la capacidad de los camiones recolectores, las distancias, el crecimiento acelerado de nuevos centros de población, aunado al mal diseño de las rutas contribuye a que el servicio de recolección no cumpla con las expectativas esperadas de este servicio.

En la mayoría de los casos, las rutas se diseñan de forma intuitiva. En vez de ser creadas a partir de un estudio técnico, de ahí que los tiempos y gastos en combustible se vean incrementados. Las personas también contribuyen con este problema al depositar en cualquier lugar sus residuos complicando los procesos de recolección y obligando a los camiones a detenerse por más tiempo en un lugar o recorrer mas distancias fuera de las programadas en la ruta original de recolección. (Gobierno del Estado de Tamaulipas, Obras Públicas, Cd. Victoria 2005)

Por lo antes señalado se plantea realizar el presente trabajo con el objetivo de promover mejoras en el sistema de recolección de residuos sólidos domiciliarios. Para ello, se propone una metodología de diseño de rutas

que no solo optimice la ruta que deben seguir los vehículos sino además recomiende la localización de los puntos de recolección.

## 2. METODOLOGÍA.

La metodología diseñada está enfocada en dos principales puntos, en el primero se identifican los modelos matemáticos (método simples, gráfico, analítico entre otros) que han sido utilizados en la literatura para posteriormente realizar un análisis comparativos entre ellos. Además, los modelos son ampliados mediante la incorporación de nuevas restricciones tales como la capacidad de flota o número de operarios.

El segundo punto está orientado a emplear técnicas SIG (Sistemas de Información Geográfica, Arcview), para la realización de un análisis de redes con la finalidad de simular el desplazamiento de los vehículos a través de las carreteras de la zona de estudio.

Finalmente, mediante la identificación de modelos matemáticos basados en programación lineal y con la ayuda de datos georeferenciados (GIS), se busca el método más adecuado a esta comunidad tomando variables como, rutas y de la vialidad de la ciudad para determinar el tipo de camión, los tiempos de recorrido actuales y, a partir de ahí, comenzar con la elaboración de la propuesta más viable para la recolección de residuos sólidos en la ciudad evaluando tiempos y movimientos.

### 2.1 Los Métodos

La mayoría de los métodos existentes para el diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos, no son implementados por las administraciones municipales, en primer lugar porque son complicados y entenderlos hasta dominarlos representan una inversión en tiempo que los funcionarios no están dispuestos a realizar, bajo el argumento de que: el problema de la basura debe atenderse desde el primer día y no hay tiempo para sentarse a aprender un manual.

### 2.2 Macrorutas

Se denomina macrorutas a la división de la ciudad en sectores operativos, a la determinación del número de camiones necesarios en cada una y a la asignación de un

área del sector en cada vehículo recolector (SEDESOL, 1999).

Básicamente el macroruteo consiste en dos etapas: Proyecto de gabinete y Ajuste de campo; en el primero se hace el cálculo teórico de las necesidades y áreas asignadas a cada vehículo, y en el segundo se afinan los contornos de las mismas para balancearlos y nivelar las cargas de trabajo entre las diferentes cuadrillas. Los residuos peligrosos deben ser definitivamente excluidos de la recolección regular, debido a los peligros que entraña su recolección y disposición. En forma general, se puede decir que el diseño de las macrorutas se puede llevar a cabo de la siguiente manera:

**Sectorización.** Consiste en dividir la ciudad (si es lo suficientemente grande), en sectores operativos, de manera que cada uno tenga los vehículos de recolección requeridos, oficinas y garaje, buscando que sea una sección administrativa autónoma con servicios de mantenimiento preventivo y limpieza. Entre los criterios empleados para definir los sectores se encuentran, unidades de recolección, cañadas, avenidas, vías férreas.

**Zonificación del sector.** Cada sector se debe dividir en zonas que serán cubiertas por un vehículo recolector durante la semana. Para realizar esto se debe contar con cartografía asociada al sector, datos económicos de la zona que determinan el nivel de emisión, localización de puntos de emisión como hospitales, restaurantes, supermercados. Por último, es importante conocer el método de recolección a emplear y la frecuencia de recolección empleada.

### 2.3 Microrutas

Se denomina microruteo, al recorrido específico que deben realizar diariamente los vehículos recolectores de residuos sólidos, en los sectores de la ciudad donde han sido asignados (SEDESOL, 1999). El diseño de microrutas debe hacerse con base en una serie de factores variables de acuerdo con la ciudad en estudio, los cuales se enuncian a continuación:

- Plano que contenga; trazo urbano, topografía, ancho y tipo de calles y tipos de disposición final.

- Método de recolección.
- Equipo de recolección.
- Densidad de población.
- Generación de residuos sólidos

En forma general se puede decir que los métodos determinísticos son los más recomendables para el diseño de microrutas, ya que en ellos se pueden involucrar todos los parámetros que inciden en el diseño de las rutas de recolección de residuos sólidos. Además, con este tipo de métodos si se obtienen rutas óptimas de recolección de residuos sólidos. Ahora bien, dos de los más importantes métodos determinísticos son los siguientes:

- Algoritmo de Little para resolver el problema del agente viajero.
- Algoritmo del cartero chino.

El primero de ellos se aplica en los casos en que la demanda es discreta; el segundo, es ideal para los casos en que la demanda es continua o semicontinua. De acuerdo con lo último, el algoritmo de Little se debe utilizar cuando el método de recolección de residuos sólidos es exclusivamente de esquina o parada fija; mientras que con el algoritmo del cartero chino, se diseñaran las rutas de recolección de residuos sólidos, cuando la ciudad cuente con un método de recolección tipo acera o intradomiciliaria o bien alguna de sus variantes. (Cox-Little-O'Shea 1996)

## 2.4 Algoritmo de Little

Este algoritmo recibe dicha denominación en virtud de que Little J. D. C. et al, sugirió utilizar el algoritmo de "Branch and Bound" (ramal y zona limítrofe) de la solución de la ruta más corta del agente viajero.

Belmore and Nemhauser, recomiendan tres formas de reducir el tiempo y costo de computación de las rutas: mejora ruta a ruta; guía de ruta y la eliminación de rutas menores.

El teorema de Little:

$$L = \lambda w \quad \leftrightarrow \quad Q = \lambda w$$

Q = longitud media de la cola

$\lambda$  = razón media de llegada

w = tiempo medio de espera en cola

$$N = \lambda t$$

N = número medio de clientes en el sistema

t = tiempo medio de respuesta por cliente

Sea un sistema de colas con cualquier distribución de llegadas y servicios y cualquier estructura, Sean L el número de trabajos presentes en el sistema en el estado estacionario, W es tiempo medio de respuesta en el estado estacionario y  $\lambda$  la razón de llegadas al sistema, Entonces:

$$L = \lambda w$$

Este teorema propone:

- Explicación intuitiva: Supongamos que cobramos 1€ a cada trabajo por cada unidad de tiempo que pasa en el sistema, Habría dos maneras equivalentes de medir las ganancias:
- Colocando un recaudador a la entrada del sistema, le cobrará como media W a cada uno de los  $\lambda$  trabajos que vea pasar por unidad de tiempo
- Cada vez que transcurre una unidad de tiempo, cobro 1 € a cada uno de los L trabajos que como media hay en ese instante en el sistema
- Si aplicó el teorema a la cola, dejando fuera del sistema al servidor, obtengo el siguiente resultado, también muy útil:

$$L_q = \lambda w_q$$

Las dos fórmulas obtenidas nos sirven para ayudarnos a obtener los valores de las medidas de rendimiento, aunque necesitaremos otras ecuaciones para poder conseguir resultados explícitos

## 2.5 Mejora ruta a ruta

El analista va generando rutas solución hasta llegar a una ruta que le parezca satisfactoria; utilizando soluciones heurísticas, esto es, soluciones basadas en el conocimiento y experiencia del analista en mejorar las rutas. Esta solución empírica no garantiza una solución óptima pero sí una solución práctica.

## 2.6 Guía de ruta

En esta forma se plantea construir la ruta, siempre tomando la ruta más corta a la ciudad vecina.

La gran límite es a veces que elegir sólo la ciudad más cercana puede no optimizar la ruta, aunque si garantiza una solución práctica.

## 2.7 Eliminación de las rutas menores

Nuevamente se basa en consideraciones heurísticas, es decir, que secciones de la ruta le hacen alejarse de lo óptimo; y, en consecuencia el costo de una sección de la ruta rebasa el límite superior (o capacidad del vehículo recolector).

## 2.8 Algoritmo del cartero chino

Es una aplicación de la solución de redes de flujo con arcos (calles) dirigidos. Hay un número de rutas que se pueden trazar uniendo una serie de vértices de tal manera de visitarlos a todos al menos una vez. Euler planteó el problema de trasladar un desfile militar atravesando los siete puentes de su ciudad natal. Estudiando la configuración de los puentes y las calles encontró que no existía solución factible y propuso una serie de leyes matemáticas para hallar todos los recursos existentes en una red. Así se ha definido como un circuito Euler a toda ruta que, sea continua, que cubra cada arco de la red al menos una vez y que regrese a su punto de partida. (GRAPHES ET ALGORITHMES 1995)

Si los arcos no son uní cursivos, (en una sola dirección) se pueden utilizar reglas muy sencillas para saber si hay una solución de ruta Euler. Si el número de vértices en la red es un número impar, existe una solución tipo Euler; de ser un número par, no existe dicha solución y algunos arcos deben ser trazados más de una vez.

Fue una revista china de matemáticas donde se planteó por primera vez una solución óptima a un circuito Euler. Describiendo las actividades de un cartero en caminar su ruta postal (en otras palabras "la ruta del cartero chino"). En este problema la ruta buscada es la que reduce la distancia viajando a lo largo de las calles (arcos) un sentido único y de regreso a su central de correos.

Un diseño preliminar de macrorutas se puede hacer partiendo de la Población "P" de una zona de la ciudad, de la Producción de residuos sólidos en kg/hab/día "G" y de la frecuencia del servicio "F", expresado en días/semana. El número de días que transcurren entre dos recolecciones serán G/F, si no consideramos por el momento lo que ocurre los días domingo y se trabaja seis días por semana.

Con estos datos podemos establecer la siguiente igualdad:

$$(1) P \times G \times (G/F) = N \times C$$

Donde,

C= capacidad del vehículo en Kilogramos.

N= número de viajes por turno.

La expresión 1, indica que la capacidad disponible para la recolección de residuos debe ser igual a la basura emitida en el tiempo transcurrido entre dos recolecciones.

En muchos casos esta expresión se amplía mediante la incorporación de una tasa de cobertura (Tc) que permite la relajación del problema y un factor de reserva que permite la variabilidad de los residuos emitidos (Fr).

En muchos y ante la disponibilidad del mismo vehículo para diferentes rutas, se añade el factor de rutas (Vn) que indica el número de rutas que debe realizar un vehículo.

## 2.9 Población

Generalmente la vida de un proyecto de recolección es corta, entre 5 y 8 años, según la vida útil del equipo, por lo tanto, es necesario estimar la población durante unos 10 años y establecer un programa de reposición de equipo.

## 2.10 Frecuencia de la recolección

La frecuencia "F" resulta de las decisiones previas a tomar en la recolección; mientras menor sea la frecuencia, más económica es la recolección. La frecuencia en muchos casos depende del número de días de incubación de parásitos e insectos. Con estos datos, la frecuencia debe ser de al menos de 2 veces por semana y, como límite una vez por semana. En América Latina es un lujo

innecesario la recolección diaria por su alto costo y presenta riesgo para la salud la frecuencia menor a dos veces por semana.

Es importante considerar que en una ruta de recolección hay distancias productivas, es decir, aquellas en que se está cargando los residuos sólidos y, distancias muertas, en las que el vehículo se desplaza de un lugar a otro sin cumplir trabajo efectivo. Si llamamos "a" a la distancia productiva que puede recorrer el vehículo en el tiempo t, obtendremos la distancia que se cubre en la recolección:

$$(2) \quad km = \frac{axTxr}{60}$$

Puede ocurrir que:

$$(3) \quad \frac{P}{d} = \frac{a \times T \times r}{60}$$

Donde,

(d) es la densidad de la población medida en habitantes/km,

(a) proporción de distancia productiva en relación a distancia total recorrida,

(T) es el tiempo disponible para la recolección

( r ), velocidad del vehículo.

El diseño de rutas consiste principalmente en aumentar los valores de "a", es decir, que las distancias productivas sean máximas y que las longitudes muertas se reduzcan tanto como sea posible si resulta:

$$(4) \quad \frac{P}{d} > \frac{a \times T \times r}{60}$$

La densidad, d, es variable asociada al interior de la ciudad, por lo que al hacer los ajustes hay que establecerlas mediante censos locales.

La variable, "a", es la distancia que recorre el vehículo cargando residuos dividida por la distancia total que recorre la ruta, esta es medida en el SIG y suele variar entre 0.9 y 0.6.

El tiempo, T, disponible para recolección resulta de restar de la jornada legal de trabajo el tiempo empleado en ir desde el garaje al inicio de la recolección, el gastado en ir y regresar de los lugares de disposición y el regreso al garaje.

La velocidad de recolección, "r", es una constante en los países latinoamericanos, al menos en los sectores residenciales, y se puede establecer dividiendo la distancia recorrida en sus rutas existentes por el tiempo empleado. Dicha velocidad varía entre 1.5 y 1.9 km/hr.

e) Número de casas o usuarios por vehículo.

El número de casas o usuarios que puede servir un vehículo se estima a través de la siguiente fórmula:

$$(5) \quad U = \frac{N \times C \times F}{Hc \times G}$$

Donde:

U = Usuarios servidos por el vehículo en una jornada normal de trabajo.

N = Número de viajes que puede realizar el vehículo en la jornada.

C = Capacidad del vehículo, en kg.

F = Frecuencia de recolección.

Hc = Habitante promedio por casa o vivienda.

G = Producción de residuos sólidos en kg /hab/día.

### 3. RESULTADOS DEL CASO

Considere una población de 90.000 habitantes con una media de ocupación de 5.5 habitantes por vivienda con tasa de generación de 0.8 kg/hab-día. Se desea establecer una frecuencia de recolección de 3 días a la semana con una jornada laboral de 8 horas.

Se desea conocer el número de vehículos así como el número de viviendas que debe cubrir para disponer de una cobertura 100 % con capacidad del vehículo de 5,400 Kg (12 m<sup>3</sup> y cada metro cúbico contiene 450 kg de basura compactada). Así mismo, cada vehículo es asignado a dos rutas.

$$(6) \quad N_v = \frac{G \times P \times \text{Días} \times Fr \times Tc}{N \times C \times d_n}$$

El número de zonas

Con los datos siguientes determinar el número de vehículos y zonas del sector, número de Viviendas que deberá cubrir un vehículo a la semana y tamaño de la cuadrilla.

El número de vehículos y zonas a considerar sería:

$$N_v = \frac{0.8 \times 90.000 \times 7 \times 1.1 \times 1.0}{2 \times 4500 \times 6}$$

El resultado obtenido es de nueve vehículos o zonas.

Para estimar el número de casas cubiertas por un vehículo se usa la fórmula (5)

$$U = \frac{2 \times 5400 \times 3 / 7}{5.5 \times 0.8}$$

Cuyo resultado es de 1,052 viviendas, que con una frecuencia de visita de una vez cada dos días supone una cantidad de 2,104 viviendas/semana.

Por último, el tamaño de plantilla necesaria sería igual a tres hombres, este valor se ha obtenido a partir del número de viajes, por la capacidad de los vehículos dividido por el número de horas de trabajo y la capacidad de un operario día.

Después de efectuar la zonificación es necesario diseñar cada ruta en detalle, para lo cual es preciso considerar las reglas básicas, que se sustentan en una serie de factores variables de acuerdo con la localidad en cuestión, los cuales se enuncian a continuación:

- Traza urbana de la localidad
- Topografía de la localidad
- Ancho y tipo de las calles
- Método de recolección
- Equipo de recolección
- Densidad de población
- Generación de residuos sólidos

#### 4. CONCLUSIONES

Es necesario que tanto analistas como usuarios de microrutas de recolección conozcan las limitaciones de los algoritmos y de información útil que se puede obtener de su aplicación a una ruta y su comportamiento al ser usada en el campo. Los algoritmos son sólo "modelos de simulación" que permiten experimentar el comportamiento de todo sistema de manejo de los residuos sólidos y evaluar el desarrollo de los distintos componentes del mismo. Utilizando estos modelos, se pueden observar,

además, la eficiencia de cobertura, tiempos de traslado, tiempos muertos y otra información útil. Además, mediante una adecuada combinación de intuición, buen juicio para encontrar soluciones y apoyo tecnológico y financiero se puede lograr reducir los costos de recolección aún ante una extensión del servicio.

Un sistema de rutas bien diseñado, trae como consecuencia que el servicio de recolección y transporte de los residuos sólidos municipales sea eficiente. En otras palabras, una mejora notable en el diseño de rutas, reduce costos de operación y mantenimiento; reduce las distancias muertas; se modifica la proporción de las distancias productivas respecto a la distancia total recorrida; se da el servicio a toda la población tal como se ha proyectado; se aprovecha toda la capacidad de los vehículos recolectores; se aprovecha toda la jornada legal de trabajo; se obtiene mayor colaboración del personal al darse cuenta que los nuevos recorridos le permiten ahorrar trabajo improductivo. Además, permite en un momento dado adquirir más unidades de recolección.

Sin embargo, después de estar funcionando eficientemente un sistema, es preciso revisarlo una o dos veces al año, ya que es inevitable que se produzcan cambios en la ciudad. Dichos cambios pueden provocar aumento en la cantidad de residuos sólidos en algunos sectores, incremento en el tránsito en ciertas calles, sumarse nuevos sectores habitacionales, etc.

Por lo antes expuesto, el proceso para mejorar el sistema de recolección de residuos sólidos municipales, requiere de una atención ininterrumpida y responsable tanto de las autoridades involucradas como del público en general.

#### 5. LITERATURA CITADA

- Cox-Little-O'Shea. 1996. *Ideals, Varieties and Algorithms*. UTM Springer.
- Edmonds, J., Johnson, E. L. 1973. *Matching, Euler Tours and the Chinese Postman*, Match. Programan 5, 88-124.
- Secretaría de Desarrollo Social. 1998. *Manual de Técnicas Administrativas para el*

- Servicio de Limpia Municipal. Ed. Ingeniería para el Control de Residuos Municipales e Industriales, S.A. de C.V. D.F. México. 136 pp.
- Secretaría de Desarrollo Social. 1998. Manual de Técnicas Administrativas para el Servicio de Limpia Municipal. Ed. Ingeniería para el Control de Residuos Municipales e Industriales, S.A. de C.V. D.F. México. 110 pp.
- Ley General de Equilibrio Ecológico y Proyección al Ambiente (WBCSD, Cumbre de la Tierra en Río, 1992). Graphes et Algorithmes. Eyrolles. Paris.
- Gobierno del Estado de Tamaulipas México, Obras Públicas, Cd. Victoria Ayuntamiento Municipal 2005-2007.

## THERMAL AND MECHANICAL STRESS DISTRIBUTION ON A FRAME 7E TURBINE FIRST STAGE AIR-COOLED BLADE

L. Palacios-Pineda<sup>1</sup>, Z. Mazur.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Metalmeccánica, Instituto Tecnológico de Pachuca, Pachuca, Hidalgo, México. 42083, [Impalacios73@prodigy.net.m](mailto:Impalacios73@prodigy.net.m). <sup>2</sup>Gerencia de Turbomaquinaria, Instituto de Investigaciones Eléctricas, Cuernavaca, Morelos, México. 6249. [mazur@iie.org.mx](mailto:mazur@iie.org.mx)

**RESUMEN:** La exposición a altas temperaturas y cargas mecánicas durante la operación del álabo de la primera etapa de la turbina de gas condiciona su vida útil. Se presenta el análisis de esfuerzos de origen termomecánico de un álabo enfriado con aire de la primera etapa de una turbina de gas del tipo 7E. Las condiciones térmicas y de presión sobre el álabo se obtienen a partir de un análisis de fluidos computacionales y mediante el desarrollo de una herramienta computacional se transfiere esta información y se coloca como condición de frontera en el análisis de elemento finito, para obtener la distribución de esfuerzos. Adicionalmente, se muestra la evaluación del modelo de elemento finito, y finalmente se presenta la distribución de temperatura y esfuerzo en el componente. Se determina la ubicación del máximo esfuerzo y en esa zona se realiza un análisis metalográfico en un álabo que ha cumplido con sus horas de operación, con la finalidad de contrastar la información obtenida numéricamente. La correcta predicción de la distribución de esfuerzos permite tomar decisiones para extender la vida útil del componente.

**PALABRAS CLAVE:** Esfuerzo termomecánico, alabe enfriado, turbina de gas, extensión de vida útil.

**ABSTRACT:** Blade material micro-structural degradation is associated with the blade exposure to high operational temperature and high mechanical loads; this exposure reduces the blade life. An exhaustive thermo-mechanical analysis to a frame 7e turbine first stage air-cooled blade is presented. Thermal and flow boundary conditions are derived from blade CFD analysis, and a computational tool is obtained to transfer the CFD data to FEA analysis is developed. Computational model is evaluated in order to validate its numerical behavior. Blade temperature and stress distribution are presented, maximum thermal and mechanical stress blade location is analyzed by metallographic means from a used turbine blade and a complete correlation between predicted behavior and micro-structural degradation is found. This work is to be used to extend the blade life.

**KEY WORDS:** Thermomechanical Stress, cooled blade, gas turbine, extended life cycle.

### 1. INTRODUCTION

High-cycle fatigue of rotating turbine components is a serious problem since it has the potential to cause substantial damage. Highly loaded blades experience alternating stresses from aerodynamic excitation. The blades are subjected to phenomena such as stator wake, blade flutter, rotating stall, and acoustic resonance, but the link between fluid dynamics and structural mechanics must be established.

To achieve higher increased thermal efficiency of combined cycle power plants by increasing the inlet temperature of the gas turbine, a key feature is to maintain metal temperatures of blades and vanes below the allowable limits. Most gas turbines use air as a coolant, but alternatives such as water and steam have been studied [Fukuyama, et al., 1995], [Corman, 1995].

In the rotating blades gas temperature is 1266°C and pressure is 1.11 MPa. The available cooling air temperature is 410°C. The coolant is supplied in the root region through independent channels located at the leading

edge, midchord, and the trailing edge. Cooling air impinges on the inner surface of the leading edge, flowing out in the form of a showerhead through four staggered rows of exit holes. Turbulence is promoted in the channel by ridges leaning in the direction of airflow to improve cooling effectiveness.

The blades, also made by precision casting, are made of a Nickel-based single crystal superalloy because of its superior high-temperature strength. The cooling holes are electrodischarge machined, and the dovetail and shank portions are machined. This paper focuses on provide stress distribution on the air cooled turbine blade under the full load turbine operation.

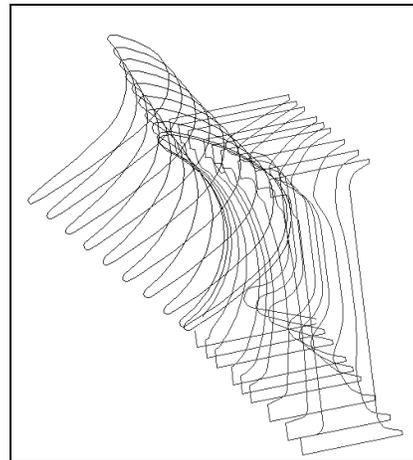
## 2. COMPUTATIONAL DOMAIN

In order to obtain the computational domain the physical blade, its root and platform have been measured by means of a coordinate measurement machine (CMM) (Figure 1).



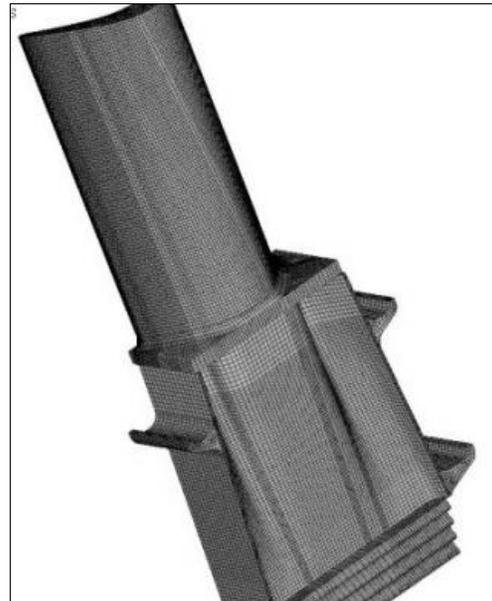
**Figure 1.** First stage air cooled blade measurement. Arrows indicate the MMC sensor displacement on the blade.

In figure 2 profiles derived from measurement are shown, these profiles are base for the surface construction and volume generation.



**Figure 2.** Wire model derived from blade measurement.

This blade has thirteen cooling holes [General Electric, 2000] that are located on the blade profile the meridian line. It is important to have control on the finite element model size, to do so it is fundamental to consider this at the time the geometry is being constructed and need to be performed a preliminary division in order to get a hexahedral meshing. The finite element model is showed in figure 3 and it has 193500 elements, with Ansys SOLID 45 element and a volume of  $0.852 \text{ m}^3$ .



**Figure 3.** Finite element model

**2.1. Model evaluation**

The computational model has been subjected to a couple of tests to determine its quality.

Initially the blade mass was obtained and compared with the mass derived from the computational model, it was founded a variation of less than once percent, values obtained are showed on table 1.

**Table 1.** Experimental and numerical blade mass comparative

Experimental mass [g]	Computational model mass [g]	Variation
6955	6903	0.74%

An experimental modal analysis has been carried out and results compared with numerical prediction results are showed in table 2 and can be observed a variation between the experimental and numerical analysis up to 11% for the first natural frequency.

The finite element model behaves in good agreement with the real blade from information presented in tables 1 and 2.

**Table 2.** Experimental and numerical blade natural frequencies

Natural frequency	Experimental frequency [Hz]	Numerical calculated frequency [Hz]	Variation
1	1679	1512	11.0 %
2	2134	2037	4.7%
3	2521	2412	4.5%
4	3568	3537	0.8%

**2.2. Material properties**

The blade material is INCONEL 738 and in the present work a variation of mechanical properties due to thermal conditions is

considered [EPRI, 2001]. Material properties and its change originated by temperature increment are showed in Table 3. Properties listed are thermal conductivity, density, young module, Poisson coefficient, thermal expansion coefficient and their variation with temperature.

**Table 3.** Material properties

T [°C]	K [mm <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> /(mm °C)]	ρ [kg/mm <sup>3</sup> ]
21.11	11835.06	8.11e-6
204.44	11835.06	8.11e-6
315.56	13711.35	8.11e-6
426.67	15587.64	8.11e-6
537.78	17752.59	8.11e-6
648.89	19773.21	8.11e-6

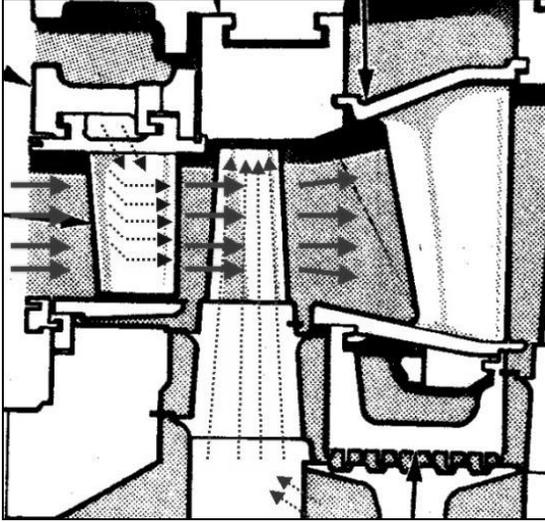
**Table 3 (Cont.).** Material properties

T [°C]	E [(N/mm <sup>2</sup> )]	ν [-]	α [mm/(mm °C)]
21.11	203.8e6	0.28	11.1e-6
204.44	193.3e6	0.27	12.0 e-6
315.56	187.7e6	0.28	13.3 e-6
426.67	182.1e6	0.28	14.5 e-6
537.78	177.9e6	0.30	16.2 e-6
648.89	170.2e6	0.30	16.2 e-6

**3. THERMOELASTIC ANALYSIS**

The cooling system impinges high pressure air from the 7<sup>th</sup> compressor stage through cylindrical channels located inside the blade. The main stream flow, due to combustion gases and cooling flow is illustrated in figure 4. To determined blade life need to be into account

the dynamic gas analysis to derive pressure field on the blade and temperature distribution.



**Figure 4.** Combustion gas trajectory (continued line) and cooling flow stream (dotted line) on the first stage blade.

Non uniform blade heating due to combustion gas and cooling flow stream on different parts of its geometry generates internal stresses of thermal origin, because of resultant dilatation is not able to develop in a uniform way.

In order to include this effect on constitutive equations we have the state equation (1) [Budynas, 1977], [Levi, 1980].

$$d\varepsilon_v = \frac{d\sigma_v}{3K} + \alpha \cdot dT \quad (1)$$

In finite terms

$$\sigma_m = 3K \cdot \varepsilon_m - 3K \cdot \alpha(T - T_0) \quad (2)$$

Where,  $\alpha$  is the linear thermal expansion coefficient and  $T_0$  a initial temperature.

Additionally,

$$(\varepsilon_x - \varepsilon_m) = \frac{1}{2G}(\sigma_x - \sigma_m)$$

and Lamé's parameter

$$\lambda = \frac{3K - 2G}{3}$$

So, (2) becomes

$$\sigma_x = (\sigma_x - \sigma_m) + \sigma_m$$

$$\sigma_x = 2G(\varepsilon_x - \varepsilon_m) + 3K \cdot \varepsilon_m - 3K \cdot \alpha(T - T_0)$$

$$\sigma_x = 2G + 3\lambda \cdot \varepsilon_m - 3K \cdot \alpha(T - T_0)$$

In other words,

$$\sigma_x = 2G \frac{\partial s_x}{\partial x} + \lambda \cdot \text{div } s - 3K\alpha(T - T_0) \quad (3)$$

This is the equation that consider the thermal expansion term. Equivalent formulas are derived for  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ . Equilibrium equation become into (4),

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = G\nabla^2 s_x + (G + \lambda) \frac{\partial}{\partial x} \text{div } s - 3K\alpha \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} = G\nabla^2 s_y + (G + \lambda) \frac{\partial}{\partial y} \text{div } s - 3K\alpha \frac{\partial T}{\partial y} \quad (4)$$

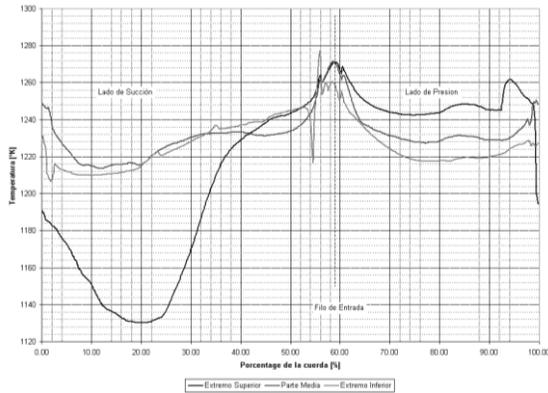
$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = G\nabla^2 s_z + (G + \lambda) \frac{\partial}{\partial z} \text{div } s - 3K\alpha \frac{\partial T}{\partial z}$$

Adding components of vector  $\rho f$ , making it equal to zero and adding in a vector way we can get the Navier & Cauchy equation that is fundamental for thermo elasticity analysis.

$$G\nabla^2 s + (G + \lambda) \text{grad div } s - 3K\alpha \text{grad } T + \rho f = 0 \quad (5)$$

All non uniform heating generates a volumetric force  $3K\alpha \text{grad } T$ , that it is needed to take into account in the volumetric forces  $\rho f$ , to establish their balance with resultant forces from internal stresses from mechanical origin.

In terms of finite element analysis it has been developed a coupled field analysis, transfer heat analysis results are introduced as boundary conditions to perform the structural analysis.

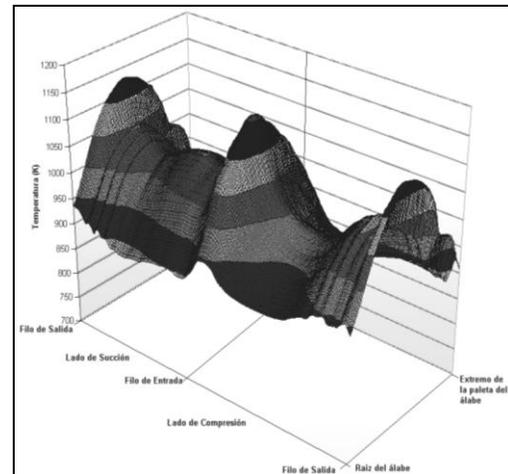


**Figure 5.** Typical temperature distributions on the external blade surface

### 3.1. Boundary conditions [7]

Temperature values that need to be imposed on the blade surface are derived from a previous flow analysis [IIE, 2003]. This information from previous analysis includes the external temperature and the temperature on the internal cooling channels. Additionally has been considered the turbine angular velocity of 3600 rpm.

Temperature on the external blade surface is showed in figure 5 meanwhile the 30 thousand temperature values applied on each node on the surface are plotted on the surface illustrated on figure 6.

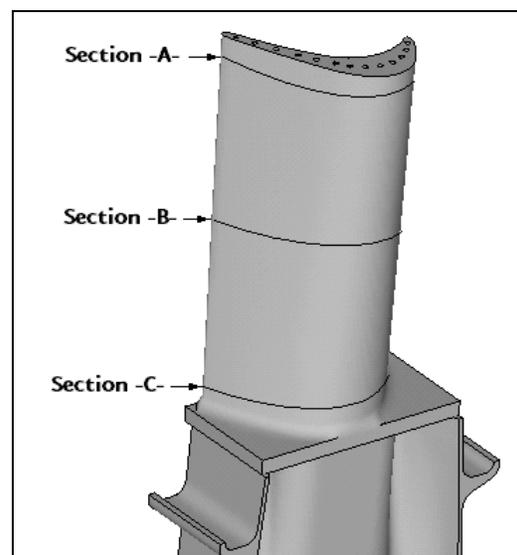


**Figure 6.** Temperature distributions on the surface blade.

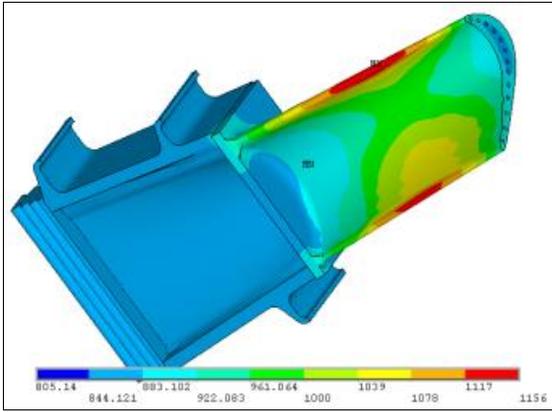
## 4. RESULTS

The cooling system impinges high pressure air from the 7<sup>th</sup> compressor stage through cylindrical channels located inside the blade. The main stream flow, due to combustion gases,

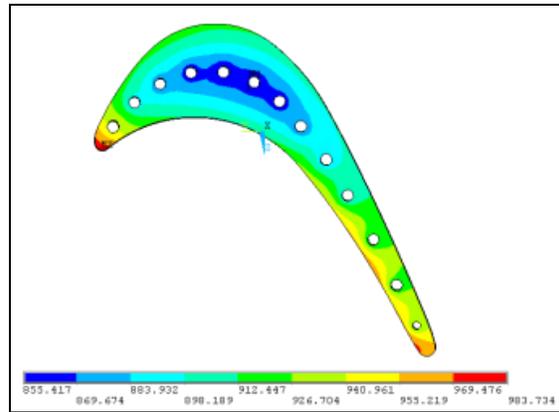
Blade section nomenclature is defined in figure 7, section -A- is located near the bladetip, section -B- is located on the blade half length and section -C- is located near the blade platform.



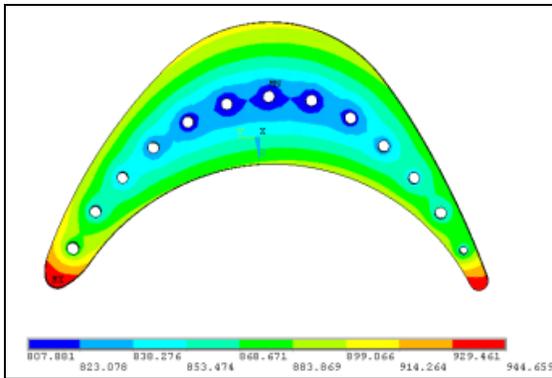
**Figure 7.** Results nomenclature.



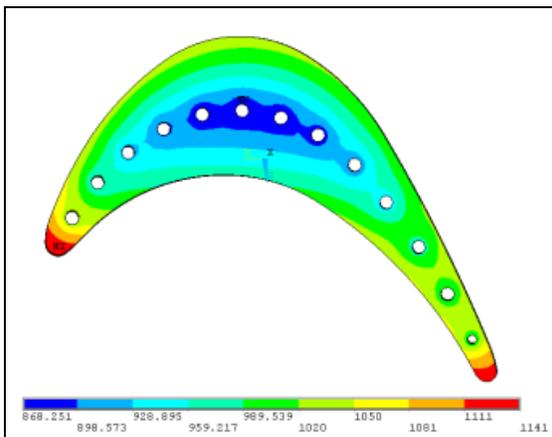
**Figure 8.** Temperature distributions on the surface blade [°C].



**Figure 11.** Temperature distributions in the blade [°C], section -A-. Refer to figure 6 for location.



**Figure 9.** Temperature distributions in the blade [°C], section -A-. Refer to figure 6 for location.

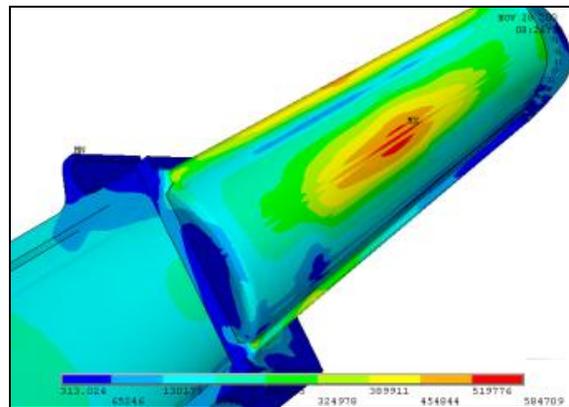


**Figure 10.** Temperature distributions in the blade [°C], section -B-. Refer to figure 6 for location.

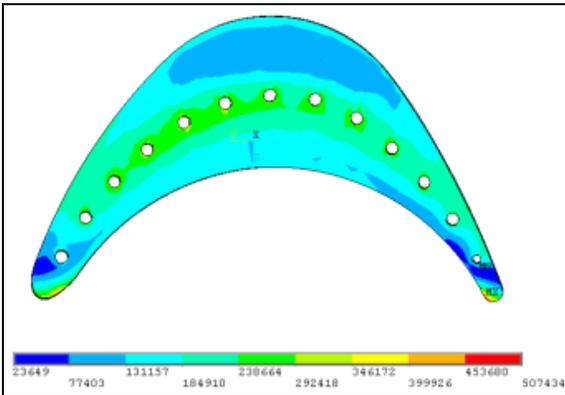
Temperature distribution on the blade is presented in figure 8, it can be seen mapped on the surface the boundary conditions applied and showed figure 5.

Figures 9, 10 and 11 show temperature distribution inside the blade in the sections defined in figure 7. While the cooling system allows reducing the maximum temperature in the blade it produces bigger temperature gradient. Major temperature gradients are located near the trailing edge, in the -C-section; on the central cooling channels, section -B- and on the blade suction side in section -A-temperature gradient.

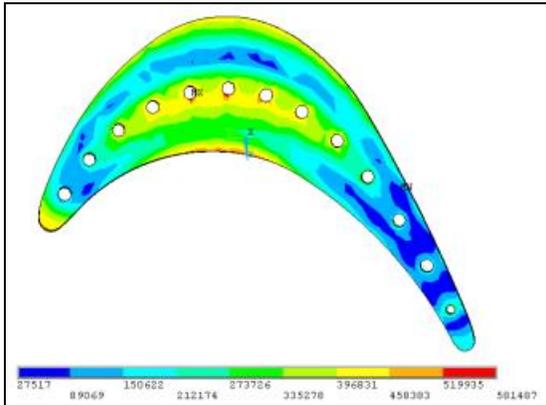
The Von Mises stress distribution on the external blade surface is illustrated in figure 12, the maximum value is located on the pressure side. Figures 13, 14 and 15 show the Von Mises stress inside the blade on the sections A, B and C.



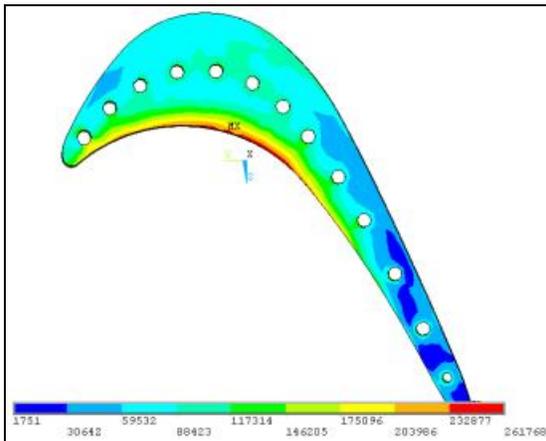
**Figure 12.** Von Mises stress distribution on the blade [kPa].



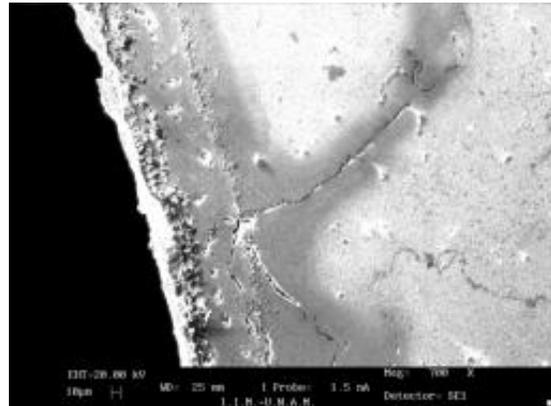
**Figure 13.** Von Mises stress distribution in the blade [kPa], section –A-. Refer to figure 5 for location.



**Figure 14.** Von Mises stress distribution in the blade [kPa], section –B-. Refer to figure 5 for location.



**Figure 15.** Von Mises stress distribution in the blade [kPa], section –C-. Refer to figure 5 for location.



**Figure 16.** Blade microstructures for a cooling channel on section –B-. This image corresponds to a blade with 24000 hours of service

## 5. CONCLUSION

A finite element model that behaves in a good agreement with the turbine air cooled blade was derived and built by hexahedral elements. A comprehensive method to impose boundary conditions from computational fluid analysis to finite element analysis was developed. Numerical results indicate that the maximum Von Mises stress values are in the section B on the central cooling channels, based on this information a micro structural analysis was performed and crack initiation was founded, see figure 16. The information derived in this paper is to be used in future work to obtain the blade life cycle.

## 6. LITERATURA CITADA

- Budynas, R. G. 1977. *Advanced Strength and Applied Stress Analysis*. Mc.Graw Hill.
- Corman, J. C. 1995. "A gas turbine combined cycle power generation system for the future," *Proceedings of the Yokohama Gas Turbine Congress*, Japan.
- Levi, E. 2001. *Elementos de Mecánica del Medio Continuo*. Limusa.
- EPRI Technical Report. 2001. EPRI, *Gas Turbine Blade Superalloy Material Property Handbook*. 100: 46-52.
- Fukuyama, Y. & F. Otomo. 1995. "Prediction of vane surface film cooling effectiveness using compressible Navier-Stokes

procedure and K-e turbulence model with wall function.” ASME Paper # 95-GT-25, New York.

General Electric, Inspection and Maintenance Manual GEK 72047, Volume III, GE MS7001.

Instituto de Investigaciones Eléctricas. “Caracterización de los materiales aplicados para álabes de turbinas de gas y los factores que limitan su vida residual”.

Internal report: IIE/43/12038/I004/F/DI/A9/V2.

Mazur Z., G. Urquiza, R. Campos & L.M. Palacios L. M. 2001. Simulación Numérica de Flujo Y Transferencia de Calor en Álabes de Turbinas de Gas. 3er Congreso de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas, México.

Swansow Inc., ANSYS, User’s Manual & Theory Reference, USA 2008.

## ESTUDIO COMPARATIVO DEL IMPACTO DEL USO DEL SOFTWARE EDUCATIVO "ALICE" EN LA ENSEÑANZA DE LA PROGRAMACIÓN ORIENTADA A OBJETOS

*S.I. Martínez-Guerra, M.P. Ramírez-Gil, L.C. García-Mundo, J.A. Vargas-Enríquez*

*Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, Laboratorio de Sistemas, Departamento de Sistemas y Computación. Boulevard Emilio Portes Gil 10301 Poniente, Cd. Victoria, Tams., C.P. 87010  
sylvia.mtz.g@itcv.edu.mx, pilar260280@hotmail.com, lilia.garcia@itcv.edu.mx, jvargd@itcv.edu.mx*

**RESUMEN:** Este artículo presenta los resultados preliminares obtenidos del estudio sobre el impacto que el software educativo "Alice 3D" tiene en la enseñanza de la Programación Orientada a Objetos en estudiantes de ingeniería. El propósito de este estudio es medir el rendimiento académico de los estudiantes de los cursos de POO que usan "Alice 3D" en comparación con el desempeño de los que no lo utilizan, con el fin de evaluar si el uso de esta herramienta de software ayuda a reducir la tasa de reprobación. El estudio se está realizando con estudiantes de Ingeniería en Sistemas Computacionales del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Los resultados de las evaluaciones parciales reflejaron que, en el grupo de alumnos donde se usó Alice como herramienta de apoyo, el índice de reprobación fue del 30% mientras que en el grupo donde no se utilizó fue del 60%.

**PALABRAS CLAVE:** POO, ALICE, 3D

**ABSTRACT:** This paper presents the preliminary findings of the study of the impact that "Alice 3D" educational software has in the teaching of Object Oriented Programming to college students. The purpose of this study is to measure the academic performance of students of OOP courses that use "Alice 3D" compared against the performance of those who don't use it, in order to assess that the use of this software tool helps to lower failure rates. The study is being performed with undergraduate students in Computer Systems Engineering at Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. The results of partial evaluations showed that, in the group of students where Alice was used as a support tool, the failure rate was 30% while in the group where it was not used the failure rate was 60%.

**KEY WORDS:** OOP, ALICE, 3D

### 1.- INTRODUCCIÓN

El presente artículo presenta los resultados preliminares que generó un estudio sobre el impacto del uso del software educativo "Alice" en la enseñanza de la Programación Orientada a Objetos. El estudio pretende medir el rendimiento académico de los alumnos de las materias de POO, de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales en el I.T.C.V., y comprobar que el uso de esta herramienta de software ayudará a disminuir los índices de reprobación de las mismas.

El software "Alice" fue desarrollado por la Universidad de Carnegie Mellon como apoyo para la enseñanza de la programación orientada a objetos. "Alice" es un software libre en cuya página web incluye tutoriales,

noticias, materiales, foros, blogs, testimonios y publicaciones. "Alice" ha sido utilizado con gran éxito en estudiantes sin experiencia de programación en Universidades como Ithaca College y Saint Joseph's, en donde se demostró que con el uso del software "Alice" se obtuvo un mayor rendimiento académico y retención en los conceptos de Programación Orientada a Objetos.

La programación de computadoras es una actividad difícil que requiere de mucha disciplina, por esta razón el estudio que se presenta está enfocado al uso de un software educativo que sirva de apoyo para la enseñanza de la programación.

La incorporación del software educativo 3D en el proceso educativo es un desafío en términos

de evaluación de resultados, estos recursos abren nuevas opciones didácticas, generando un cambio en el proceso de enseñanza - aprendizaje, al plantear innovadoras estrategias de enseñanza que deben implementar los docentes. Este estudio pretende beneficiar a los estudiantes con poca experiencia en el mundo de la programación, ya que el software propuesto ha tenido éxito en escuelas de E.U., al poner en práctica una nueva herramienta de la enseñanza de la POO, enfatizando que el uso de animación en 3D motiva a los estudiantes a aprender pues ofrece una opción diferente a los métodos tradicionalmente utilizados en la enseñanza de la programación.

## 2.- ANTECEDENTES

### 2.1. Problemas en la Enseñanza de la Programación

Se ha observado, mediante los reportes finales y las actas de calificaciones de los cursos que se imparten en las carreras de Ing. en Sistemas Computacionales y Licenciatura en Informática del Instituto Tecnológico de Ciudad Victoria que existe un alto porcentaje de reprobación en las materias que buscan enseñar al alumno los principios de la programación orientada a objetos. De acuerdo a los estándares establecidos en la propia institución, se considera "alto" aquel porcentaje de reprobación mayor al 50% para cualquiera de las unidades que conforman un programa académico. Esta situación ha provocado preocupación entre los docentes que imparten estas materias ya que se observa que, al no acreditar los cursos iniciales de programación, los alumnos pierden interés y disminuye su motivación para mejorar sus habilidades para la programación [2].

Ante esta situación, surge la necesidad de mejorar los procesos de enseñanza y aprendizaje. Una forma de hacerlo es aplicando nuevas herramientas educativas que ayuden a mejorar el rendimiento académico. En este sentido, debe impulsarse cualquier esfuerzo o experiencia innovadora para mejorar los cursos.

Existe la necesidad imperante de que los alumnos adquieran de manera sencilla los conocimientos básicos del paradigma de

programación orientada a objetos, por lo que cobra especial importancia la forma en cómo los alumnos aprenden.

Debido a que existen altos índices de deserción y de reprobación, se puede claramente identificar que existe un problema generalizado en las materias que se relacionan con aprender a programar utilizando algún lenguaje computacional.

Se han consultado el mismo problema en otras universidades, tal es el caso de la Escuela Politécnica de Ingenieros Técnicos Industriales de la Universidad de Málaga, donde se imparte la asignatura Fundamentos de Informática, como primer curso. El objetivo de esa asignatura es el de introducir al alumno en el mundo de la computación y conocer los conceptos básicos de la programación de computadoras. Durante sus últimos años en esta universidad han identificado problemas intrínsecos a la asignatura, analizando sus causas y evaluando la metodología docente empleada [3].

Desde el punto de vista del profesor, otra de las problemáticas que se presenta en la enseñanza de la programación en las ingenierías, es la falta de conocimientos previos en la materia. Existen alumnos que no han tenido contacto anterior con la programación y necesitan ciertos conocimientos previos a la programación. Todo esto provoca en los alumnos desmotivación y falta de interés [3].

López [8] señala que en la Universidad de Sonora:

La problemática que se presenta en los estudiantes en la enseñanza de la programación, es que se enseña directamente un lenguaje, como Java, sin una formación previa que desarrolle la lógica y el entendimiento. Los alumnos aprenden Java a prueba y error. Sí entienden los conceptos de Programación Orientada a Objetos en abstracto, pero a la hora de programar no pueden, cursan la materia pero sienten que no aprendieron. (p. 8)

Por otro lado, los alumnos buscan analogías directas de problemas resueltos en clase, pero

cuando se les presenta un problema nuevo, no tienden a aplicar los conceptos teóricos sino que aplican las mismas recetas, en el mismo orden [11].

Señala Villalobos [12], “el manejo de la motivación y la frustración como: programar es difícil, programar es aburrido, los resultados son muy bobos para el esfuerzo, podemos hacer algo más divertido y útil, al final, si funciona, es porque algo "mágico" sucedió, la impermeabilidad de los primeros cursos”. (p.10.)

El tiempo de clase es muchas veces desperdiciado, tratando de presentar algoritmos o teoría, que podrían ser explicados a través de herramientas computacionales.

Klaseen [7] señala que:

La investigación demuestra que el uso de gráficos y de animación es útil para una enseñanza eficaz y para conseguir estudiantes interesados en los cursos. Si se presentan los conceptos de programación en forma visual y animada. Los estudiantes encuentran divertido la enseñanza de la programación, ayuda a captar la atención del estudiante con actividades interesantes, mientras que un curso tradicional mantiene un requisito previo en la enseñanza de cualquier curso, por lo que la incorporación de animación mejorará el reclutamiento y retención del alumno (p.1)

Por lo anterior se pretende aplicar el software “Alice” por ser una herramienta visual y animada que permita atraer la atención del alumno en la clase, que comprenda de manera diferente la resolución de un problema que se plantee, retenga más su aprendizaje y lo motive para que obtenga un mejor rendimiento académico.

## 2.2. Software Educativo “Alice” para la Enseñanza de la Programación

Alice es un software libre desarrollado en Java, educativo, orientado a objetos, con un entorno de desarrollo asociado (IDE). Utiliza un entorno de arrastrar y soltar, para crear animaciones, utilizando modelos 3D. El software fue desarrollado por los

investigadores de la Universidad de Carnegie Mellon en EEUU, con inclusión de Randy Paush. En la Figura 2.2.1 se muestra un ejemplo elaborado por Paush sobre la ejecución de un programa en Alice.

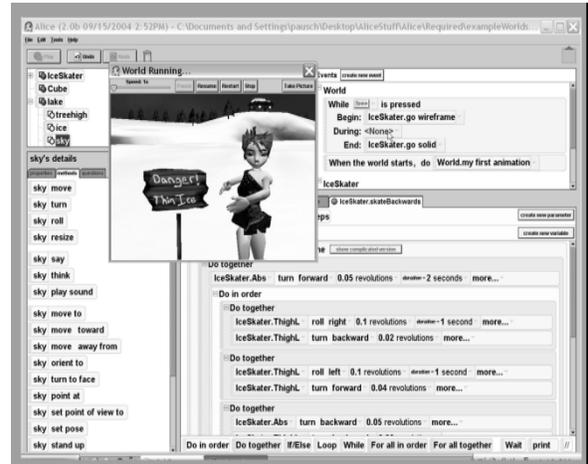


Figura 2.2.1 Ejemplo de un programa en Alice. (Fuente: [6])

Para diseñar un programa en “Alice” se realizan tres actividades como se muestra en la Figura2.2.2

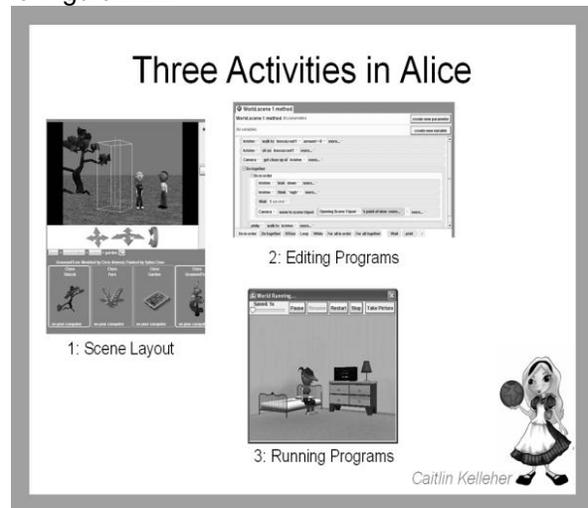


Figura 2.2.2 Actividades que se realizan en Alice: 1. Diseñar el escenario, 2. Editar el programa y 3. Ejecutar el programa (Fuente: [6])

Alice se desarrolló para abordar tres problemas básicos en la programación educativa [1].

1. La mayoría de los lenguajes de programación están diseñados para ser utilizables en "código de producción" por lo tanto, introducen más complejidad. "Alice" está diseñado exclusivamente para enseñar programación.
2. Apoya la orientación a objetos y el modelado orientado a eventos.
3. Está diseñado para atraer a poblaciones específicas que normalmente no son expuestas a la programación de computadoras, tales como estudiantes de la escuela, mediante el fomento de la narración de cuentos, a través de un simple arrastrar y soltar la interfaz.

El software "Alice" cuenta con su página web<sup>1</sup> que contiene materiales, tutoriales, libros, foros, noticias, publicaciones, testimonios, descargas y blog de esta herramienta.

### **2.3. Evidencias sobre la efectividad de la aplicación del software educativo "Alice" en escuelas**

La complejidad de los programas, que se desarrollan actualmente, produce la necesidad de iniciar a los alumnos en un camino, que los conduzca a utilizar efectivas técnicas de programación. Existen escuelas que buscan nuevas estrategias que permitan mejorar el proceso de enseñanza - aprendizaje de la programación como se presentan a continuación:

Con el apoyo de National Science Foundation (NSF) se llevó a cabo un proyecto de investigación, en Ithaca College (IC), sobre la efectividad del uso de "Alice" en la enseñanza de los conceptos básicos de programación, y en especial de la Programación Orientada a Objetos. En el estudio se demostró que los estudiantes que tomaron el curso apoyados con "Alice", mejoraron sus calificaciones de C a B en cursos posteriores de Programación, comparándolas con las obtenidas históricamente por los estudiantes, que no tomaron el curso. Además, el porcentaje de estudiantes que avanzaban a cursos superiores de programación pasó del 47% al 88% [9].

"Alice" es útil en la enseñanza de 3.000 universidades de los E.E.U.U., un 10% estimado enseña con "Alice" 2.0. Entre marzo de 2006 y marzo de 2007, el software fue transferido 440.540 veces, un número que se espera que se eleve súbitamente con la más nueva versión. Además, Prentice publicó 23.000 copias del libro de texto de ayuda, aprendiendo programar con "Alice" [4].

La Universidad Lutheran en el 2006, comprobó en un curso de programación, que "Alice" fue más efectivo en estudiantes tradicionales, que con estudiantes adultos. En sus estudios demuestran que hay más retención en estudiantes que utilizan gráficos 3D, mundos virtuales y sonido [7].

Señala Klassen [7] que los programas de Java se desarrollan con frecuencia en un editor de textos, lo que provoca un panorama desalentador, para el alumno que ha crecido con interfaces gráficas, video juegos, películas animadas y otras tecnologías multimedia. (p.1)

Stage3Research, en un estudio experimental demostró, que usar el software "Alice" hizo programar a más estudiantes mujeres, que a hombres. [5].

Otra Universidad que aplica "Alice" es la Universidad Duke, ofrece cursos de programación, los conceptos se estudian en 2D, 3D y mundos virtuales. En sus cursos utilizan karel++ y "Alice" junto con otras herramientas de programación visual. Así mismo, la Universidad de Bucknell utiliza "Alice" en un primer curso (3 semanas) de Ingeniería para formar fundamentos firmes en los programadores principiantes [7].

Rodger [10], aborda aplicaciones tridimensionales, para aumentar la retención en los alumnos que cursan computación. Una de las aplicaciones que ha utilizado es Alice y ha comprobado que su uso favorece la comprensión de la computación en los estudiantes universitarios y más en las mujeres que estudian un lenguaje de programación.

Kelleher, et al. [6] realizaron un examen extenso y una taxonomía de los lenguajes de programación y de los ambientes previstos para uso de programadores principiantes. Con

la prueba del usuario, encontró que las mujeres de la escuela secundaria utilizan características 3D y los objetos disponibles en la galería de "Alice" para encontrar inspiración en sus historias.

Trybus (citado en [6]), condujo una serie de talleres, para evaluar el impacto de los cambios realizados a "Alice" con apoyo de la narración. Ha hecho comparaciones de las diferentes versiones de Alice, como "Alice" y "StoryKids" para crear historias animadas.

"Alice" es un ambiente de programación que crea un ambiente menos frustrante para los estudiantes y ayuda en su aprendizaje. Es una herramienta que ha sido diseñada para enseñar y aprender los conceptos introductorios de programación. El equipo que desarrolló "Alice" ha creado materiales como apoyo para estudiantes y maestros que deseen como el libro titulado "*Learning to Program with Alice*".

### 3.- METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

#### 3.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se está realizando es aplicada. Puesto que la investigación aplicada busca resolver una problemática determinada.

Se está aplicando un enfoque cuantitativo, pues se pretende medir y evidenciar el nivel del rendimiento académico de los alumnos. Este enfoque nos permitirá probar nuestra hipótesis con base a los resultados obtenidos sobre el rendimiento académico. Se está exponiendo el software "Alice" en un grupo de Programación y se están comparando los resultados académicos obtenidos con los de otro grupo de estudiantes que no está utilizando el software en el mismo período escolar.

#### 3.2. Diseño de la Investigación

El tipo de diseño de la investigación es cuasi-experimental, el cual consiste en manipular deliberadamente al menos una variable independiente para observar su efecto y la relación con una variable dependiente.

Se están empleando grupos intactos, es decir, no es posible asignar en forma aleatoria los

sujetos o participantes a los grupos que están recibiendo el tratamiento experimental, pues los grupos existen como tales en la realidad, es decir los grupos ya habían sido integrados previo al experimento.

Se está empleando el diseño con post prueba únicamente y grupos intactos, utilizando dos grupos: uno recibe el tratamiento experimental y el otro no. Los grupos se están comparando en la post prueba para analizar si el tratamiento con el software "Alice" tuvo efecto sobre la variable dependiente que es el rendimiento académico de los alumnos.

Las variables en el diseño cuasi-experimental, que se están utilizando en esta investigación son:

1. Independiente: Tratamiento experimental que provoca efectos.
2. Dependiente: Efecto o consecuencia.

Los análisis estadísticos ayudan a esclarecer las relaciones entre todas las variables.

Esta investigación es de tipo correlacional, porque pretende responder a la siguiente pregunta: ¿El uso del software educativo "Alice" se asocia a un mayor rendimiento académico? este tipo de investigación tiene como objetivo medir el grado de relación que existe entre las dos variables definidas previamente, para conocer cómo se comportan. La correlación entre las variables significa que una varía cuando la otra también varía. Por ejemplo si usa el software, el tiempo de resolución de un ejercicio en el software "Alice" será menor en comparación con el que no lo usa. Medir la calificación del grupo A obtenida resolviendo correctamente el problema de programación a través del software y medir la calificación obtenida del grupo B que no usa el software.

En los dos grupos A y B se encuentra una relación entre el tiempo de respuesta de solución de un problema de programación usando el software "Alice" y se evalúa el rendimiento académico. Se supone que quienes usan el software "Alice" obtendrán mayor rendimiento académico. La correlación nos indica lo que ocurre en la mayoría de los casos.

### 3.3. Planteamiento del Problema

El problema se está abordando con una muestra de alumnos, en dos grupos de la Asignatura de Programación Orientada a Objetos de la Carrera de Ing. en Sistemas Computacionales del I.T.C.V., que tienen asignado el mismo profesor.

El propósito de este trabajo es demostrar, si un software educativo 3D de enseñanza de la programación orientada a objetos llamado "Alice", coadyuva de cierta manera a aumentar la comprensión y el rendimiento académico de los estudiantes de programación; se busca analizar, indagar, si existe una mejora en el aprendizaje de la POO, usando la aplicación de software educativo "Alice" para aprender los conceptos claves de la POO.

### 3.4. Justificación

La presente investigación se considera importante porque utiliza una herramienta útil para la enseñanza de la programación llamada "Alice" y sirve de apoyo para comprender los conceptos de la Programación Orientada a Objetos con animación en 3D, de manera divertida y fácil, evitando que el estudiante pierda interés por la programación.

En la página Web de "Alice" se publica una lista de todas las escuelas y universidades que utilizan el software para sus cursos de programación, destacando entre ellas: Arizona State University West, Carnegie Mellon University, California University of Pennsylvania, Ithaca College, Saint Joseph's University, entre otros. En México el ITESM lo aplica en sus cursos.

Por lo anterior es de vital importancia que, en las instituciones educativas de nivel superior, se tome conciencia de cómo impartir los cursos de programación, y que estos respondan a las expectativas del sector educativo y productivo.

Este tipo de investigación es de gran relevancia social dados los requerimientos actuales de nuestra sociedad, la cual exige una mejor preparación del nivel académico; por otro lado, esta investigación también beneficia a los estudiantes con poca experiencia en el mundo de la programación, al poner en práctica una nueva herramienta de la enseñanza de la POO

con animación 3D libre y diferente a lo que tradicionalmente se lleva a cabo en la enseñanza de la programación.

En este estudio se busca evidenciar al Software "Alice" como una herramienta que apoye de cierta manera el rendimiento académico de los alumnos que cursan materias de programación.

Por ser "Alice" una herramienta que ya ha sido utilizada y probada en otras escuelas se espera obtener resultados favorables que ayuden a resolver el problema de la enseñanza de la programación y del bajo rendimiento académico en los alumnos que cursan materias de programación, que les permita ver resultados en forma gráfica de sus programas y que estimule su creatividad mientras se les enseña los conceptos de Programación Orientada a Objetos.

### 3.5. Objetivos de la Investigación

#### 3.5.1. Generales

Verificar el impacto del Software Educativo "Alice", en el rendimiento académico de los alumnos.

#### 3.5.2. Específicos

Comparar si hay diferencias en el rendimiento académico de los alumnos usando un software educativo.

### 3.6. Muestra

Para efecto de esta investigación la muestra será de tipo no probabilística, se seleccionará una muestra de alumnos entre 19 y 20 años de edad,  $n$  mujeres y  $m$  hombres distribuidos en dos grupos homogéneos, que cursen la materia de Programación Orientada a Objetos de 3º semestre de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales, y que tengan asignado el mismo profesor.

### 3.7. Procedimiento

La muestra estará conformada por 100 alumnos aproximadamente, en un medio educativo con dos grupos que cursen la asignatura de Programación Orientada a Objeto, uno recibe el tratamiento y el otro no. Los grupos serán comparados para analizar si el software "Alice" 3D tiene impacto sobre el

rendimiento académico. Los grupos estarán divididos de la siguiente manera.

- Grupo A: (50 estudiantes de la materia de Programación Orientada a Objetos) grupo experimental.
- Grupo B: (50 estudiantes de la materia de Programación Orientada a Objetos) grupo de control.

Para medir la variable independiente, que es el uso del software “Alice”, el alumno deberá realizar en cada programa dentro del software “Alice” los siguientes pasos:

- Deberá crear un mundo virtual, creando los objetos y escenarios. El alumno puede crear video juegos y simulaciones en segunda y tercera dimensión (2D y 3D), utilizando un simulador gráfico.
- El alumno seleccionará una plantilla, Figura 3.7.1, “Alice” cuenta con plantillas para el fondo de cada escenario.

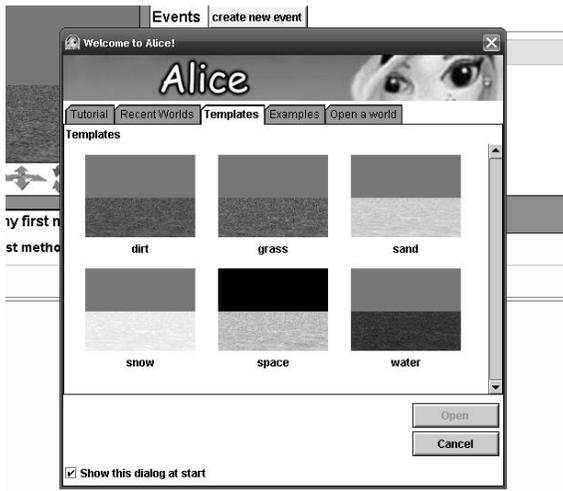


Figura 3.7.1. Selección de una plantilla para un escenario inicial.

- Una vez seleccionado una plantilla en el escenario, usar en el botón *addobjects* para agregar objetos, de los incluidos en la galería de objetos, al escenario, como se muestra en la Figura 3.7.2.

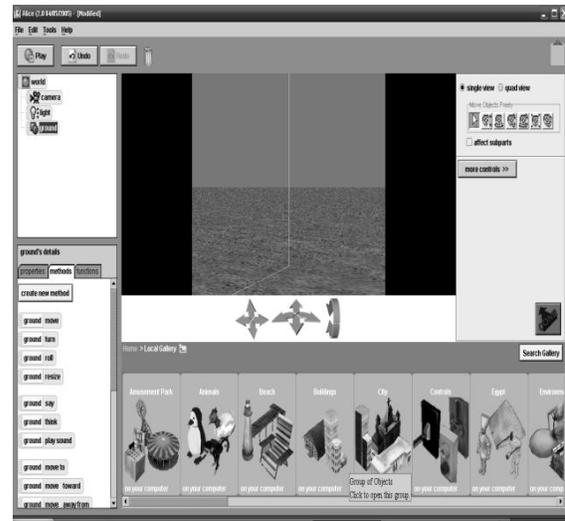


Figura 3.7.2. Objetos en Alice.

- Una vez seleccionados los objetos y agregados al escenario, el alumno deberá definir las propiedades y los métodos de cada objeto como se muestra en la Figura 3.7.3.

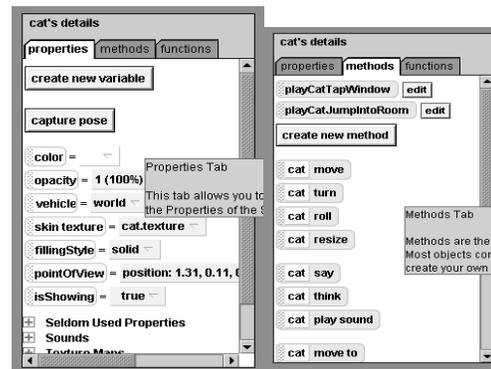


Figura 3.7.3. Ventana de propiedades y métodos de los objetos.

- El alumno debe narrar una historia con los objetos incluidos en el escenario.
- Posteriormente debe definir los parámetros de los programas para dirigir la animación dentro del mundo virtual.

Para obtener una calificación se medirá la variable dependiente, que es el desempeño académico, y se evaluarán los siguientes criterios:

Criterios a evaluar:

- Creación de un escenario, la creatividad.
- Definición de las propiedades, métodos, funciones y parámetro de los objetos, para que realicen las acciones y movimientos de los objetos.
- Ejecución del ejercicio, tiempo en desarrollar un ejercicio en "Alice".
- Tareas.
- Ejercicio en "Alice" en el laboratorio de cómputo.
- Participación en clase.

Para probar las hipótesis se diseñará un experimento en el que se someterán a prueba la variable independiente (uso del software Alice) y la variable dependiente (el rendimiento académico).

La hipótesis alternativa planteada es que: El uso del software "Alice" se asociará con un mayor rendimiento académico. Por lo anterior se tomarán dos grupos de alumnos de la materia de Programación Orientada a Objetos, el grupo A recibe la enseñanza de la programación mediante el software "Alice" y el grupo B no.

Para llevar a cabo esta investigación se debe contar con hardware y software que a continuación se describen:

Hardware a utilizar:

El Laboratorio de Sistemas del Instituto Tecnológico de Cd. Victoria, cuenta con tres salas de cómputo, S1, S2 y S3. En las salas S1 y S2 se descargará e instalará gratis la versión de "Alice" 2.2 que se encuentra en línea en la página oficial del software.

Los requerimientos del sistema para instalar "Alice" son:

Windows 7, Vista, XP, o 2000  
Intel Pentium II o procesador equivalente  
Una tarjeta gráfica VGA (16 bit) color y resolución de 1024x768 (tarjeta de video 3D recomendada)  
512MB de RAM (1GB recomendada)  
Una tarjeta de sonido

Equipo del Laboratorio de Cómputo del ITCV:

50 Monitores de Panel Plano, CPU's de la marca DELL y 50 procesadores Intel.

Memoria RAM: 512 MG  
Disco Duro: 80 GB  
Tarjeta de Video y Sonido.

Software a utilizar:

- ✓ Paquete Excel. Versión Microsoft Office 2007. Que servirá para registrar y almacenar la información de las calificaciones obtenidas, para diseñar y construir los resultados obtenidos y poder compararlos entre de los grupos A y B.
- ✓ Software Educativo "Alice" versión 2.2.

Requerimientos de software para utilizar el software Alice: Java, Java 3D, y Java Media Framework

### 3.8. Instrumentos de medición

Para medir la relación existente entre las variables que se plantean, se utiliza como instrumento de medición la aplicación de ejercicios. Los estudiantes que utilizan el software Alice, grupo experimental, deben diseñar y ejecutar ejercicios que les permitan comprender claramente los conceptos de POO. Para evaluar el conocimiento y la habilidad de programación en Java, se solicitará en ambos grupos la solución de los problemas diseñados en el curso de POO. Los problemas que se plantearán serán los mismos para los dos grupos de alumnos.

Para determinar el desempeño académico se compararán las calificaciones parciales y finales obtenidas en los dos grupos.

## 4.- RESULTADOS PRELIMINARES

El experimento se está realizando con un grupo de alumnos de la materia del POO, de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales del ITCV, en el semestre Enero Junio de 2010.

En el grupo donde se está realizando el experimento, se utiliza la herramienta "Alice" durante el periodo de tiempo en el que se cubren las unidades 1, 2 y 3 del curso de POO. El objetivo de estas 3 unidades es que los alumnos logren la comprensión y aplicación de los conceptos fundamentales de POO. Las principales actividades realizadas en el grupo experimental fueron las siguientes:

Primero, para lograr que los alumnos se familiarizaran con el software "Alice", se impartieron 3 sesiones de inducción.

Posteriormente se solicitó a los alumnos la realización de 10 prácticas en las que se planteaban problemas reales a resolver, y como actividad final se solicitó a los alumnos realizar el diseño y proporcionar la solución a una problemática real.

Una vez realizadas estas actividades en el grupo experimental, se procedió a la aplicación de los exámenes prácticos regulares a los dos grupos de trabajo: el que utilizó Alice como herramienta de apoyo y el que no la utilizó.

Los resultados de estas evaluaciones parciales reflejaron que, en el grupo de alumnos donde se usó Alice como herramienta de apoyo, el índice de reprobación fue del 30% mientras que en el grupo donde no se utilizó fue del 60%.

## 5.- CONCLUSIONES

Los maestros de enseñanza de la programación tienen la oportunidad de implementar software que facilite el aprendizaje de los alumnos. En la actualidad se han desarrollado nuevas formas de aprender a programar, herramientas con recursos visuales y de animación para que motiven a los alumnos en su proceso de enseñanza-aprendizaje.

El uso del software Alice como apoyo a la enseñanza de POO en un grupo experimental de alumnos del ITCV, hasta ahora ha arrojado resultados que reflejan un decremento considerable en el índice de reprobación respecto al grupo de alumnos que no usó "Alice", sin embargo es necesario concluir el semestre Enero Junio 2010, para obtener los resultados finales de la materia de POO, y realizar las comparaciones con ambos grupos: el experimental y el de control.

## 6. LITERATURA CITADA

- [ 1 ] Sitio Oficial de "Alice". Recuperado en Agosto 2009 en: [www.alice.org](http://www.alice.org).
- [ 2 ] *Reunión de Academia de Sistemas (2007)*, Depto. de Sistemas Computacionales. Instituto Tecnológico de Cd. Victoria (I.T.C.V.).
- [ 3 ] Aranda, M.C., Fernández, A.J., Galindo, J., Trella, M. (2001). "*Valoración del marco docente de la informática en la Ingeniería Técnica Industrial: Propuesta de una nueva metodología*". Actas de las VII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática, J. Miró (ed.), Palma de Mallorca, 2001
- [ 4 ] Cosgrove, Dennis (2007). "*El Alice Tea Party*". Ponencia presentada en ACM SIGCSE, Marzo 2007.
- [ 5 ] Bergin, J., Stehlik, M., Roberts, J. y Patris, R.: "*A Gentle Introduction to the Art of Object-Oriented Programming in Java*". Dream Songs Press, 2005
- [ 6 ] Kelleher, C. y Pausch, R.: "*Lessons Learned from Designing a Programming System to Support Middle School Girls Creating Animated Stories*", vlhcc, pp.165-172, Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC'06), 2006
- [ 7 ] Klassen, M.: "*Visual Approach for Teaching Programming Concepts*", En: 9th International Conference on Engineering Education Conference Proceedings. San Juan, PR., July 2006.
- [ 8 ] López, L.: "*Metodología de la Programación Orientada a Objetos*", Alfaomega, 2006.
- [ 9 ] Moskal M., Lurie D., Cooper S.: "*Evaluating the Effectiveness of a New Instructional Approach*", En: SIGCSE Conference. Norfolk, VA., 2000.
- [ 10 ] Rodger S. (2007). "Alice materials web site". Recuperado en Agosto del 2009 en: <http://www.cs.duke.edu/csed/alice>
- [ 11 ] Salomó, M., Camps J., Vallesp, C., et al: "*Iniciativas para motivar a los alumnos de programación*". En las actas de las VII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática. José Miró. Universitat de les Illes Balears, 2001
- [ 12 ] Villalobos J., Casallas R., Tutorial: "*Como enseñar a programar un enfoque efectivo*". Recuperado en Agosto del 2009 en: <http://cupi2.uniandes.edu.co/>

## CONSTRUCTION OF BINARY COVERING ARRAYS USING SIMULATED ANNEALING

E. Covarrubias-Flores<sup>1</sup>, J. Torres-Jiménez<sup>2</sup>, E. Rodríguez-Tello<sup>2</sup>,  
N. Rangel-Valdez<sup>2</sup>, R. Infante-Ventura<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico de Cd. Victoria. Blvd. Emilio Portes Gil # 1301, CP 87010, Cd. Victoria, Tamaulipas, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Km. 5.5 carr. Victoria-Soto La Marina CP. 87130 Cd. Victoria, Tam. {esmeralda,reginoi}@itcv.edu.mx, {jtj,ertello,nrangel}@tamps.cinvestav.mx

**ABSTRACT:** Empirical studies on software testing indicate that software failures can be reduced if all the interactions among parameters, produced by each subset of parameters of a size  $t$ , are included during the software testing. When the size  $t$  of the subsets grows then the software will be more reliable. The set of Covering Array (CA) may improve the testing software process by creating a minimum set of test cases with the maximum possibility of testing the functionality of the developed software. The set of test cases includes the desired interactions between parameters, where the size  $t$  of the subsets is called the strength of the CA. In this paper a Simulated Annealing approach (SA) that constructs binary CA of variable strength is presented. This approach is based on a variable neighborhood function and on a parameter tuning phase (specifically we tuned the neighborhood function and the cooling schedule). The implemented algorithm solved a benchmark with 57 cases of strengths 3 and 4 reaching the best known results.

**KEYWORDS:** Simulated Annealing, Parameter Tuning, Variable Neighborhood Function, Covering Arrays.

**RESUMEN:** Estudios empíricos en pruebas de software indican que las fallas de software pueden reducirse si todas las interacciones entre parámetros, producidas por cada subconjunto de parámetros de tamaño  $t$ , son incluidas durante las pruebas de software. El conjunto del Covering Array (CA) puede mejorar el proceso de pruebas de software, creando un conjunto mínimo de casos de prueba, incluyendo las interacciones deseadas entre parámetros, donde el tamaño  $t$  del subconjunto es llamado la *fuerza* del CA. En este artículo se propone un enfoque del Simulated Annealing (SA), que construye CA binarios de fuerza variable. Esta propuesta está basada en una función de vecindad variable y en una fase de sintonización de parámetros (específicamente sintonizamos la función de vecindad y el esquema de enfriamiento). El algoritmo implementado resuelve un conjunto de 57 casos de fuerza 3 y 4 alcanzando los mejores resultados conocidos.

**PALABRAS CLAVE:** Recocido Simulado, sintonización de parámetros, función de vecindad variable, Covering Arrays.

### 1. INTRODUCTION

Making tests is a widely used way to assure the quality of the software that will be offered to the market. According to a NIST (National Institute using an adequate infrastructure is \$22.2 billion. These quantities respectively represent the 0.6 and 0.2 percent of the U.S. \$10 trillion dollar GDP. Column 2 of the table 1 describes the costs of software failures; 40 percent of the costs are generated during the development of software while the rest occurs when the

of Standards and Technology) research report written in 2002 by Gregory Tassej (Tassej 2002), the national annual estimated cost of an inadequate infrastructure for software testing is \$59.5 billion dollar; the potential cost reduction

software is already in use. In column 3 the savings achieved by improving the software testing infrastructure are shown. It is possible to see that a third of the costs can be reduced. Assuming that we have a software with 10 parameters and each one has 2 possible values, to test that this software is failures free,

we must test  $2^{10}$  combinations. With this simple example we can see that increasing the number of parameters makes impractical to use this exhaustive approach.

An alternative to improve the testing software process is the creation of tools that generate test cases in an automatic way. Through the computation of CA's, it is possible to obtain a minimum set of test cases, with the maximum possibility of testing the functionality of the developed software.

The set of test cases includes the desired interactions between parameters. The size  $t$  of the subsets from which the interactions are produced is called the strength of the CA. When the size  $t$  of the subsets grows then the software will be more reliable (but the size of the CA also grows).

In this paper, an implementation of a Simulated Annealing algorithm (Kirkpatrick 1983, van Laarhoven 1999) for the construction of variable strength binary CA's is presented. This algorithm integrates several important features such as the initialization of the columns of the CA with balanced symbols, a tuning approach of its parameters and the use of 2 perturbation operators as the neighborhood function. The rest of the paper is organized as follows. In section 2 some concepts about the CA are described. Section 3 expounds the Simulated Annealing algorithm. In section 4 the implementation of the Simulated Annealing algorithm is presented; in this section the tuning process and the variable neighborhood function are described. In section 5 the computational results are shown. And finally, in section 6 the conclusions are reported.

## 2. COVERING ARRAYS

The first use of combinatorial objects for testing and/or experimental design was made through the mathematical objects called Orthogonal Arrays (OA) (Hedayat 1999). An OA is defined using the notation  $OA_{\lambda}(N; k, v, t)$ : it is an array of items with values  $\{0, 1, \dots, v-1\}$ , where:

- $N$ : Indicates the number of test cases.
- $k$ : Corresponds to the number of parameters.
- $v$ : Is the number of values for each parameter.
- $t$ : Is the interaction degree, known as strength.
- $\lambda$ : Is the number of times each  $v^t$  combination must appear.

Each subarray of size  $N \times t$  contains all the possible  $v^t$  combinations exactly  $\lambda$  times.

A CA is a special case of an OA. This is represented by  $CA(N; k, v, t)$  and is a matrix of size  $N \times k$  elements, in which each  $N \times t$  subarray contains all the  $v^t$  combinations at least once. A  $CA(N; k, v, t)$  is optimal if the value of  $N$  is the minimum possible given  $k, v, t$  values. The determination of an optimal Covering Array  $CA(N; k, v, t)$  has been studied by many researchers (Hnich 2006, Meagher 2005, Nurmela 2004), but only in a few cases are known polynomial order algorithms, for example: the case  $CA(N; k, 2, 2)$  (Torres-Jimenez 2004) and the case  $CA(p^{2n}, p^n + 1, p^n, 2)$ , (Laywine 1999, Lidl 1997) in which the alphabet  $v = p^n$  is a power of a prime number.

**Table 1.** Costs of an Inadequate Software Testing Infrastructure on the U.S.A. Economy

	The Cost of Inadequate Software Testing Infrastructure (billions)	Potential Cost Reduction from Feasible Infrastructure Improvements (billions)
Software developers	\$21.2	\$10.6
Software users	\$38.3	\$11.7
Total	\$59.5	\$22.2

Generally, constructing CA is an NP-Complete problem (Garey 1979)<sup>1</sup>, this implies that there are not known polynomial order algorithms to solve the CA and an exhaustive algorithm would require exponential computing resources. Nowadays, there are several algorithms published, which are useful in the generation of test cases for software. These algorithms can be classified as heuristics, metaheuristics and recursive constructions. The heuristic algorithms try to find good solutions as fast as possible, but do not guarantee to find an optimal solution. Two heuristic algorithms used to solve binary CA of variable strength are the Automatic Efficient Testcase Generator (AETG) (Cohen 1997) and the In-Parameter-Order-General (IPOG) (Lei 2007). The AETG algorithm is a commercial software, it constructs CA by adding one row to the solution until all t-tuples have been covered. The row added to the CA is the one that covers the greatest number of t-tuples from a set of candidates. The IPOG algorithm is an strategy that represents the generalization of the algorithm proposed in (Lei 1998). It generates a t-wise test set for the first t parameters. Then, it extends it for the first t+1 parameters and continues to do so for each additional parameter. The extension of a test set includes two steps: horizontal growth, which means to add one value of the new parameter; and vertical growth, which adds new tests after the completion of the horizontal growth. The most recent and available tool for constructing CA of strength  $2 \leq t \leq 6$  is FireEye (Lei 2007). This tool implements five algorithms based on the IPOG strategy. These algorithms are IPOG, PaintBall, IPOG D, IPOD F, e IPOG F2.

The metaheuristic algorithms generate better CA (with less rows) but it consumes more CPU time than the heuristic algorithms. Some metaheuristics that have been used to solve the CA problem are: Simulated Annealing (SA) (Cohen 2003, 2008, Stevens 1999), Tabu Search (TS) (Nurmela 2004) and Genetic Algorithms (GA) (Stardom 2001).

The algorithms that use recursive constructions generate a number of small CA and with them build CA of greater size. These algorithms have been used in (Cohen 2003, 2008, Stevens 1999) to construct CA. In the next section the SA approach used to solve the CA problem will be presented.

### 3. SIMULATED ANNEALING ALGORITHM

The Simulated Annealing Algorithm (SA) (Kirkpatrick 1983, van Laarhoven 1999) is based on the analogy between the simulation of the annealing of solids and the problem of solving large combinatorial optimization problems. In condensed matter physics, annealing denotes a physical process in which: firstly, a solid is heated up by increasing its temperature to a maximum value; and secondly the solid is cooled so that its particles arrange in the low energy ground state of a corresponding lattice. This low energy state is achieved once that the temperature of the solid in its liquid phase is slowly lowered.

The analogy between the optimization of a problem and the process already described can be seen in this way: the solid becomes the problem, the energy is represented by the objective function being optimized, and the low energy state is achieved through a cooling process defined by an initial and final temperatures and a factor for decreasing the initial temperature. During the optimization of a problem, the SA performs random movements over the system. When the energy of the system decreases, the movements are accepted immediately. On the other hand, when a movement produces an increase in the energy, it is accepted according to the Boltzman distribution. Following this way, while the temperatures remain high, the acceptance probability is almost 1; consequently, the probability of being caught in a local optimum or in a plateau is minimal. In this way the algorithm produces a Markov chain which approximate to a thermal equilibrium. The algorithm 3.1 shows the simulated annealing pseudocode.

---

<sup>1</sup> NP are problems for which there is not known algorithm that can solve them in polynomial time in a Deterministic Turing Machine

**Algorithm 3.1: Simulated annealing**

```

SIMULATED ANNEALING()
u ← initial solution
Ti ← initial temperature
Tf ← final temperature
L ← length of Markov chain
α ← cooling factor

do {
  for l ← to L
    generate neighbor v ← u
    if f(v) >= f(u) or random[0,1] < e-(f(v)-f(u))/v
      then {
        u ← v
        if f(u) = 0
          then l ← L
      }
  }
l++

Ti ← Ti * α
while (f(u) = 0 or Ti = Tf)
  
```

of the implementation of the SA for the purpose of this paper are described in the next section. Next related work that uses simulated annealing to solve the CA problem is described.

Brett Stevens (Stevens 1999) uses a SA to build small transversal covers (TC)<sup>2</sup>. A TC is formed by blocks, which are rows when it is seen as a CA. The algorithm initially creates a random solution for the TC instance and after that it performs a binary search for the best TC. The neighborhood function randomly chooses a block and modifies one of its elements. The evaluation function minimizes the number of uncovered pairs in the TC. This SA algorithm implementation was used to solve TC instances with alphabet  $3 \leq g \leq 7$  and  $k \leq 50$  parameters. Given that TC and CA of strength 2 have equivalent formulations, the results of this SA algorithm are valid for CA's with the same alphabet and number of parameters.

(Cohen et al. 2003, 2008, Stevens1999) uses SA in combination with recursive combinatorial constructions to build CA of strength  $t = 3$  and homogeneous alphabets  $v \geq 3$ . In these approaches, the initial solution is created by filling a bidimensional array  $A$  of size  $N \times k$  with random chosen values of the defined alphabet  $v$ . The neighborhood function randomly selects

an element  $a_{ij} \in A$  and modifies its value. The evaluation function minimizes the number of uncovered t-sets, i.e., the missing 3-combinations in the CA. Next section presents implementation details of our SA used to construct variable strength binary CA.

**4. IMPLEMENTATION OF THE SA**

The main features of the implemented SA are: a) an initialization with balanced symbols; b) a cooling schedule and neighborhood function tuned using a small set of possible choices.

**4.1 Initial solution**

A good CA initialization is very important. It was observed that good binary CA's have a balance in the number of different symbols that appear in the columns. In this research work a CA was randomly initialized generating an array  $M$  of size  $N \times k$  where the number of symbols (zeros and ones) in each column of the array  $M$  are

balanced; i.e., it has  $\frac{N}{2}$  1's and the same number of 0's in each column. For the cases in

which  $N$  is odd, it can have  $\lfloor \frac{N}{2} \rfloor + 1$  ones and  $\lfloor \frac{N}{2} \rfloor$  zeros or vice versa.

**4.2 Evaluation Function**

The evaluation function used in this work is the most common function reported in the literature (Cohen 2003, 2008, Stevens 1999), i.e., the number of missing t-wise combinations. Let  $M$  represent the array in the SA of size  $N \times k$ ; let  $m$  be a subarray of  $M$  of size  $N \times t$ ; let  $r$  be an array of size  $1 \times t$  in  $m$ , representing part of a row in  $M$ ; and let  $c_m = \{r | r \in \{0, 1, \dots, v - 1\}^t, r \in m\}$ . The evaluation function  $cost(M)$  can be defined as shown in the Equation 1 (duplicated  $r$ 's are eliminated).

<sup>2</sup> TC are mathematical objects similar to CA. (Stevens 1999) claims that a TC(k,v:n) can be represented as a CA by listing the blocks of the covers one by one on top of each other as row vectors, producing a  $N \times k$  arrays of v-ary values

$$\text{cost}(M) = \binom{k}{t} v^t - \sum_{m \subseteq M} |c_m| \quad (1)$$

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>
<b>0</b>								
<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>
<b>1</b>								
<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
	(a)			(b)			(c)	

$$\text{cost}(M) = \binom{k}{t} v^t - (|c_{ab}| + |c_{ac}| + |c_{bc}|)$$

$$\text{cost}(M) = (3)(2^2) - (3 + 4 + 3) = 12 - 10 = 2$$

(d)

Fig. 1. Example of the function  $\text{cost}(M)$  over a matrix  $M$  of size  $4 \times 3$ .

In Figure 1 is shown an example of the evaluation function  $\text{cost}(M)$  over a particular array  $M$  of size  $4 \times 3$ . The subarrays  $m$  are shown in figures 1(a), 1(b) and 1(c) in bolted fonts. The cardinality of the sets  $c_m$  corresponding to each subarray  $m$  are:  $c_{ab} = \{(0, 0), (0, 1), (1, 1)\}$ ,  $c_{ac} = \{(0, 0), (0, 1), (1, 0), (1, 1)\}$  and  $c_{bc} = \{(0, 0), (1, 0), (1, 1)\}$ . The result from the evaluation function is 2 shown in figure 1(d), meaning that there are only two missing combinations in the array  $M$  ((1, 0) and (0, 1)). These combinations corresponds to the subarray  $m$  formed by columns a, b; and to the subarray  $m$  composed by columns b, c, respectively.

### 4.3 Neighborhood function

The purpose of a neighborhood function is to make small perturbations to the solution in order to explore close solutions. It has been observed that hard optimization problems can be benefitted when more than one neighborhood function are used to solve them, as reported in (Avanthay 2003, Mladenovirk 1997, Rodriguez 2008). Following this ideas, in this work five neighborhood functions for the binary CA problem are proposed. In order to describe the neighborhood functions, the following notation will be used. The array  $M$  will represent the current solution in the SA. The function  $\text{complement}(M, i, j)$  over an array  $M$  produces a new array  $M'$  whose values are exactly the same in all the elements except by  $m_{ij}$ . The element  $m_{ij}$  will change its value in  $M'$ . The function  $\text{exchange}(M, i, j, k)$  creates a new array  $M'$  containing the same values that the

array  $M$  but with the values of the elements  $m_{ij} \in M$  and  $m_{kj} \in M$  exchanged ( $m_{ij} \neq m_{kj}$ ).

**$N_1(M, i, j)$  Random exchange over the solution array  $M$**  In this neighborhood function the value of the element  $m_{ij} \in M$  is changed, as suggested in the Equation 2.

$$N_1(M, i, j) = \{M' | M' = \text{complement}(M, i, j)\} \quad (2)$$

where the values  $0 \leq i \leq N - 1$  and  $0 \leq j \leq k - 1$  are randomly selected. Figure 2 shows an example of the use of this neighborhood function.

0	<b>0</b>	0	0	<b>1</b>	0
0	1	1	0	1	1
1	0	1	1	0	1
1	1	0	1	1	0
	(a)M			(b)M'	

Fig. 2. Neighborhood function  $N_1(M, i, j)$  were with values  $i = 0$  and  $j = 1$ .

**$N_2(M, \beta)$  The best change of  $\beta$ .** Given a matrix  $M$ , this neighborhood function creates a new solution by selecting the best one resulting from  $\beta$  evaluations of the function  $N_1(M, i, j)$ . The best solution will be the one that minimizes the value resulting from the evaluation function  $\text{cost}(M)$ . This function can be formally defined as shown in Equation 3, where  $B$  is a set of  $\beta$  randomly chosen elements  $m_{ij} \in M$ . An example of this perturbation operator with  $\beta = 3$  can be seen in Figure 3.

$$N_2(\mathbf{M}, \beta) = \{\mathbf{M}' \mid \min(\text{cost}(\mathbf{M}')), \mathbf{M}' = N_1(\mathbf{M}, i, j), m_{ij} \in \mathbf{B}\} \quad (3)$$

$\begin{matrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} N_1(\mathbf{M}, i, j) & \text{neighbor} & \text{cost} \\ M_{01} & 1 \rightarrow 0 & 1 \\ M_{20} & 1 \rightarrow 0 & 0 \\ M_{32} & 0 \rightarrow 1 & 3 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix}$
(a) The $\beta$ changes	(b) Possible neighbors	(c) Neighbor $N_2(\mathbf{M}, \beta)$

**Fig. 3.** Example of the use of the neighborhood function  $N_2(\mathbf{M}, \beta)$ . (a) elements  $m_{ij}$  to be changed; (b) information about the changes; (c) neighbor with the best evaluation.

**$N_3(\mathbf{M}, i, j, k)$  The exchange between two elements within the same column.** In this perturbation, a randomly chosen element  $m_{ij} \in \mathbf{M}$  exchanges its value with another randomly chosen element  $m_{kj} \in \mathbf{M}$  that has a different value. This function is shown in Equation 4. Figure 4 shows an example of the use of this neighborhood function

$$N_3(\mathbf{M}) = \{\mathbf{M}' \mid \mathbf{M}' = \text{exchange}(\mathbf{M}, i, j, k)\} \quad (4)$$

$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix}$
(a)M	(b)M'

**Fig. 4.** Neighborhood function  $N_3(\mathbf{M}, i, j, k)$ . (a) Exchange between elements  $m_{0,2}$  and  $m_{2,2}$  of  $\mathbf{M}$ ; (b) Array  $\mathbf{M}'$  resulting from neighborhood function  $N_3(\mathbf{M}, 0, 2, 2)$ .

**$N_4(\mathbf{M}, i, j)$  The best exchange between an element  $m_{i,j}$  and the  $\overline{2}$  elements within the same column with different values.** In this neighborhood function, an element  $m_{ij} \in \mathbf{M}$  is chosen randomly. After that, all the possible exchanges that can be done with the elements

in the same column of  $m_{ij}$  are evaluated. Then, the exchange that minimizes the evaluation function is selected as the neighbor produced by  $N_4(\mathbf{M}, i, j)$ . The Equation 5 defines this neighborhood function and Figure 5 shows an example of its use.

$\begin{matrix} \text{Cost} = 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} \text{Cost}=2 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{matrix}$
(a)	(b)	(c)

**Fig. 5.** Neighborhood function  $N_4(\mathbf{M}, i, j)$  applied to element  $m_{0,2}$ . (a) Evaluation of the function  $N_3(\mathbf{M}, 0, 2, 1)$ . (b) Evaluation of the function  $N_3(0, 2, 3)$ . (c) The new neighbor produced by  $N_4(\mathbf{M}, 0, 2)$ .

**$N_5(\mathbf{M}, j)$  The best exchange within a column** This neighborhood function is the generalization of the neighborhood function  $N_4(\mathbf{M}, i, j)$ . In this perturbation, a new neighbor is created by doing all the possible exchanges in a randomly chosen column  $j$ . The neighbor will be the one that minimizes the evaluation function. The Equation 6 formally describes this neighborhood function. An example of the use of neighborhood function  $N_5$  is shown in Figure 6.

$$N_4(\mathbf{M}, i, j) = \{\mathbf{M}' \mid \min(\text{cost}(\mathbf{M}')), \mathbf{M}' = N_3(\mathbf{M}, i, j, k), m_{ij} \neq m_{kj}\} \quad (5)$$

$$N_5(\mathbf{M}, j) = \{\mathbf{M}' \mid \min(\text{cost}(\mathbf{M}')), \mathbf{M}' = N_4(\mathbf{M}, i, j), 0 \leq i \leq \overline{2}\} \quad (6)$$

0 0 1	0 0 1	0 0 1	0 0 1
0 1 0	0 1 0	0 1 0	0 1 0
1 0 1	1 0 1	1 0 1	1 0 1
1 1 0	1 1 0	1 1 0	1 1 0
(a) Cost = 0	(b) Cost = 2	(c) Cost = 2	(d) Cost = 0

**Fig. 6.** All the possible exchanges produced using neighborhood function  $N_5(M, 2)$ . Figure 6(a) is the neighbor produced by  $N_5(M, j)$ .

**Tuning process for the neighborhood function.** In the approach presented in this work, a SA is used to solve the CA problem. So far, five neighborhood functions for this algorithm have been described. These neighborhood functions were subject to a tuning process in order to determine the best combination of them for the SA. This process is described next.

During the tuning process, a set  $P = \{0.1, 0.2, \dots, 1.0\}$  of probabilities were defined for each neighborhood function. A combination  $\varphi$  is a

$$\sum_{i=1}^5 c_i = 1.0$$

set of five values  $\varphi_i \in P$  were . Each combination represents the degree of participation of a neighborhood function  $N_i$  in the SA. A total of 1001 combinations were tested during the tuning process.

The best combination  $\varphi$  was empirically determined by solving the benchmark composed by 10 instances: the instances  $\{(8, 4), (12, 11), (16, 14), (18, 20), (22, 24)\}$  were of strength  $t = 3$  while the instances  $\{(16, 5), (24, 12), (44, 14), (48, 16), (52, 18)\}$  were of strength  $t = 4$  (each instance is represented by a pair of values, the first one denoting the number of rows and the second the columns). Every instance was solved fifteen times by each of the 1001 combinations generated.

The best combination  $\varphi$  was  $N_2(M, i, j, k) = 0.6$  and  $N_5(M, j) = 0.4$ . This means that the best combination is to use the neighborhood function  $N_2$  with a probability of 0.6 and the neighborhood function  $N_5$  with a probability of 0.4. This combination maximizes the number of times that the SA solves the proposed benchmark. In the next experiments, the SA will use exclusively these neighborhood functions.

#### 4.4 Cooling schedule

It is well known that the performance of a SA algorithm is sensitive to parameter tuning. The cooling schedule determines the degree of uphill movement permitted during the search; this uphill movement is critical for the algorithm performance. In this section is presented the methodology used to do the tuning process of the cooling schedule. This schedule is described through an initial and final temperature, a cooling factor, a Markov chain length and a stop criterion. The stop criterion in this implementation of the SA algorithm can be achieved for any of the following reasons: a solution for the CA instance is found; or the final temperature  $T_f$  is reached. The initial and final temperatures, cooling factor and Markov chain length were subject to a tuning process. This process is based on the CA(25; 4, 5, 2) shown in the table 2.

The CA is built in order to test not the functionality of the SA but its performance subject to different configurations of its parameters. The CA then represent a set of possible configurations of the SA, where all the interactions between two of its four parameters are involved. The alphabet represents the values to be tested for each parameter; these values were selected in accordance with the common values used in the literature and small variations over them. The possible values of the Markov chain length were defined using a subset of the combinations obtained using the number of rows  $N$ , the number of columns  $k$ , and the size of the alphabet  $v$  of the instances been solved. In the table 3 are shown the parameters values selected for the implementation of the SA.

**Table 2.** Parameters of the SA and their values in the tuning process.

CA values	$\alpha$	$T_i$	$T_f$	L
0	0.80	1	0.001	Nk
1	0.85	2	0.0001	Nv
2	0.90	3	0.00001	Nkv
3	0.95	4	0.000001	Kv
4	0.99	5	0.0000001	N

**Table 3.** CA(25; 4, 5, 2) used in the cooling schedule tuning.

Test	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$\alpha$	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	4	3	4	0	1	2	3	4
$T_i$	0	1	2	3	4	1	2	3	4	0	2	3	4	0	1	3	4	0	1	2	4	0	1	2	3
$T_f$	0	1	2	3	4	2	3	4	0	1	4	0	1	2	3	1	2	1	4	0	3	4	0	1	2
L	0	1	2	3	4	3	4	0	1	2	1	2	3	4	0	4	0	1	2	3	2	3	4	0	1

In order to evaluate the SA performance subject to the value configurations of its parameters, ten instances from the Charlie Colbourn webpage<sup>3</sup> were chosen. These instances are the same used in the neighborhood function tuning process described in section 4.3.

The number of configurations tested were  $vt = 5^2 = 25$ . Each instance were solved fifteen times by the SA using each of the 25 different configurations. In the table 4 are reported the results of this experiment summarized by configurations.

The 25 different configurations are listed in the table 4. In this list the configurations are sorted according to the number of instances solved. Each configuration is described using columns 2 - 5. The rest of the columns is used to describe the performance of the SA, when using that specific parameter configuration. The SA was executed 150 times per configuration, 15 times per instance. The column 6 shows the number of times that the SA found the best known solution. The column 7 shows the number of instances solved at least once by the SA. The column 8 shows the summation of the average time spent by the SA when solving each CA instance. The column 9 shows the total of the average number of evaluations of

the objective function performed by the SA when solving each CA instance.

The configuration chosen for the SA was the one which solved all the benchmark instances using the less time. Then, according with the results shown in the table 4 this configuration was  $\alpha = 0.95$ ,  $T_i = 5$ ,  $T_f = 0.0001$  and  $L = Nk$ .

## 5. COMPUTATIONAL EXPERIMENTS

In this section the SA, tuned according with the results obtained in section 4, is used to solve the benchmark shown in tables 6 and 7. This benchmark consists of 57 binary CA of strengths  $t = 3$  and  $t = 4$  (taken from Charlie Colbourn's webpage). The results obtained by the SA proposed in this work are compared with the best reported results. The algorithm was coded in C language. It was compiled using g++ under linux operating system. The instances were solved in a PC with the following characteristics: a 2.8 Ghz Pentium IV processor and 512 RAM memory.

In particular, the SA used to solve the indicated benchmark in this section uses the neighborhood function  $N_2(M, i, j, k)$  and  $N_5(M, j)$ . The parameters of the SA were: an initial temperature  $T_i = 5$ , a final temperature  $T_f = 0.0001$ , a cooling factor  $\alpha = 0.95$  and a Markov chain length  $L = Nk$ . The comparison of the results of the SA with the best known solutions reported in the literature are shown in tables 6

<sup>3</sup> <http://www.public.asu.edu/~ccolbou/src/tabby/3-2-ca.html> y [/4-2-ca.html](http://www.public.asu.edu/~ccolbou/src/tabby/4-2-ca.html)

and 7. The nomenclature used in these tables is described in the table 5.

**Table 4.** Result from de cooling schedule tuning.

Number of Test	Configuration			Instance L	Global Solved	Total Time	Total Evaluation	
	$\alpha$	$T_i$	$T_f$					
23	0.95	3	0.0010000	Nkv	127	10	2974.68	35410.47
<b>8</b>	<b>0.95</b>	<b>5</b>	<b>0.0001000</b>	<b>Nk</b>	<b>122</b>	<b>10</b>	<b>2594.44</b>	<b>19113.51</b>
17	0.99	1	0.0001000	Nkv	118	10	3085.43	33502.85
10	0.80	3	0.0001000	Nv	114	10	2963.67	28537.73
11	0.85	4	0.0000100	Nk	113	10	3040.52	31345.39
22	0.90	2	0.0000001	Nk	112	10	2992.09	34694.48
18	0.95	2	0.0000100	Nv	128	9	3097.50	35434.56
9	0.99	1	0.0000100	Nkv	119	9	2927.95	23935.81
15	0.80	4	0.0000001	Nkv	115	9	3126.02	33265.54
1	0.85	2	0.0001000	Nkv	114	9	2411.33	29873.11
12	0.90	5	0.0000010	Nkv	113	9	3123.56	33253.46
19	0.99	3	0.0000010	Nk	110	9	3147.90	36904.99
7	0.90	4	0.0010000	Nv	108	8	2570.75	18083.17
0	0.80	1	0.0001000	Nk	103	8	925.32	13641.87
6	0.85	3	0.0000001	N	103	8	2663.19	19456.21
3	0.95	4	0.0000010	N	103	8	2553.91	26220.46
14	0.99	2	0.0010000	N	100	8	3178.50	33650.70
20	0.80	5	0.0000100	N	96	8	3157.03	36741.44
4	0.99	5	0.0000001	Nv	86	8	2666.05	23421.53
16	0.85	5	0.0010000	kv	85	8	3171.75	33914.37
2	0.90	3	0.0000100	kv	84	8	2791.27	32921.62
5	0.80	2	0.0000010	kv	79	8	2811.06	21608.99
24	0.99	4	0.0001000	kv	71	8	2993.57	36379.78
21	0.85	1	0.0000010	Nv	89	7	3067.42	35459.43
13	0.95	1	0.0000001	kv	85	7	3318.11	35496.14

**Table 5.** Nomenclature used in tables 6 and 7.

OTAR	Orthogonal Array (Hedayat 1999)
JOEN	Johnson-Entringer
SLOA	Sloane (Sloane 1993)
KANU	Kari Nurmela (Nurmela 2004)
CHKR	Chateaufneuf-Kreher (Kreher 2002)
YANJ	Yan Jun
SORI	Soriano
KULI	Kuliamin
CMTW	Colbourn-Martirosyan-Trung-Walker

Tables 6, 7 are organized as follows: in the column 1 is shown the number of columns involved in each CA instances solved. The column 2 shows the best reported number of rows found for each instance. Column 3 names

**Table 6.** Results obtained by the SA when solving  $CA(N; k, 2, 3)$  instances.

K	N	Best reported	IPOG	Paint Ball	IPOG D	IPOG F	IPOG F2	Simulated Annealing
4	8	OTAR	8	10	8	8	9	8
5	10	JOEN	12	12	12	13	12	10
6	12	SLOA	12	14	12	13	13	12
7	12	SLOA	15	16	14	12	15	12

the author of the results shown in column 2, if it exists. In the next five columns are shown the results obtained by FireEye 1.0 (the most recent approach created to solve binary CA instances of variable strength). In the column 9 are reported the results obtained by the SA implemented in this work.

## 6. CONCLUSIONS

In this paper was presented a SA approach to construct binary CA of strength  $t = 3$  and  $t = 4$ . The SA algorithm was improved by using an initial solution with balanced number of symbols per column, a variable neighborhood function and a tuned cooling schedule (composed by initial temperature, final temperature, cooling factor and Markov chain length).

Five neighborhood functions were implemented and experimentally tuned to determine its participation in the SA approach. The neighborhood functions  $N_2(M, i, j, k)$  with value 0.6 and  $N_5(M, j)$  with value 0.4 formed the combination with the best performance for the SA.

The cooling schedule of the SA was tuned using a CA of strength  $t = 2$  and alphabet  $v = 5$ . The CA gave configurations for the cooling process that covers all the interactions between pairs of the parameters initial and final temperatures, cooling factor, and Markov chain. The SA approach proposed got the best reported results in the literature for the binary CA cases of strength  $t = 3$  and  $t = 4$  provided in the webpage of Charlie Colbourn.

Acknowledgements This research was partially funded by the following projects: CONACyT 58554-Calculo de Covering Arrays, 51623-Fondo Mixto CONACyT y Gobierno del Estado de Tamaulipas, CONACyT 74521 Repatriación.

8	12	SLOA	18	18	14	16	16	12
9	12	SLOA	20	18	18	17	17	12
10	12	SLOA	20	18	18	17	18	12
11	12	SLOA	22	20	20	19	21	12
12	15	KANU	22	22	20	19	19	15
13	16	SLOA	22	24	24	20	19	16
14	16	SLOA	24	24	24	23	20	16
15	17	SLOA	24	26	26	20	23	17
16	17	SLOA	25	26	26	21	21	17
17	18	CHKR	26	26	28	22	23	18
18	18	CHKR	26	30	28	24	24	18
19	18	CHKR	27	30	30	24	25	18
20	18	CHKR	27	30	30	25	24	18
21	19	CHKR	29	32	32	26	25	19
22	19	CHKR	29	32	32	26	27	19
23	22	CHKR	29	34	32	27	27	22
24	22	CHKR	29	32	32	26	27	22
25	23	CHKR	30	34	32	28	28	23
26	23	CHKR	31	36	32	27	29	23
27	23	CHKR	32	36	34	30	29	23
28	23	CHKR	32	36	34	28	31	23
29	25	CHKR	32	36	34	29	31	25
30	25	CHKR	32	38	34	30	30	25
31	25	CHKR	34	38	35	30	31	25
32	25	CHKR	34	40	35	30	31	25

**Table 7.** Results obtained by the SA when solving  $CA(N; k, 2, 4)$  instances.

<b>K</b>	<b>N</b>	<b>Best reported</b>	<b>IPOG</b>	<b>Paint Ball</b>	<b>IPOG D</b>	<b>IPOG F</b>	<b>IPOG F2</b>	<b>Simulated Annealing</b>
5	16	OTAR	16	17	34	17	20	16
6	21	JOEN	28	29	44	27	26	21
7	24	YANJ	35	32	64	33	31	24
8	24	YANJ	38	34	64	33	35	24
9	24	YANJ	41	38	80	40	36	24
10	24	YANJ	42	42	80	41	41	24
11	24	YANJ	46	47	104	43	44	24
12	24	YANJ	48	50	104	48	47	24
13	34	SORI	51	54	127	49	50	34
14	44	KULI	52	54	127	49	52	44
15	46	KULI	58	59	54	54	54	46
16	48	KULI	58	65	144	56	56	48
17	49	KULI	61	69	161	57	59	49
18	52	KULI	64	69	161	61	61	52
19	55	CMTW	65	71	174	62	64	55
20	55	CMTW	66	72	174	64	64	55
21	57	CMTW	68	78	192	66	68	57
22	57	CMTW	69	80	192	68	69	57
23	61	CMTW	70	81	206	71	71	61
24	61	KULI	72	84	206	71	73	61
25	65	CMTW	74	87	221	74	72	65

26	72	KULI	75	89	221	76	77	72
27	73	KULI	76	90	238	75	75	73
28	73	KULI	76	91	238	76	77	73
29	73	KULI	79	93	254	78	79	73
30	73	KULI	81	97	254	79	79	73
31	73	KULI	81	99	267	80	81	73
32	73	KULI	82	100	267	80	84	73

## 7. LITERATURE CITED

- Avanthay, C., A. Hertz, & N. Zufferey. 2003. A variable neighborhood search for graph coloring. *European Journal of Operational Research*. 151(2):379–388.
- Cohen, D. M. , S. R. Dalal, M. L. Fredman, & G. C. Patton. 1997. The AETG system: An approach to testing based on combinatorial design. *Software Engineering*. 23(7):437–444
- Cohen, M.B., C.J. Colbourn, & A.C.H. Ling. 2003. Augmenting simulated annealing to build interaction test suites. *Software Reliability Engineering*, 2003. 14th International Symposium on, pages 394–405.
- Cohen, M.B., C.J. Colbourn, & A.C.H. Ling. 2008. Constructing strength three covering arrays with augmented annealing. *Discrete Mathematics, Combinatorial Designs*. 308(13):2709–2722.
- Cohen, M.B., P.B. Gibbons, W.B. Mugridge, C.J. Colbourn & J.S. Collofello. 2003. A variable strength interaction testing of components. *Computer Software and Applications Conference*, 2003. Proceedings. 27th Annual International, pages 413–418.
- Garey, M. R. & D. S. Johnson. 1979. *Computers and Intractability A Guide to the Theory of NP-Completeness*. Bell Laboratories. 1-38 pp. ISBN 0-7167-1044-7.
- Hedayat, A.S., N.J.S. Sloane & J. Stufken. 1999. *Orthogonal Arrays Theory and Applications*. Springer Series and Statistics, 1999. ISBN 0387-98766-5.
- Hnich, B., S. Prestwich, E. Selensky & B. M. Smith. 2006. Constraints models for the covering test problem. 11:199-219.
- Kirkpatrick, S., C. D. Gelatt, & M. P. Vecchi. 1983. Optimization by simulated annealing. *Science* 220(4598): 671–680.
- Kreher, D.L. & M. Chateauneuf. 2002. On the state of strength-three covering arrays. *Journal of Combinatorial Designs* 10(4): 217–238.
- Laywine, Ch. F. & G. L. Mullen. 1998. *Discrete Mathematics Using Latin Squares*. Wiley Interscience Series in Discrete Mathematics and Optimization. 3-39 pp. ISBN 0471-24064-8.
- Lei, Y. & K. C. Tai. 1998. In-parameter-order: A test generation strategy for pairwise testing. *Third IEEE International High-Assurance Systems Engineering Symposium*: 254–261.
- Lei, Yu, R. Kacker, D. R. Kuhn, V. Okun & J. Lawrence. 2007. Ipog: A general strategy for t-way software testing. *Engineering of Computer-Based Systems*. 14th Annual IEEE International Conference and Workshops: 549–556.
- Lidl, R. & H. Niederreiter. 1997. *Finite Fields*. Cambridge University. 83-100. Press. ISBN 0521-39231-4.
- Meagher, K. & B. Stevens. 2005. Covering arrays on graphs. *Journal of Combinatorial Theory*, 95(1):134 – 151.

- Mladenovic, N. & E Hansen. 1997. Variable neighborhood search. *Computers and Operations Research*, 24(11):1097–1100.
- Nurmela, K.J. 2004. Upper bounds for covering arrays by tabu search. *Discrete Applied Mathematics*, 138: 143-152.
- Rodríguez-Tello, E., J. Kao Hao, and J. Torres-Jimenez. 2008. An effective two-stage simulated annealing algorithm for the minimum linear arrangement problem. *Computers and Operations Research*. 35 (10): 3331-3310.
- Sloane, N. J. A. 1993. Covering arrays and intersecting codes. *Journal of Combinatorial Designs* 1:51–63.
- Stardom, Jhon. 2001. *Metaheuristics and the Search for Covering and Packing Arrays*. PhD thesis, Trent University.
- Stevens, B. & E. Mendelsohn. 1999. New recursive methods for transversal covers. *Journal of Combinatorial Designs*. John Wiley Sons, Inc., 7(3):185–203.
- Tassey, G. 2002. The economic impacts of inadequate infrastructure for software testing. National Institute of Standards and Technology. <http://www.nist.gov/publicaffairs/releases/n02-10.htm>.
- Torres-Jiménez, J., C. De Alfonso & V. Hernández. 2004. Computation of ternary covering arrays using a grid. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, LNCS 3285:240-246.
- Van Laarhoven, P. J. M. & E. H. L. Arts 1992.. *Simulated Annealing: Theory and Applications*. Editor's Preface. Philips Research Laboratories, 88 pp. Eindhoven, The Netherlands. ISBN 90-277-2513-6 7.



SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA

SEP

# **Instituto Tecnológico de Cd. Victoria**

## **División de Estudios de Posgrado e Investigación**

### **Maestría en**

# **CIENCIAS EN BIOLOGÍA**

**PADRÓN NACIONAL DE POSGRADO DE CALIDAD (SEP-CONACYT)**

**Especialidad:**

**Manejo y Conservación de Recursos Naturales (Terrestres o Acuáticos)**



**Becas Disponibles**

## 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 INGRESO 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.
- 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 esta 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

Barrientos Lozano Ludivina, Ph.D. Universidad de Gales, College of Cardiff. Reino Unido. Entomología Aplicada.

Castro Arellano Iván, Ph.D. Texas A & M University. USA. Mastozoología y Ecología

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

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

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

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

Maldonado Reyes Araceli, Dra. CINVESTAV-IPN

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

Almaguer Sierra Pedro, Dr. UANL.  
Conservación de Suelos y Agrometeorología.

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

Flores Gracia Juan, Dr. UANL.  
Genética y Biotecnología.

González Gaona Othón J., Dr. ITESM.  
Entomología y Toxicología.

### INFORMES

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

Bldv. 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://maestriaenbiologia.com>;  
<http://www.itvictoria.edu.mx>  
E-mail: [ludivinab@yahoo.com](mailto: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 itálica 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: importancia de la contribución a la divulgación científica, pertinencia de métodos empleados, correcta presentación de datos, soporte del manuscrito con literatura relevante y actualizada, 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](mailto:ludivinab@yahoo.com), [ludibarrientos@prodigy.net.mx](mailto: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. 196pp. 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  
TecnoINTELECTO. Dra. Ludivina Barrientos Lozano. [ludivinab@yahoo.com](mailto:ludivinab@yahoo.com)  
[ludibarrientos@prodigy.net.mx](mailto:ludibarrientos@prodigy.net.mx)