

AHORA
en línea!

revista científica

ISSN 1665-8493

scientia_{CUCBA}



**Universidad de
Guadalajara**

Centro Universitario de
Ciencias Biológicas y
Agropecuarias

COORDINACIÓN DE
INVESTIGACIÓN

Contenido

Coeficiente de aserrío de madera en rollo de dos especies tropicales producto de plantaciones forestales

Agustín Rueda Sánchez, Agustín Gallegos Rodríguez, Diego González Eguiarte, Juan de Dios Benavides Solorio, Jose Ariel Ruiz Corral y Eduardo López Alcocer 1

Utilización de bagazo de agave como sustrato para producción de plántulas de tomate

Luis Bernardo Rodríguez-García, Fernando Alonso Fernández-Castellanos, Gilberto Iñiguez-Covarrubias, Eduardo Rodríguez-Guzmán, Eduardo Rodríguez-Díaz y Ma. Cruz Arriaga-Ruiz 11

Potencial antitumoral del ajo y sus componentes químicos. Revisión bibliográfica

Eduardo Padilla Camberos y Galina P. Zaitseva 17

Concentraciones bajas de plaguicida endosulfán incrementan in vivo e in vitro la proliferación de esplenocitos en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*)

Martha Cecilia Téllez-Bañuelos, Anne Santerre, Josefina Casas Solís y Galina Zaitseva 21

Ganancia en selección con ciclos de poblaciones de maíz tropical Tuxpeño-1 (Pob. 21) y Eto Blanco (Pob. 32)

Norberto Carrizales Mejía, José de Jesús Sánchez González, Hugo Córdova Orellana, Salvador Mena Munguía, Fidel Márquez Sánchez, Florencio Recendiz Hurtado y Mario Abel García Vázquez 29

Modelo de Memoria de Trabajo en ratas macho sexualmente motivadas

Mayra Linné Almanza Sepúlveda, Blanca Erika Gutiérrez Guzmán, María Esther Olvera Cortés, Miguel Ángel Guevara Perez y Marisela Hernández González 39

Edad, peso corporal y algunas características reproductivas a la pubertad de toretes y vaquillas de raza pura Brahman y Angus y sus cruza con ganado exótico tipo Sanga adaptado al trópico

Antonio Rocha, Francisco Javier Padilla Ramírez, Joseph William Holloway, David Kent Lunt, James Olin Sanders, Charles Ray Long y Ronald D. Randel 51

Listado preliminar de las aves terrestres en el municipio de Amacueca, Jalisco, México

María Marcela Güitrón López y Marlene Anaya Cruz 59

continúa en la contraportada

FECHA EFECTIVA DE PUBLICACIÓN 15 DE DICIEMBRE DE 2010

scientia-CUCBA es el órgano oficial de difusión científica del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara. Es una publicación interdisciplinaria de ciencias biológicas, agropecuarias y ambientales.

Editor en Jefe: Dr. Alfredo Ignacio Fera y Velasco.

Directora Administrativa: M. en C. Yolanda Fera Cuevas.

CONSEJO EDITORIAL

Araceli Espinosa Jeffrey

UCLA, Los Ángeles CA, Estados Unidos de América.

Eulogio Pimienta Barrios

CUCBA, Universidad de Guadalajara.

Miguel Pérez de la Mora

UNAM, México Distrito Federal.

Salvador Sánchez de la Peña

IPN, México Distrito Federal.

COMITÉ EDITORIAL

Jacinto Bañuelos Pineda

Salvador Hurtado de la Peña

Ramón Rodríguez Macías

Carlos Beas Zárate

Alfonso Islas Rodríguez

Ana María Rosales Torres

Oscar Carbajal Mariscal

Eduardo Juárez Carrillo

Elías Sandoval Islas

Servando Carvajal Hernández

Faustino Moreno Ceja

Anne Santerre Lucas

Jorge Galindo García

Juan Manuel Moreno Martínez

Juan de Jesús Taylor Preciado

Javier García Velasco

Gustavo Moya Raygoza

Mónica Ureña Guerrero

Delia González Aguilar

Daniel Ortuño Sahagún

Raúl Fernando Vallarta Mendoza

Salvador González Luna

Agustín Ramírez Álvarez

Javier Vázquez Navarro

Graciela Gudiño Cabrera

Florencio Recendiz Hurtado

Daniel Villagómez Zavala

Sergio Guerrero Vázquez

Eduardo Ríos Jara

Juan José Hicks Gómez

Juan Jesús Roa Vidal

Coeficiente de aserrío de madera en rollo de dos especies tropicales producto de plantaciones forestales

Agustín Rueda Sánchez¹, Agustín Gallegos Rodríguez², Diego González Eguiarte², Juan de Dios Benavides Solorio¹, Jose Ariel Ruiz Corral¹ y Eduardo López Alcocer²

¹Investigador del CIRPAC-INIFAP. Parque los Colomos S/N. Col. Providencia, CP: 44600 Guadalajara, Jal. México.

²Profesor- Investigador del CUCBA, U de G. Km. 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales, Predio las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco. México.

Correo electrónico: rueda.agustin@inifap.gob.mx

Resumen

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar el coeficiente de transformación de madera en rollo de cortas dimensiones a madera aserrada en diferentes fases de aserrío. La madera es producto del primer aclareo comercial aplicado a plantaciones forestales experimentales de *Enterolobium cyclocarpum* de 14 años y *Tabebuia rosea* de 12 años, establecidas en el municipio de la Huerta, Jalisco, México. Se determinó el volumen de la madera en rollo, madera aserrada y productos secundarios resultantes de 625 trozas. Para *Tabebuia rosea* se trabajaron 384 trozas, las cuales proporcionaron un volumen de 11.10 m³ rollo y de la especie *Enterolobium cyclocarpum* se obtuvieron 241 trozas que tuvieron un volumen de 15.66 m³ rollo. Las fases del proceso industrial incluyeron el aserrío, desorillado, dimensionado de longitudes y aprovechamiento de productos secundarios en máquinas tableteras. Los rendimientos de transformación

que se obtuvieron fueron 34.03% para *Tabebuia rosea* y 49.03% para *Enterolobium cyclocarpum*. Los porcentajes de pérdida de volumen por aserrío fueron para *Enterolobium cyclocarpum* los siguientes: costanera 18.66%, aserrín 9.42%, recorte 22.29%, mientras que *Tabebuia rosea* tuvo valores mas altos como: costanera 24.62%, aserrín 12.25%, recorte 24.64%. El diámetro y longitudes de las trozas sobre el rendimiento, genera la necesidad del perfeccionamiento del aserrado de trozas de pequeñas dimensiones, por lo que es recomendable emplear aserraderos portátiles y semi-portátiles, ya que éstos podrían ser un factor importante para reducir el desperdicio de madera y ser más eficiente en el proceso de transformación de madera en rollo a madera aserrada.

Palabras clave: Coeficiente de aprovechamiento, madera aserrada, *Enterolobium cyclocarpum*, *Tabebuia rosea*.

Introducción

Uno de los aspectos importantes para dar respuesta a la pregunta: ¿son rentables las plantaciones forestales comerciales?, la respuesta es sin duda; el coeficiente de aserrío. El aserrío, es un proceso mediante el cual la madera en rollo se convierte en madera aserrada como el caso de tablas, tablones, polines, vigas y durmientes, a través del uso de maquinaria, recursos humanos, fuentes de energía y dinero (García et al. 2001).

Las instalaciones industriales donde se efectúa el proceso de la madera en rollo para obtener madera aserrada, reciben el nombre de aserraderos o madererías (García et al. 2002). Estos nombres se utilizan porque los elementos o máquinas principales que intervienen en este proceso industrial están constituidos por sierras. Los aserraderos son una de las activi-

dades importantes de la industria forestal en México y una de las formas más sencillas de transformar trocería (madera en rollo) en madera aserrada, cuya eficiencia se evalúa a través de estudios de coeficientes de aserrío y de rentabilidad del proceso (Zavala y Hernández 2000).

Determinar el rendimiento en el procesamiento de la madera, a través de mediciones detalladas desde que las trozas ingresan al aserradero hasta que salen convertidas en productos finales, es una manera de conocer las debilidades de fases específicas del proceso de transformación, lo cual posibilita realizar los ajustes necesarios que conduzcan al alcance de mayor eficiencia en la industrialización forestal primaria.

El término rendimiento se refiere a la relación entre el volumen de madera rolliza (trozas) y el volumen

Cuadro 1. Características principales de trozas procesadas en aserradero.

Especie	No trozas	Volumen m ³ r	Diámetro promedio de trozas (cm)			Longitud (m)	
			Mínimo	Medio	Máximo	Mínima	Máxima
Rosa morada	384	11.10	15.7	20.0	24.6	0.87	1.63
Parota	241	15.66	23.2	32.4	41.6	1.20	2.24

resultante en productos aserrados, también es conocido como coeficiente de aserrío o factor de recuperación de madera aserrada (FRM) y constituye un indicador de la tasa de utilización en el proceso de aserrío (Quirós et al. 2005).

En México desde 1999 se impulsa y llevan a cabo programas de plantaciones comerciales, sin embargo, es hasta al año 2001 cuando se crea la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) dependiente de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la cual da un nuevo y mayor impulso a los planes y programas de establecimiento de plantaciones comerciales, a través del Programa de Plantaciones Forestales Comerciales (PRODEPLAN); el cual otorga incentivos a los productores que se dedican a esta actividad con el propósito de revertir el efecto de la destrucción de los recursos forestales e incrementar la producción de los recursos maderables del país.

Lo anterior implica el compromiso de México para continuar con el establecimiento de nuevas plantaciones forestales en sitios o áreas con capacidad productiva adecuada, de acuerdo a las características agro-climáticas y genéticas de las especies a establecer (Rueda et al., 2006; Rueda et al. 2007), así como aumentar el grado de utilización de la madera que se pueda obtener de estas plantaciones, en las fases de cosecha e industrialización.

Con base en lo anteriormente expuesto, en este trabajo se llevó a cabo un estudio que plantea el siguiente objetivo:

Determinar el rendimiento físico en el procesamiento de la madera, a través de mediciones detalladas, desde que las trozas salen de las plantaciones e ingresan al aserradero, hasta que salen convertidas en madera y productos aserrados.

Metodología

Ubicación del área de estudio

El aserradero donde se llevó a cabo el estudio fue en el Poblado San Agustín que se ubica entre los paralelos 20° 32' 0" N y 103° 28' 0" W, con una altitud de 1 592 m, dentro del municipio de Unión de Tula. El municipio de Unión de Tula se localiza en la zona sur del estado de Jalisco, limita al norte con los municipios de Ayutla y Tenamaxtlán, al sur con Autlán y El

Grullo, al oriente con Tenamaxtlán, Juchitlán y Ejutla y al poniente con Ayutla (Jalisco 2007).

Características de las trozas en estudio

El estudio se realizó con la trocería de dimensiones cortas procedente del primer aclareo comercial de las plantaciones forestales del sitio experimental Costa de Jalisco, el cual es propiedad del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). De las siete especies plantadas en ese sitio experimental se seleccionaron dos especies nativas: *Enterolobium cyclocarpun* (Parota) y *Tabebuia rosea* (Rosa Morada) (Benavidez 2007; Distancia 2008). Al momento de realizar el derribo de los árboles de ambas especies estas tenían 14 y 12 años de edad respectivamente. Las trozas fueron seccionadas de acuerdo a sus condiciones de forma; rectitud, torceduras y conicidad, lo que arrojó trozas de cortas dimensiones en cuanto a su longitud. En el cuadro 1 se describe la cantidad de trozas, el volumen en metros cúbicos rollo (m³ r) y los valores promedio en cuanto a la longitud y diámetro de ambas especies.

Categorías diamétricas de las trozas en estudio

El cuadro 2 muestra las categorías diamétricas que tuvieron ambas especies. Para la parota se describen 10 categorías, sin embargo, debido a que las catego-

Cuadro 2. Categorías de diámetros de las trozas en estudio.

Categoría	Diámetro (cm)	No. de trozas	
		Parota	Rosa morada
1	5-9		20
2	10-14	23	142
3	15-19	102	132
4	20-24	52	73
5	25-29	31	15
6	30-34	16	2
7	35-39	8	
8	40-44	7	
9	45-49	2	
10	50-54	1	

rías 10 y 9 presentaron número de trozas muy reducido, se consideró pertinente unir las a las trozas de la categoría 8.

Método de cubicación de trozas

Aún cuando en la industria de la madera es común utilizar reglas de cubicación con equivalencias de pies tabla, denominado regla Doyle, oficialmente estos sistemas no se reconocen, de acuerdo con la Dirección General de Normas de 1988, Zavala y Hernández (2000), por lo que en el presente estudio se determinó una fórmula para conocer el volumen exacto y que utiliza el diámetro menor y diámetro mayor de la troza, la fórmula utilizada fue la conocida como Smailian.

$$V = \frac{(B + b)}{2} L$$

Donde:

V = Volumen en m³,

B = área mayor de la troza en m² obtenida con la fórmula del círculo,

b = área menor de la troza en m² obtenida con la fórmula del círculo,

L = Longitud de la troza en m.

Para determinar las dimensiones de las trozas, en longitud y en diámetro se utilizó un flexómetro o cinta métrica. A cada una de las trozas de las diferentes categorías diamétricas, se les midió el diámetro en los dos extremos (mayor y menor) con y sin corteza. A cada extremo de la troza se les tomaron dos medidas en forma de cruz con la finalidad de tomar un valor promedio por cada extremo.

Numero de trozas en estudio y por especie

Es común que en los estudios de evaluación del coeficiente de aserrío, se utilice una muestra de 100 trozas al azar (SFF 1978) citado por Zavala y Hernández (2000), sin embargo para el presente estudio no fue necesario emplear técnicas de muestreo estadístico, debido a que se procesó la población total de la trocería de ambas especies, lo que permite ser más precisos en los resultados en cuanto a la transformación de madera en rollo a madera aserrada y sobre todo para el cálculo y determinación de la rentabilidad de las plantaciones forestales comerciales.

Coeficiente de aprovechamiento

El aserrío se llevó a cabo de acuerdo a cada una de las categorías diamétricas en forma secuencial de me-

nor a mayor y por cada una de las especies. El coeficiente de aprovechamiento de las trozas procesadas se determinó por la relación madera aserrada entre el volumen de las trozas, empleando para ello unidades métricas y multiplicado por 100 para obtener el valor en porcentaje.

Es necesario señalar que para la cuantificación de la madera aserrada, se consideró también como tal a los subproductos tableta y palillo, que se obtuvieron de dos máquinas tableteras con que cuenta el aserradero.

De esta forma para *Tabebuia rosea* se obtuvo madera aserrada mill-run (diferentes dimensiones, tanto de espesor como de ancho y largo) de las categorías 3, 4, y 5. Las categorías 1 y 2 fueron procesadas directamente en las máquinas tableteras, sin pasar por las máquinas principales del aserradero, solamente se obtuvo tabletas de 1" × 2" × 2', 1" × 2" × 2.5' y palillo de 1" × 1" × 4' y 1" × 1" × 5'.

Enterolobium cyclocarpum presentó 8 categorías diamétricas, las cuales fueron procesadas en la sierra principal y en la sierra pendular y posteriormente en la máquinas tableteras. En algunas de las categorías diamétricas (4 a la 8), se contó con trozas de 8 y 6 pies de longitud, a pesar que estas medidas son propias para madera aserrada, se consideró no producir dicha madera, debido a que estas presentaron albura muy pronunciada y duramen muy reducido. Algunas trozas presentaron duramen amplio, pero tierno, y esta característica no es atractiva para los industriales que usan este tipo de madera, ya que el caso de la albura, la madera es muy porosa y contiene gran cantidad de azúcares que son muy atractivos para ciertos insectos como la polilla y en el peor de los casos esta madera no es atractiva para trabajarla en la industria.

En lo que se refiere al duramen, de acuerdo al personal técnico del aserradero la madera que se puede obtener de este, tiende a presentar torceduras y agrietamientos a lo largo de las tablas que se obtenga de trozas, de árboles aun en etapas juveniles, en ambos casos una solución sería darle algún tratamiento de acuerdo al uso que se le pretenda dar, sin embargo esto elevaría los costos de producción. Por tanto, de esta especie solamente se obtuvieron tabletas de 1" × 2" × 2', 1" × 2" × 2.5' y palillo de 1" × 1" × 4' y 1" × 1" × 5'.

Se cuantificaron los materiales considerados como desperdicio; costeras, recortes y aserrín, tanto los generados en la sierra principal, desorilladora, péndulo y máquinas tableteras. Para el caso de costaneras y recortes se apilaron de tal forma que fuera fácil el poder medirlas, quedando como un cubo y se les tomó las dimensiones de grueso, ancho y altura con aproximación al metro (m). Asimismo para la cuantificación del volumen o desperdicio de aserrín se tomó como refe-

rencia un recipiente o caja de cartón cuyas medidas se establecieron de igual manera (grueso, ancho y alto en m), cuantificando el número de cajas para definir el volumen que se desperdició por este concepto.

Procesamiento primario de aserrío

Para el proceso de aserrío, se utilizó un aserradero con una torre para sierra-banda de 4 pulgadas de ancho, carro porta trozas de hasta 6 metros de longitud, accionados por motores de energía eléctrica, con motores de 50 hp (caballos de fuerza), una desorilladora con sierras circulares para sanear y dimensionar el ancho de las tablas, con motor eléctrico de 7.5 hp y un péndulo para sanear y dimensionar la longitud de las tablas, con motor eléctrico de 5 hp. Este aserradero utiliza sierras de 17 mm de espesor, volantes de 100 cm de diámetro y tiene una capacidad para procesar trozas de hasta 150 cm de diámetro y 6 m de longitud, con productividades de 15 m³ de madera aserrada por día en turnos de 8 horas.

Procesamiento secundario de aserrío

Para el aprovechamiento e industrialización de trozas de categorías diamétricas 1 y 2 (5-9 cm y 10-14 cm), así como los recortes obtenidos de la sierra principal, desorilladora y péndulo susceptibles de ser industrializados para tableta y palillo, se emplearon dos maquinarias tableteras.

Efecto de categoría diamétrica

De acuerdo al proceso de aserrío, y tomando en consideración las diferentes categorías diamétricas, y con el propósito de definir el coeficiente de aprovechamiento para cada una de estas, se procedió a cuantificar el número y volumen de las trozas de cada una de las categorías y se relacionaron con la producción de madera y productos secundarios obtenidos, y sus respectivos materiales considerados como desperdicio (costaneras, recortes y aserrín).

Resultados y discusión

Trocería y volumen procesado

El número total de trozas procesadas de ambas especies fue de 625, con un volumen de 26.76 m³ r, de las cuales el 61.64% (384 trozas) con volumen de 11.10 m³ r fueron de *Tabebuia rosea* y 38.56% (241 trozas) cuyo volumen resultó de 15.66 m³ r para *Enterolobium cyclocarpum*. Para evaluar el proceso de transformación de madera en rollo a madera aserrada, se definieron cinco categorías diamétricas para *Tabebuia rosea* y siete para *Enterolobium cyclocarpum*, la amplitud del rango de las categorías diamétricas fue de 5 cm a partir de la categoría de 1 (5-9) hasta la 8 (40-44), (cuadros 1 y 2).

Es importante señalar que no obstante que el número de trozas de la especie *Tabebuia rosea* es mayor que la especie *Enterolobium cyclocarpum* el volumen de esta última es superior, debido a que presenta mayor cantidad de trozas con diámetros mayores y longitudes también más grandes (8 pies), además cuenta con dos categorías diamétricas más que la primer especie (cuadros 5 y 6).

Es importante señalar que no obstante que el número de trozas de la especie *Tabebuia rosea* es mayor que la especie *Enterolobium cyclocarpum* el volumen de esta última es superior, debido a que presenta mayor cantidad de trozas con diámetros mayores y longitudes también más grandes (8 pies), además cuenta con dos categorías diamétricas más que la primer especie (cuadros 5 y 6).

Impacto y distribución de trozas por categorías diamétricas por especie

Con la finalidad de evaluar el efecto del diámetro de las trozas procesadas para determinar el coeficiente de aserrío, se agrupó la trocería por categorías diamétricas en las dos especies en estudio, resultando que para la especie *Tabebuia rosea* la mayor frecuencia diamétrica de trozas fue de 36.98%, la cual se distribuye en un rango de 10 a 14 cm de diámetro con un coeficiente de aserrío de 36.46%, el 34.37% corresponde a un rango de 15 a 19 cm con un coeficiente de aserrío de 29.77%, el 19.01% fue para el rango de 20 a 24 cm cuyo coeficiente de aserrío es de 32.72%, el 5.20% resulto para el rango de 5 a 9 cm, con 24.05 de

Cuadro 3. Impacto del diámetro de las trozas en el coeficiente de aserrío de *Tabebuia rosea*.

Categoría diamétrica (cm)	No trozas	Frecuencia diamétrica (%)	Coefficiente de aserrío (%)
1 (5-9)	20	5.20	24.05
2 (10-14)	142	36.98	36.46
3 (15-19)	132	34.37	29.77
4 (20-24)	73	19.01	32.72
5 (25-29)	17	4.43	47.15

Cuadro 4. Impacto del diámetro de las trozas en el coeficiente de aserrío de *Enterolobium cyclocarpum*.

Categoría diamétrica (cm)	No trozas	Frecuencia diamétrica (%)	Coefficiente de aserrío (%)
2 (10-14)	23	9.54	42.82
3 (15-19)	102	42.32	39.04
4 (20-24)	52	21.57	46.04
5 (25-29)	30	12.45	49.00
6 (30-34)	16	6.64	47.26
7 (35-39)	8	3.32	60.00
8 (40-44)	10	4.15	59.00

Cuadro 5. Número de trozas y distribución porcentual en relación a la longitud, por categoría diamétrica de la especie *Tabebuia rosea*.

Categoría diamétrica (cm)	Número de trozas	Longitud de trozas en rollo (pies)											
		8		6		5		4		3		2	
		No	%	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%
1 (5-9)	20					5	25.00	9	45.00	5	25.00	1	5.00
2 (10-14)	142					16	11.27	87	61.00	9	6.34	30	21.12
3 (15-19)	132			2	1.51	23	17.42	76	57.60	13	9.89	18	13.67
4 (20-24)	73					15	20.55	45	61.64	4	5.5	9	12.33
5 (25-29)	17					5	29.41	11	64.71	0	0	1	5.88
Total	384			2		64		228		31		59	
% del total				0.52		16.66		59.37		8.07		15.36	

Cuadro 6. Número de trozas y distribución porcentual en relación a la longitud, por categoría diamétrica de la especie *Enterolobium cyclocarpum*.

Categoría diamétrica (cm)	Número de trozas	Longitud de trozas en rollo(pies)													
		8		6		5		4		3		2		1	
		No	%	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%	No	%
2 (10-14)	23					3	13.04	6	26.08	9	39.13	5	21.74		
3 (15-19)	102	1	0.98			2	1.96	53	51.96	31	30.39	12	11.76	3	2.94
4 (20-24)	52	5	9.61					30	57.69	17	32.69				
5 (25-29)	30	10	33.33					17	56.66	3	10.00				
6 (30-34)	16	6	37.50					6	37.50	4	25.00				
7 (35-39)	8	4	50.00					4	50.00						
8 (40-44)	10	4	40.00					2	20.00	4	40.00				
Total	241	30				5		118		68		17		3	
% del total		12.45				2.07		48.96		28.21		7.05		1.24	

coeficiente de aserrío y el 4.43% para el rango 25 a 29 cm con 47.15% de coeficiente de aserrío (cuadro 3). Es decir en general se observa que a mayor diámetro el coeficiente de aserrío es mayor como debería esperarse, con excepción de dos categorías que se discuten en el siguiente párrafo.

De acuerdo con Bailey (1973) y Fahey y Ayer-Sachet (1993), el diámetro de las trozas es uno de los factores que tiene efecto directo en la calidad y cantidad de madera aserrada y señalan, que en la medida que aumenta el diámetro se incrementa el rendimiento y calidad de la madera, sin embargo, como se observa en el cuadro 3, para este caso la tendencia no se presentó de acuerdo a la especificado por estos autores, ya que el coeficiente de aserrío de la categoría diamétrica 2 (10-14 cm) fue mayor que el coeficiente de aserrío de las categorías 3 (15-19 cm) y 4 (20-24 cm) respectivamente. Lo anterior hace suponer que en este caso específico, el rendimiento de las trozas en proceso de aserrío, fue afectado por la longitud y conicidad de las trozas como lo señalan Binagorov (1984) y Wade (1992).

Por otro lado Fahey y Ayer-Sachet (1993), describen que las trozas de pequeñas dimensiones, como es el caso del presente estudio, en comparación con trozas de mayores dimensiones conduce a la reducción de los rendimientos en la producción e indicadores técnicos y económicos de los aserraderos es parcialmente válido, pues realizando una óptima selección de maquinaria y equipo es posible reducir la influencia negativa de tales indicadores.

Por su parte Fosado (1999), expresa que por muy sencillo que resulte un sistema de aserrado son muchas las alternativas que se pueden presentar en toda la toma de decisiones y que no basta el conocimiento de diagramas de corte que logren máximos rendimientos, se necesita vincularlos con un grupo de requerimientos técnicos-económicos muy difíciles de coordinar eficientemente, los cuales pueden ser los siguientes; calidad del producto final, planes de producción por surtidos, especie a procesar, características de la maquinaria instalada, disponibilidad de materia prima y disponibilidad de tiempo en cada maquina.

En cuanto a la especie *Enterolobium cyclocarpum* resultó que el mayor porcentaje de las trozas procesadas en el aserradero, fue de 42.32% el cual se distribuye en un rango de 15 a 19 cm de diámetro con un coeficiente de aserrío de 39.04%, el 21.57% corresponde a un rango de 20 a 24 cm de diámetro con 46.04% de coeficiente de aserrío. Los rangos de 30 a 34 cm, 40 a 44 cm y 35 a 39 cm de diámetro y sus correspondientes coeficientes de aserrío tuvieron valores de: 47.26%, 59.00% y 60.00% respectivamente (cuadro 4).

A diferencia de la especie *Tabebuia rosea*, *Enterolobium cyclocarpum* presentó un tendencia muy parecida a lo señalado por Bailey (1973) y Fahey y Ayer-Sachet (1993), en el sentido de que medida que aumenta el diámetro se incrementa el rendimiento y calidad de la madera, sin embargo también se tuvo una excepción que fue, para la categoría diamétrica 3 (15-19 cm) que debió haber resultado con un coeficiente mayor que la categoría 2 (10-14 cm), por lo que aquí nuevamente se tuvo el efecto de la conformación y conicidad de las trozas. Pero en general los resultados fueron muy constantes y de acuerdo a lo esperado y con mejor desempeño que la rosa morada.

Los diámetros (categorías diamétricas) son relativamente pequeños para las dos especies en estudio, sobre todo los que corresponden a la especie de *Tabebuia rosea*. Como ya se mencionó anteriormente estas trozas provienen de un primer aclareo y podas que se les aplicó a los dos módulos de plantaciones forestales experimentales establecidos en el municipio de La Huerta, Jalisco y que no se les dio un manejo a su debido tiempo, lo cual generó que muchos de los árboles no tuvieran un desarrollo normal debido a la competencia que se presentó por el espacio, luz y nutrientes. Sin embargo, se consideró de gran relevancia el poder elaborar el estudio de transformación de madera en rollo a madera aserrada y obtener la información precisa y confiable, para la elaboración del estudio de rentabilidad de las plantaciones forestales.

Madera en rollo procesada y madera aserrada recuperada

La especie *Tabebuia rosea* ingresó al aserradero un total de 11.10 m³ r y se obtuvieron 3.77 m³ de madera aserrada (Ma), considerando como madera aserrada las tablas, palillos o cuadrados para mango de escobas o tutores de algunos cultivos agrícolas y tabletas de diferentes medidas las cuales son empeladas para complemento de muebles (figura 1). Las características de cada una de estos productos ya se describieron en el apartado de la metodología y los volúmenes en rollo procesados y obtenidos se presentan el cuadro 7.

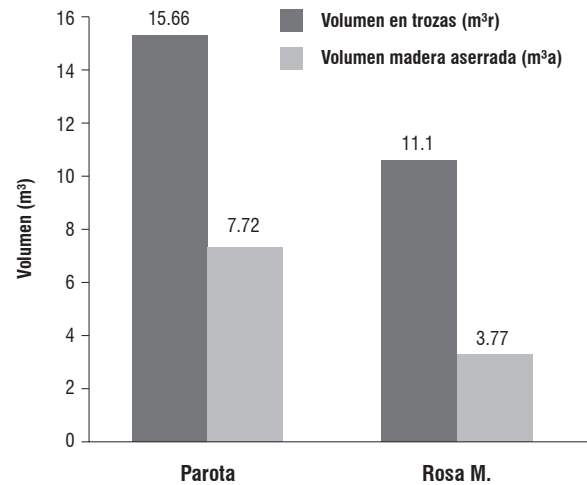


Figura 1. Madera en rollo procesada y madera aserrada obtenida por especie.

Por su parte la especie *Enterolobium cyclocarpum* ingresó al aserradero un volumen de madera en rollo de 15.66 m³ y se obtuvo un volumen de madera aserrada de 7.72 m³ (figura 1). Es conveniente mencionar que la totalidad de la madera obtenida fueron tabletas de dos medidas 1" x 2" x 2' y 1" x 2" x 2.5', aunque la madera de esta especie presentó diámetros y longitudes mayores que la especie de *Tabebuia rosea*, como ya se mencionó en el apartado de la metodología, se consideró no producir madera aserrada, debido a que estas presentaron albura muy extensa y duramen muy reducido.

El coeficiente de aserrío se determinó de acuerdo con Egas (1998), quien relaciona el volumen de madera aserrada obtenida entre la madera en rollo procesada multiplicado por 100 para obtener valores en porcentaje, resultando un coeficiente general de 34.03% para la especie *Tabebuia rosea* y 49.03% para la especie *Enterolobium cyclocarpum* (cuadros 7 y 8).

Los resultados logrados en este trabajo para la especie *Tabebuia rosea* coinciden con lo que reportó Quiroz et al. (2005) sobre la madera de dimensiones pequeñas de los primeros aclareos comerciales, los cuales no son aprovechados en usos comerciales, ya que el 66% del volumen de madera en rollo corresponde a productos denominados desperdicios, tales como costanera, recortes y aserrín,.

Zavala y Hernández (2000), afirman que en general en la mayoría de los aserraderos los subproductos llamados desperdicios (costanera, recortes y aserrín) no se cuantifican, y que sin embargo, por la importancia que están adquiriendo para la industria de tableros aglomerados y de celulosa y papel, en esta estudio si fueron cuantificados estos subproductos, resultando proporciones porcentuales importantes tales como;

Cuadro 7. Coeficiente de aserrío de la especie *Enterolobium cyclocarpum* (Parota).

Categoría diamétrica (cm)	Madera en rollo procesada m ³ r	No. de trozas	Coeficiente de aserrío (%)	Madera aserrada Obtenida (M3)			Desperdicio			Observaciones
				Madera aserrada Milirun (m ³)	Pajillo para mango escoba o tutores (m ³)	Tableta dos medidas (m ³)	Total (m ³)	Corteza (m ³)	Recorte (m ³)	
2 (10-14)	0.43542083	23	42.82	0.18644	0.18644	0.18644	0.1792	0.01701	0.0517371	0.24898083
3 (15-19)	2.71961342	102	39.04	1.062	1.062	1.062	0.759375	0.189	0.7086	1.656975
4 (20-24)	2.6547812	52	46.07	1.22326666	1.22326666	1.22326666	0.77	0.44068	0.222	1.43268
5 (25-29)	2.98132244	30	49.00	1.4573	1.4573	1.4573	0.486	0.308205	0.7296	1.523805
6 (30-34)	2.38445751	16	47.26	1.1269	1.1269	1.1269	0.31968	0.3936	0.543408	1.256688
7 (35-39)	1.7151306	8	60.00	1.02856667	1.02856667	1.02856667	0.16875	0.4005	0.1173111	0.6865611
8 (40-44)**	2.76892652	10	59.00	1.63233334	1.63233334	1.63233334	0.23985	0.6685	0.228	1.13635
Total=	15.6596525	241		7.71680667	7.71680667	7.71680667	2.922855	3.491288	1.4751261	7.94203993
Promedio =			49.03							

Cuadro 8. Coeficiente de aserrío de la especie: *Tabebuia rosea* (Rosa morada).

Categoría diamétrica (cm)	Madera en rollo procesada m ³ r	No. de trozas	Coeficiente de aserrío (%)	Madera aserrada Obtenida (m ³)			Desperdicio			Observaciones		
				Madera aserrada Milirun (m ³)	Pajillo para mango escoba o tutores (m ³)	Tableta dos medidas (m ³)	Total (m ³)	Corteza (m ³)	Recorte (m ³)		Aserrín (m ³)	Refuerto (m ³)
1 (5-9)	0.16352499	20	24.05	0.01966667	0.01966667	0.01966667	0.03933334	0.0081204	0.1134	0.00266254	0.12419165	
2 (10-14)	2.09496231	142	36.46	0.39333333	0.37052	0.37052	0.76385333	0.6875	0.147	0.043643578	1.331	
3 (15-19)	3.88094325	132	29.77	0.10698667	0.80869333	0.23954	1.15522	0.6912	1.57102	0.353808	0.10927477	2.72530277
4 (20-24)	3.62786578	73	32.72	0.60416	0.45233333	0.13058667	1.18708	1.1562	0.72375983	0.412776	0.14751696	2.44025279
5 (25-29)	1.33442816	17	47.15	0.44584333	-----	0.18329334	0.62913667	0.198	0.1815	0.13444704	0.19076722	0.7048
Total =	11.1017245	384	170.15	1.05000333	1.674026663	0.94360668	3.77462334	2.7329	2.73667983	1.36040144	0.49386507	7.32554721
Promedio =			34.03									

49.20% para costanera y recorte y 12.25% que le correspondió al aserrín.

Para el caso de la especie *Enterolobium cyclocarpum* se puede considerar como un valor en su coeficiente de aserrío aceptable, no obstante de tratarse de trozas de cortas dimensiones, sin embargo los subproductos llamados desperdicios también son considerables, resultando el 40.92% para corteza y recorte y 9.38% para el aserrín.

Al respecto Carrillo (2001), menciona que los residuos en la industria son generalmente mayores a los que registran las estadísticas de las industrias, ya que estas no establecen una relación real entre el volumen de madera en troza que procesan y el volumen de madera aserrada, ya que siempre usan una cubicación que subestima el volumen en troza (método del mecate), sin embargo haciendo una relación entre m³ en troza y m³ aserrado real el porcentaje de residuos alcanza hasta un 55% de los cuales un 15 a 20% es aserrín un 20 a 25% costillas, 5 a 10% despunte y 3 a 5% burucha.

Esto es muy similar a lo expuesto por Zavala (1996) y (1997) en relación a los volúmenes procesados de trozas en aserraderos, en donde resultaron 55 a 61% de madera aserrada y un 20 a 30% de costeras y recortes y un 13 a 22% de aserrín, sin embargo los resultados del presente estudio en ambas especies el porcentaje de madera aserrada fue menor y por lo tanto los subproductos costaneras y aserrín resultaron mayores, esto debido a que se trata de madera en rollo de cortas dimensiones.

En los cuadros 5 y 6 de resultados se presentan la distribución porcentual de la trocería procesada en el aserradero, en cuanto a la longitud en pies rollo con su correspondiente categoría diamétrica, resultando que para la especie *Tabebuia rosea* de las 384 trozas procesadas, el 59.37% fue para la longitud de 4 pies, el 16.66% para la longitud de 5 pies, el 15.36% para 2 pies, 8.07% para 3 pies y solamente el 0.52% para las trozas de 6 pies.

Lo anterior muestra lo reducido de las longitudes de esta trocería, además conviene resaltar que para efectos industriales las longitudes de trocería que son normalmente comerciales son las de 4, 6 y 8 pies, sin embargo en este caso se aprovecharon las longitudes de 3 y 2 pies para la elaboración de productos tales como las tabletas que se comercializan para complementar algunos tipos de muebles (sillas, mesas, etc.).

En relación a la especie *Enterolobium cyclocarpum* y como se muestra en el cuadro 6, de las 241 trozas procesadas 49% se agrupó en la longitud de 4 pies, el 28.21% correspondió a las trozas de 3 pies, el 12.45% presentó longitudes de 8 pies, el 7% para trozas de 2 pies y el 2 y 1% fueron para las trozas con longitudes de 5 y 1 pies respectivamente.

Es importante mencionar que independientemente de que esta especie resultó con un número mayor de categorías diamétricas, el coeficiente de aserrío fue mayor que el de *Tabebuia rosea* por el efecto de las trozas que presentaron mayor longitud en *Enterolobium cyclocarpum*, además de que las trozas de esta última, fueron pocos los cortes efectuados en la sierra principal, debido a que no se obtuvo madera aserrada en tablas y esto generó que resultara menor cantidad de desperdicio por esta razón. Lo anterior no significa que los resultados sean los mejores, en cuanto a ganancias económicas, pero si para algunos aspectos técnicos e industriales.

Conclusiones y recomendaciones

El valor promedio del coeficiente de aserrío nominal para las dos especies en estudio, fue de 34.03% para la *Tabebuia rosea* y 49.03% para *Enterolobium cyclocarpum*, sin embargo tomando en consideración los refuerzos y excesos de refuerzos, los valores son más amplios, como es el caso de *Tabebuia rosea*, que resultó con coeficiente de aserrío real de 39.0%, lo que significó una diferencia del 5%. Esto indica que del 5 al 10% de la madera que se procesa, se pierde por los excesos en los refuerzo, tanto en tablas como en productos secundarios (cuadrado o palillo para mango de escoba, tabletas para muebles de diferentes medidas, etc).

Los resultados muestran la necesidad de buscar mejores alternativas de aserrío, de madera en rollo de cortas dimensiones, que provienen del primer aclareo de las plantaciones forestales e incrementar el grado de utilización de la materia prima y buscar la diversificación de productos que se puedan obtener y sean de interés para la industria y buscar un mejor aprovechamiento del recurso forestal.

En *Tabebuia rosea* solamente en tres categorías diamétricas (3, 4 y 5) se produjo madera aserrada en tablas de cortas dimensiones, esto debido a que las dos primeras (1 y 2) se procesaron directamente de la sierra principal a las máquinas tableteras (2) y la categoría 1 paso directamente a la máquina tabletera. Para el caso de *Enterolobium cyclocarpum*, toda la madera en rollo de las 8 categorías diamétricas se empleo para la producción de tableta para muebles y palillo para mango de escoba y tutores. Esto debido a que la gran mayoría de las trozas no se consideraron aptas para producción madera aserrada, en tablas.

Las proporciones de corteza y recortes del 49.26% en *Tabebuia rosea* y 40.95% en *Enterolobium cyclocarpum* se consideran un volumen significativo de material considerado como desperdicio, el cual no es aprovechando y que pudiera servir como materia prima para otras industrias, tales como; aglomerados y

de celulosa como lo señalan algunos autores citados en este trabajo. El porcentaje de aserrín 9.42% para *Enterolobium cyclocarpum* y 12.25% en *Tabebuia rosea* también es un valor importante el cual se puede utilizar como combustible y otros usos industriales importantes como elaboración de tableros comprimidos, entre otros.

Se observa una tendencia a mejorar el coeficiente de aserrío conforme se aumenta el diámetro de las trozas, aunque con unas excepciones no se aprecia así sobre todo en *Tabebuia rosea* debido a lo pequeño de sus diámetros y la influencia de la longitud y conicidad de las trozas. La parota tuvo mejor coeficiente debido a que tuvo también mayores diámetros en sus trozas.

Un aspecto muy importante en la realización del estudio, consistió en no interrumpir las actividades cotidianas que el personal del aserradero realiza de manera normal, sin considerar que se está llevando a cabo dicho estudio. A efecto de poder obtener información real y confiable de la eficiencia y productividad del aserradero, por lo tanto los valores de los resultados obtenidos son de acuerdo a las faenas cotidianas y no recomendadas para evaluar el estudio, esto indica la factibilidad de mejorar y hacer más eficiente productividad de este aserradero.

Con base a los valores que se obtuvieron del coeficiente de aserrío de ambas especies, no se presentó una clara tendencia de aumento en el mismo, de acuerdo al incremento en el diámetro de cada categoría diamétrica, lo que hace suponer que las longitudes de la troza presentaron influencia directa en el rendimiento de producción, por lo tanto se recomienda en estudios posteriores se incluyan trabajos de investigación en relación en la variación de la longitud de la trocería.

Es muy importante incrementar el coeficiente de aserrío, en base a estudios relacionados con diferentes sistemas o diagramas de corte en la trocería y sobre todo considerando las dimensiones de los productos aserrados, de tal manera que no lleven excesos de refuerzos en sus tres dimensiones.

El efecto del diámetro y longitudes de las trozas sobre el rendimiento, obliga a pensar en la necesidad del perfeccionamiento del aserrado de trozas de pequeñas dimensiones, por lo tanto, es importante y recomendable que se busque la manera de poder introducir a la industria de aserrío, aserraderos portátiles y semi portátiles debido a que estos aserraderos, presentan sierras principales de aserrío de menor calibre o espesor y esto podría ser un factor importante para reducir el desperdicio de madera y ser más eficiente en el proceso de transformación de madera en rollo a madera aserrada. 

Referencias

- BENAVIDEZ U., G.** 2007. *Crecimiento en altura y diámetro de seis especies tropicales en una plantación experimental, La Huerta, Jalisco*. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Costa Sur, División de Desarrollo Regional, Autlán de Navarro, Jal. 61 p.
- BERTRAND, L. Y M. PRABHAKAR.** 1990. *Control de calidad. Teoría y aplicaciones*. Ed. Díaz de Santos S.A. Madrid.
- BINAGOROV, G. S.** 1984. *Tecnología del aprovechamiento forestal*. Editorial Industria Forestal. Moscú. pp 201–2002
- BROWN, T. D.** 1979. Determining lumber target sizes and monitoring sawing accuracy. *Forest Product Journal* **29**(4): 48–54.
- BROWN, T. D.** 1986. *Lumber size control*. *Forestry Business*. College of forestry. Oregon State University. USA. 16 p.
- CARRILLO, O.** 2001. *Mercadeo e industrialización de madera proveniente de plantaciones forestales. Situación de la industria forestal Costarricense*. FAO. TCP/COS/006(A) 69 p.
- CASADO, M. M.** 1997. *Tecnología de las industrias forestales. Tomo I. Serie Forestal 26*. Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. 191 p.
- DENIG, J.** 1990. *Control de la calidad en aserraderos de pino del sur*. North Carolina Cooperative Extension Service. 47 p.
- DISTANCIA C., O.** 2008. *Evaluación del crecimiento de una plantación experimental de 1992 al 2005 de Cedrela odorata, Swietenia macrophylla, Enterolobium cyclocarpum y Tabebuia rosea en la Costa de Jalisco*. Tesis de licenciatura. Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, División de Ciencias Biológicas, Zapopan, Jal. 92 p.
- EGAS, A, F.** 1998. *Consideraciones para elevar los rendimientos en aserraderos con sierras de banda*. Tesis para optar por el grado de Doctor en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río, Cuba. 100 p.
- FAHEY, T. D. Y SACHET, J. K.** 1993. *Lumber recovery of ponderosa pine in Arizona and New Mexico*. USDA Forest Service Paper PNW-RP-467. Pacific Northwest Research Station. Portland, Oregon. 18 p.
- Fosado, O.** 1999. *Tratamiento económico matemático de la planificación operativa del proceso de aserrado de la madera*. Tesis de Doctorado en Ciencias Forestales. Universidad de Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba. 100 p.
- GARCÍA, L; A. GUINDEO, C. PERAZA, Y P. DE PALACIOS.** 2002. *La madera y su tecnología*. Fundación Conde del Valle

- de Salazar y Ediciones Multiprensa. AITIM. Madrid, España 322 p.
- GARCÍA R., J.D., L. MORALES Q. Y S. VALENCIA M.** 2001. *Coefficientes de aserrío para cuatro aserraderos banda en el Sur de Jalisco*. Foresta-AN. Nota técnica No. 5. UAAAN, Saltillo, Coah. 12 p.
- JALISCO.** (<http://www.e-local.gob.mx/work/templetes/enciclo/jalisco/mpios/> consultado 29 de Enero 2007.).
- OKAY, R.** 2001. *Sawing characteristics and mechanical strength properties of branchwood of some Ghanaian timber species from sustainable managed forest*. ITTO. Fellowship Report: Ref. 064/98A. 30 p.
- PATTERSON, D., H. WIAN, JR. Y G. B. WOOD.** 1993. Comparison of the centroid method and taper systems for estimating tree volumes. *North. J. Appl. For.* **10**(1): 8–9.
- RUEDA S. A., J. A. RUIZ C., J. G. FLORES G., Y E. TALAVERA Z.** 2006. *Potencial productivo para 11 especies de pino en Jalisco*. SAGARPA, INIFAP, Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, Libro Técnico No. 1. Tepatitlán, Jalisco. 175 p.
- RUEDA S. A., J. A. RUIZ C., J. DE D. BENAVIDES S. Y J. G. FLORES G.** 2007. *Definición de áreas favorables para el desarrollo de seis especies forestales tropicales en el estado de Jalisco*. SAGARPA, INIFAP, Centro de Investigación Regional del Pacífico Centro, Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, Libro Técnico No. 5. Tepatitlán, Jalisco. 165 p.
- STEELE, S. AND F. WAGNER.** 1990. A model to estimate regional softwood sawmill conversion efficiency. *Forest Products Journal* **40**(10): 29–34.
- SUBSECRETARIA FORESTAL Y DE LA FAUNA (SFF).** 1978. *Disposiciones sobre coeficientes de aserrío y usos de refuerzos*. México. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. Dirección General de Control y Vigilancia Forestal. Circular 2/78. 3 p.
- TODOROKI, C.** 1995. Log rotation effect on carriage sawing of sweep logs. *New Zealand Journal of Forestry Science* **25**(2): 246–255.
- ZAVALA Z., D.** 1991. *Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada. Serie de apoyo académico. 44*. Universidad Autónoma Chapingo. México. 50 p.
- ZAVALA Z., D.** 1994. *Control de calidad en la industria de aserrío y su recuperación económica*. INIFAP. Bol. Téc. No. 115. Coyoacán, D.F. México. 48 p.
- ZAVALA Z., D.** 1995. Interrelación de las características de la trocería con el coeficiente de aprovechamiento en aserraderos banda. Universidad Michacana, de San Nicolás de Hidalgo. *Revista Ciencia y Tecnología de la Madera* **6**: 3–14.
- ZAVALA Z., D. Y C. R. HERNÁNDEZ.** 2000. Análisis del rendimiento y utilidad del proceso de aserrío de trocería de pino. *Madera y Bosques* **6**(2): 41–55 (Internet. <http://72.14.253.104/ecologia.edu.mx/publicaciones/resumeness/6.2/pdf>. Consultado 2 de Febrero 2007).

Utilización de bagazo de agave como sustrato para producción de plántulas de tomate

Luis Bernardo Rodríguez-García¹, Fernando Alonso Fernández-Castellanos¹, Gilberto Íñiguez-Covarrubias², Eduardo Rodríguez-Guzmán¹, Eduardo Rodríguez-Díaz¹ y Ma. Cruz Arriaga-Ruiz¹

¹Departamento de Producción Agrícola. ²Departamento de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara, km 15.5 carretera Guadalajara-Nogales. Las Agujas, Zapopan, Jalisco. Guadalajara 45020 Jalisco, México.

Correo electrónico: erguzman@cucba.udg.mx

Resumen

Con el propósito de estimar la respuesta de compost de agave en la producción de plántula de tomate, en este estudio se compararon como sustratos para la producción de plántula de tomate variedad Hermosa, dos de agave, uno realizado en la Universidad de Guadalajara y otro obtenido de Tequila Cuervo, contra los sustratos que tradicionalmente se emplean, como son las turbas Sunshine Mix 3 y Berger BM2. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 8 repeticiones. La investigación se realizó durante el mes de julio de 2005. En lo que respecta al índice de vigor y porcentaje de emergencia no manifestaron diferencia entre sustratos. Sunshine Mix 3 permitió mayor volumen de raíces y peso fresco de raíz. En el compost de agave de la universidad se obtuvieron los mayores valores de altura, peso fresco y seco de parte aérea y peso seco de raíz. Los resultados permiten sugerir el uso del compost de agave, elaborado bajo el proceso empleado en la Universidad de Guadalajara, como sustrato para la producción de plántulas de tomate y posible sustituto de las turbas importadas.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum*, *Agave tequilana* Weber, sustrato para germinación.

Abstract

To estimate the performance of agave bagasse for tomato seedling production in this study were compared as substrates for tomato seedling production variety Hermo-

sa. Agave bagasse were obtained, one at the University of Guadalajara and another from Tequila Cuervo. Both were compared against substrates traditionally used in seedling production, such as the Sunshine Mix 3 and Berger BM2 peat moss. To do this in 72 cavities polystyrene tray were placed four substrates, each in 18 cavities, and each tray was a repeat under an experimental design of complete blocks randomly with 8 repetitions. A seed was placed by cavity and watered initially with simple water, to the fifth day when initiated seedling emergency. Then, nutritious Steiner Universal solution to a total concentration 0.3 atm was used, until to complete the experiment. The germination process carried out from 6 (sowing) to 25 July 2005 (emergency end), were counted seedlings born daily and seedlings extraction was performed on 27 and 28 July, proceeding to determine volume root, height of seedling and wet and dry weight of seedling. The vigor index and percentage of emergency not expressed difference between substrates. Sunshine Mix 3 allowed more roots, fresh weight root. With the university agave compost were obtained higher values of height seedling, fresh and dry weight of canopy part and dry weight of root of tomato seedling. The results allowed suggest the use of compost agave, drawn up under the process used in the University of Guadalajara, as a substrate for the production of seedlings tomato and possible replacement of imported peat moss.

Key words: *Solanum lycopersicum*, *Agave tequilana* Weber, germination substrate.

Introducción

Hoy día se utilizan grandes cantidades de sustratos vegetales naturales que, por lo general, son mezclas de diferentes productos que mejoran sus características, tanto físicas como químicas, con el fin de ofrecer a la planta las mejores condiciones para su

desarrollo, tal es el caso de las turbas (peat moss) derivadas de la descomposición parcial de musgos del género *Sphagnum*, el cual es la base de los sustratos de más uso, y que se importan de Canadá (Rodríguez et al. 2007); sus características físicas, químicas y

biológicas permiten una excelente germinación y crecimiento de las plántulas, pero su coste elevado y explotación no sostenible, ha comenzado a restringir su utilización. Esto motivó la búsqueda de otros sustratos entre los que destacan el compost que se produce a partir de materiales orgánicos vegetales y animales, como el serrín de coco, producto de la molienda del mesocarpo del fruto del coco, que se evaluó como sustrato sustituto de la turba (Fernández et. al. 2006).

El bagazo de agave biotransformado es una alternativa adicional para utilizarlo como sustrato en la producción de plántulas y desarrollo de plantas en viveros e invernaderos. Consiste de la fibra residual, subproducto de la industria tequilera, que se genera en grandes cantidades después de que las “cabezas” o “piñas” de agave son sometidas a un proceso de cocción con vapor en hornos o autoclaves y después pasadas por desgarradoras, para reducir su tamaño y facilitar la extracción más eficiente de los azúcares (Iñiguez et al. 2003 a)

El bagazo (corteza y haces fibrovasculares dispersos al interior del tallo de agave), representa cerca del 40 por ciento del peso total del agave molido, con base a peso fresco. El bagazo está disponible todo el año en dos regiones productoras de tequila en México: Tequila y Altos de Jalisco. La fibra es densa y larga (10 a 12 centímetros) y entre los usos que se le dan se incluyen la mezcla con arcilla para la manufactura de ladrillos; después de la separación mecánica de la médula y de secarse al sol, se emplea como relleno de colchones, muebles y como material de embalaje, pero en su mayor parte se adiciona al suelo agrícola (Iñiguez et al. 2003 b).

En los últimos años, el mercado del tequila ha crecido y ganado reconocimiento internacional, por lo que se produce más bagazo y se incrementan los problemas en la disposición de él por parte de las compañías productoras de tequila, las cuales a veces recurren a apilarlo y en donde en ocasiones se incendia (Iñiguez y Crohn 2004).

El objetivo de este trabajo fue estimar la respuesta del compost de agave como sustrato para germinación y producción de plántulas de tomate, en comparación a la turba canadiense.

Materiales y métodos

El experimento se realizó bajo condiciones de invernadero con cubierta plástica del 6 al 28 de julio, en las instalaciones del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, en Las Agujas, Zapopan, Jalisco ubicado en las coordenadas 20° 44' 44.6" de latitud Norte, 103° 30' 54.4" de longitud Oeste y 1660 msnm.

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del compost de agave elaborada en la Universidad de Guadalajara (Compost de agave UdeG).

Propiedades	Bagazo de agave
Humedad (%)	71.00
Materia seca (%)	29.00
pH	5.40
Cenizas (%)	8.80
Materia orgánica (%)†	91.20
Carbono orgánico total (%)‡,	50.60
Nitrógeno total (%)†, ‡,	0.53
Relación C:N	95.50

† Base seca ‡ Nitrógeno total Kjeldahl

Se utilizaron cuatro sustratos: dos compost a partir de bagazo de agave y dos turbas. El primero obtenido de la empresa Tequila Cuervo (compost Tequila Cuervo), el segundo elaborado en la Universidad de Guadalajara (compost U de G) (cuadro 1).

Las turbas empleadas fueron Berger BM2 (Turba de esfagno fina, perlita fina, vermiculita fina, cal dolomítica y calcítica, carga fertilizante inicial, agente humectante); y Sunshine Mix 3 (musgo, *Sphagnum* Canadiense, vermiculita, carbonatos, agente humectante y formulación base de fertilizantes). De acuerdo con la Asociación Canadiense de *Sphagnum* Peat Moss (Canadian *Sphagnum* Peat Moss Association) las cualidades de la turba de *Sphagnum* son: Composición homogénea; alta estabilidad estructural; alta capacidad de contener agua y aire; bajo pH (3.5-4.5) el cual es fácilmente ajustable; bajo contenido de sales; bajo contenido nutricional ajustable (0.6 a 1.4 % de N); no contiene patógenos ni plagas; libre de semillas de maleza.

Se sembraron semillas de tomate de la variedad Hermosa, tipo saladet indeterminado, en charolas de poliestireno de 72 cavidades, desinfectadas con una solución de cloro al 2%; se colocó una semilla por cavidad a una profundidad aproximada de 1 cm y se cubrió con sustrato. Cada charola consistió en una repetición, dividida en cuatro secciones de 18 cavidades, cada una con el sustrato correspondiente. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 8 repeticiones (figura 1a).

Al principio se regó con agua simple, y a partir del quinto día, cuando las plántulas iniciaron su emergencia, se suministró solución nutritiva Universal de Steiner (relaciones mutuas de aniones: 60:5:35 para NO_3^- : H_2PO_4^- : SO_4^{2-} y cationes: 35:45:20 para K^+ : Ca^{2+} : Mg^{2+}) a una concentración total de iones de 0.3 atm, hasta finalizar el experimento.

La germinación se dio a partir del día 6 (siembra) al 25 de julio de 2005 (finalización de la emergencia).

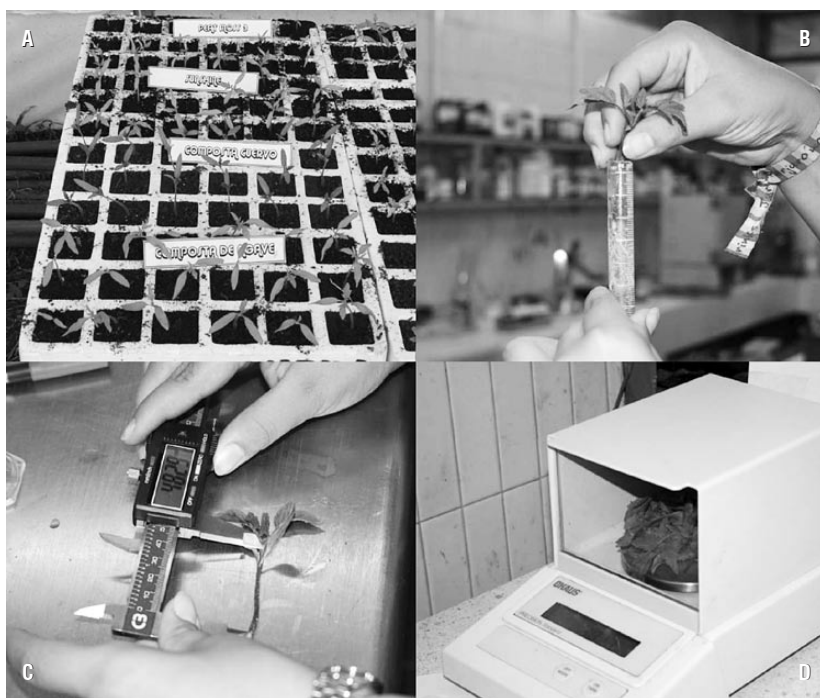


Figura 1. a) Establecimiento en charolas;
b) Estimación de volumen de raíces;
c) Medición de altura de plántula;
d) Determinación de peso fresco.

En el invernadero se registraron los datos de emergencia de las plántulas a partir del cuarto día, se realizaron conteos diarios de las plántulas nacidas, hasta el día 16 en que finalizó la emergencia. Se consideraron las variables total de plántulas emergidas y velocidad de emergencia o índice de vigor propuesto por Maguire (1972), que integra la suma del cociente del número de plántulas emergidas por día. Una vez completada la emergencia se extrajeron las plántulas para su evaluación en laboratorio el 27 y 28 de julio; mediante remojo y lavado del sustrato para dejar limpias las raíces y se procedió a hacer el registro de:

1. Altura de plántula (medida de la base del tallo al ápice, con vernier digital en mm) (figura 1b),
2. Volumen de la raíz (se separaron las raíces del resto de la plántula y se sumergieron en una probeta de 10 ml, registrando la diferencia en volumen del agua con y sin raíces) (figura 1c),
3. Peso fresco de las plántulas, se separaron raíz y parte aérea (se registro el peso en gramos en una balanza digital de precisión, con 3 decimales) (figura 1d),
4. Peso seco de plántula, se registró por separado raíz y parte aérea (se secaron las partes de las plántulas por separado por 48 horas a 60 °C y se pesaron en la balanza digital con el resultado en gramos).

Los resultados obtenidos se procesaron con el paquete estadístico SAS (2000) mediante el análisis de varianza, y en las variables que se registraron diferen-

cias significativas, se compararon los promedios de tratamientos mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad.

Resultados y discusión

En el porcentaje de emergencia y el índice de vigor o velocidad de emergencia de las semillas del Híbrido de tomate Hermosa no se registraron diferencias entre los cuatro sustratos (cuadro 2), en ambos sustratos de turba se obtuvieron resultados un poco inferiores a los obtenidos en los compost (cuadro 3).

Las plántulas mostraron diferencias significativas en el volumen de raíces, altura de plántula y los pesos frescos y secos de la parte aérea y de raíces (cuadro 2). Las producidas en los sustratos de turba produjeron mayor volumen de raíces, seguidas por el compost de agave U de G (cuadro 3).

De acuerdo con Posadas (1999), el valor hortícola de la turba resultante de *Sphagnum* reside en las propiedades especiales de las células constituidas por tabiques finos muy lignificados, que definen grandes cavidades que les permiten absorber y transportar grandes cantidades de agua, que cuando se sustrae mantiene la estructura de la célula llenándose de aire. Esta capacidad de absorber agua y reemplazarla después por aire pudo ser la causa por la que se produjo un mayor volumen de raíces.

Las plántulas de mayor altura se obtuvieron en compost de agave U de G, seguido por turba Sunshine y, por último, los sustratos de compost de agave de Tequila Cuervo y la turba Berger BM2. De las dos tur-

Cuadro 2. Cuadrados medios para ocho variables de emergencia y desarrollo de plántula, en 4 sustratos. Las Agujas, Zapopan, México. 2005.

F V	GL	PE	IV	VR	AP	PFR	PFFA	PSR	PSPA
Bloques	7	116	0.29	0.011	93	0.02	0.07	0.03	0.019
Sustratos	3	21 ^{ns}	0.03 ^{ns}	0.038 ^{**}	1148 ^{**}	0.74 ^{**}	0.38 ^{**}	0.07 ^{**}	0.503 ^{**}
Error	21	110	0.20	0.006	28	0.01	0.02	0.01	0.009
Total	31								
CV		12.9	13.5	32.5	8.9	14.6	32	44.8	16.3

ns = No significativo y ** = significativo con $P < 0.01$, respectivamente; FV = Fuente de variación; GL = Grados de Libertad; CV = Coeficiente de variación; PE = Porcentaje de emergencia; IV = Índice de vigor; VR = Volumen de raíces en plántula; AP = Altura de plántula; PFR = Peso fresco de raíz; PFFA = Peso fresco de la parte aérea; PSR = Peso seco de raíz; PSPA = Peso seco de la parte aérea.

Cuadro 3. Medias para variables de emergencia y desarrollo de plántula, en 4 sustratos. Las Agujas, Zapopan, México. 2005.

Sustrato	PE	IV	VR	AP	PFR	PFFA	PSR	PSPA
	%		ml	mm				
Compost de agave U de G	82.8	3.3	0.23 ^{AB}	71.9 ^A	0.46 ^B	1.05 ^A	0.88 ^A	0.33 ^A
Compost de agave tequilera cuervo	81.9	3.4	0.14 ^B	52.0 ^B	0.18 ^C	0.38 ^C	0.32 ^C	0.11 ^B
SunShine	79.4	3.3	0.30 ^A	66.8 ^A	0.70 ^A	0.81 ^B	0.70 ^B	0.30 ^A
Peat Moss	79.7	3.3	0.27 ^A	46.5 ^B	0.53 ^{AB}	0.49 ^C	0.42 ^C	0.20 ^{AB}
DMSH	14.6	0.6	0.11	7.4	0.21	0.14	0.15	0.13

Valores con la misma letra dentro de columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey con $P < 0.05$. DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta. PE=Porcentaje de emergencia; IV=Índice de vigor; VR=Volumen de raíces en plántula; AP=Altura de plántula; PFR=Peso fresco de raíz; PFFA=Peso fresco de la parte aérea; PSR=Peso seco de raíz; PSPA=Peso seco de la parte aérea.

bas, la de Sunshine mostró mejor comportamiento, al generar el mejor volumen de raíces de los cuatro sustratos, con el mayor peso fresco de raíz, aunque con peso seco de raíz inferior al producido en el compost de agave U de G.

El compost de agave producido en la Universidad de Guadalajara sobresale en la producción de plántulas con mayor altura, peso fresco y seco de la parte aérea y seco de raíz de las plántulas, lo que indica que a pesar del bajo volumen de raíces generado en este sustrato, la materia seca producida es significativamente superior a las producidas en los demás sustratos.

De acuerdo con Soliva (1999) entre los objetivos del compostaje se incluye el de facilitar la gestión de residuos orgánicos procedentes de distintas actividades, reduciendo su peso y volumen, a la vez que estabilizarlos y generar un producto útil; además, de producir materiales alternativos a los sustratos tradicionales por la problemática derivada de la importación de materiales como la turba. Por lo anterior se puede considerar que el compost de agave es un sustrato útil en la producción de plántulas de tomate, resolviendo al menos un par de problemas:

La importación de sustratos como la turba, que en 2008 representó una inversión de 10.5 millones de dólares, por un volumen de 29 millones de kilogra-


mos de este producto (CGM-SE 2008), y la superficie bajo producción de tomate en 2008 fue de 57 248 ha (SIAP-SAGARPA 2008), de las cuales cerca de 900 ha se producen bajo invernadero, donde se hace la producción de plántula en charolas de poliestireno y el sustrato principal es *Sphagnum* Peat Moss.

Se genera un aprovechamiento de un residuo que de otra manera ocasiona un problema de contaminación. Para dimensionar el problema, Rodríguez et al. (2007) mencionan que la producción de un litro de tequila 100% de agave genera entre 4 y 6 kg de bagazo en peso húmedo; en el año 2003 la industria tequilera produjo cerca de 200 millones de litros de tequila, dando como resultado alrededor de un millón de toneladas de bagazo en peso seco.

Conclusiones

Con base en los resultados obtenidos en el presente trabajo se encontró:

1. Que al emplear el compost de agave realizado en la Universidad de Guadalajara, como sustrato para la producción de plántula de tomate se obtiene un buen desarrollo de la misma expresado en la producción de materia seca, superando los resultados obtenidos al emplear la turba de *Sphagnum* producida por Sunshine;

2. Que fue a su vez la mejor turba de las dos empleadas, lo que permite considerar al compost como un sustituto factible de la turba importada. 

Referencias

- CANADIAN SPHAGNUM PEAT MOSS ASSOCIATION.** 2009. *Horticultural Teaching Plan*. <http://www.peatmoss.com/hortprog1.php> (Consulta: septiembre 3 de 2009).
- IÑIGUEZ G., S. FLORES Y L. MARTÍNEZ.** 2003a. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 5. Biodegradación del material de descarte de la Industria de curtiduría. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* **19**(2): 83–91.
- IÑIGUEZ, G., P. VACA AND R. M. ROWELL.** 2003b. Tequila, Slaughterhouse Wastes and Composting. *Biocycle International* **44**(8): 57–60.
- IÑIGUEZ G., D. M. CROHN.** 2004. Utilization of by-products from the tequila industry. Part 6: Fertilization of potted geranium with a slaughterhouse waste Compost. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* **20**(2): 53–58.
- MAGUIRE, J.D.** 1962. Speed of germination-aid in relation evaluation for seedling emergence vigor. *Crop Science* **2**: 176–177.
- POSADAS S. F.** 1999. Propiedades y características de los sustratos. Turba y fibra de coco. En: *Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo 2*. Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo II [celebrado] del 18 al 29 de octubre de 1999, Almería Dirección General de Investigación y Formación Agraria. 590 pp.
- RODRÍGUEZ M., R., E. G. ALCÁNTAR G., R. QUINTERO L., J. F. ZAMORA N. Y E. SALCEDO P.** 2007. Producción y evaluación de sustratos de agave tequilero. En Primer Seminario Internacional del Tequila. *Tequila: Ambiente, Cultura y Sociedad. (Memorias)* Valenzuela-Zapata, A.G. y Gerritsen P.R.W. (Eds.). Instituto Manantlán de Ecología y Conservación de la Biodiversidad y Signo Tequila, A.C. Libro en CD. http://www.sit2007.org/wp-content/uploads/2008/02/ext_rodriguez.pdf. (Consulta junio 10 de 2008).
- CGM-SE.** 2008. Carbón. Importación en Volumen y Valor, por Fracción Arancelaria, Presentación y Origen, 2007-2008. Fracción Arancelaria 2703.00.01. pp. 417. In: *Anuario de la Minería Mexicana Ampliada 2008*. Capítulo IV. Estadísticas básicas por producto para minerales metálicos y no metálicos. Publicación No. 38 Coordinación General de Minería. Secretaría de Economía. http://www.coremisgm.gob.mx/productos/anuario/Capitulo_IV.pdf (Consulta: septiembre 3 de 2009).
- SIAP- SAGARPA.** 2008. *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. <http://www.siap.gob.mx/> (Consulta: septiembre 3 de 2009).
- SOLIVA T. M.** 1999. Compostaje de materiales orgánicos para su uso como sustrato. En: *Curso superior de especialización sobre cultivos sin suelo 2*. Curso Superior de Especialización sobre Cultivos sin Suelo II [celebrado] del 18 al 29 de octubre de 1999, Almería Dirección General de Investigación y Formación Agraria. 590 pp.

Potencial antitumoral del ajo y sus componentes químicos. Revisión bibliográfica

Eduardo Padilla Camberos¹ y Galina P. Zaitseva²

¹Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Avenida Normalistas 800, 44270, Guadalajara, Jalisco, México. ² Departamento de Biología Celular y Molecular, CUCBA, Universidad de Guadalajara, Predio Las Agujas, Km 15 carretera a Nogales, Zapopan, Jalisco, México.

Correo-e: zgalina@cucba.udg.mx

Resumen

Varias observaciones epidemiológicas y estudios experimentales han indicado el potencial antitumoral del ajo, el cual ha sido utilizado de forma tradicional desde tiempos inmemoriales para el tratamiento de varias enfermedades humanas en diferentes partes del mundo. Las propiedades anticancerígenas del ajo se han atribuido a una amplia variedad de compuestos químicos identificados en el ajo. Los componentes del ajo han demostrado disminución de daños al ADN al bloquear enlaces covalentes de sustancias cancerígenas, incrementar la degradación de agentes cancerígenos, propiedades antioxidantes y secuestrantes de radicales libres, regular la proliferación celular, inducir apoptosis e incrementar la respuesta inmune. Esto ha abierto nuevas líneas a los investigadores en el campo de la prevención del cáncer.

Palabras clave: Ajo, antitumoral, apoptosis.

Abstract

Several epidemiological observation and a number of laboratory studies have indicated anticarcinogenic potential of garlic, which has been traditionally used from time immemorial for varied human diseases in different parts of the world. The anticarcinogenic properties of garlic have been attributed to a wide variety of chemical compounds identified to be present in garlic. Garlic components have been found to block covalent binding of carcinogens to DNA, enhance degradation of carcinogens, have antioxidative and free radical scavenging properties and to regulate cell proliferation, apoptosis and immune responses. This has opened up a new avenue for researchers in the field of cancer prevention.

Key words: Garlic, antitumor, apoptosis.

Introducción

El ajo (*Allium sativum*) ha sido utilizado como condimento de alimentos y en la medicina tradicional, lo cual se ha documentado en los códigos hebreos, papiros egipcios y en la Grecia antigua (Afzal et al. 2000). Estudios recientes han reportado la efectividad del ajo en padecimientos cardiovasculares debido a su habilidad para disminuir el colesterol sérico y la agregación plaquetaria. Asimismo, se han evidenciado efectos hipoglucemiantes, antitrombóticos, antimicrobianos y antioxidantes, entre otros (Khanum et al. 2004).

Una de las aplicaciones terapéuticas del ajo, que han mostrado gran interés, es su uso en la prevención del cáncer. La asociación entre el consumo de ajo y el riesgo de desarrollar cáncer ha sido evaluada en varios estudios epidemiológicos realizados en China, Italia, Suiza y Holanda; principalmente estudios de casos y controles. La mayoría de estas investigaciones reportan una disminución del riesgo de cáncer gá-

strico al incrementar el consumo de ajo (Fleischauer y Arab 2001).

Componentes químicos del ajo

El ajo contiene altos niveles de compuestos organosulfurados a los que se les atribuye la actividad biológica. La alicina (dialiltiosulfonato) es uno de los principales compuestos activos formados en el ajo y representa cerca del 70% de los tiosulfonatos formados por la transformación de la molécula aliina, liberada del parénquima vegetal cuando se cortan o maceran los dientes de ajo, la reacción es catalizada por la enzima alinasa presente también en el ajo. La composición química del ajo varía en relación a la región y condiciones de cultivo (Miron et al. 2002).

Compuesto	Estructura química	Abreviación
Compuestos liposolubles		
Tiosulfinato de dialilo	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{S}(\text{O})-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$	Alicina
Ajoene	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{S}(\text{O})-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$	Ajoeno
Dialil sulfuro	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$	DAS
Dialil disulfuro	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$	DADS
Dialil trisulfuro	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{S}-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}_2$	DATS
Compuestos hidrosolubles		
S-Alil cisteína	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	SAC
S-Alil mercapto cisteína	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{S}-\text{S}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{NH}_2)-\text{COOH}$	SAMC

Mecanismos de acción

Los efectos del ajo y sus componentes, relacionados con la prevención del cáncer, están basados en los siguientes mecanismos:

A) INHIBICIÓN DE MUTAGÉNESIS.

Extractos acuosos y metanólicos de ajo mostraron inhibición de la actividad mutagénica inducida por aflatoxina B₁, peróxido de hidrógeno y radiaciones en *Salmonella typhimurium*. Extractos acuosos de ajo disminuyeron también la mutagenicidad de 4-nitroquinolina-1-óxido en *Escherichia coli* (Soni et al. 1997).

B) INCREMENTO DE LA ACTIVIDAD DE OXIDASAS QUE IMPIDEN LA ACTIVACIÓN DE SUSTANCIAS CANCERIGENAS.

La inducción de enzimas de fase II, las cuales incrementan la detoxificación y excreción de cancerígenos potenciales y la reducción de aductos del ADN, ha sido demostrada en hígado de ratas expuestas a componentes del ajo. Asimismo se ha reportado la síntesis incrementada de glutatión transferasas y tioles tripeptídicos endógenos que protegen directamente a las células del daño ocasionado por radicales libres, ha sido demostrada para varios componentes del ajo (Thomson y Ali 2003).

C) CITOTOXICIDAD EN CÉLULAS TUMORALES

La inhibición en la proliferación de células tumorales por la acción de componentes del ajo, ha sido demostrada en diferentes líneas celulares de cáncer de colon, piel y pulmón, entre otras (Sundaram y Milner 1996). Sin embargo se han encontrado resultados contradictorios en la proliferación de líneas celulares no tumorales, ya que algunos estudios muestran inhibición y en otros no se observa diferencia significativa sobre la proliferación celular (Wu et al. 2005).

D) INDUCCIÓN DE APOPTOSIS

Los principales compuestos químicos del ajo han mostrado inducción de apoptosis en estudios *in vitro* realizados en líneas celulares de cáncer de colon, pulmón, próstata, leucemia, gástrico, células basales y mamarias (Hernan y Singh 2004). El ajo no indujo apoptosis en células de leucemia humana aunque este efecto no se presentó en células mononucleares de sangre periférica obtenida de donadores sanos (Dirsch et al. 2002). Asimismo, la alicina inhibió el crecimiento de líneas de cáncer cervical y de colon e indujo apoptosis mediante la activación de las caspasas 3, 8 y 9 (Oomen et al. 2004). Sin embargo, en un artículo reciente, se demostró la inducción de apoptosis independiente de caspasas en una línea de cáncer gástrico (Park et al. 2005).

La inducción de apoptosis por los componentes del ajo se presenta generalmente de una forma dosis dependiente, siendo la sustancia DADS quien presentó una mayor inducción de apoptosis en comparación a cantidades isomolares del compuesto SAC (Sundaram y Milner 1996).

Por su parte, el SAMC, que contiene 2 átomos de azufre, indujo más apoptosis que el compuesto SAC, con un solo átomo de azufre; en las líneas SW-480 y HT-29 (Shirin et al. 2001). El mecanismo de este efecto dependiente del número de átomos de azufre es todavía desconocido. Sin embargo, se puede concluir que los compuestos del ajo con mayor número de átomos de azufre tienen mayor actividad biológica y este efecto pudiera estar asociado con su reactividad con cisteína y GSH. La mayoría de los componentes del ajo detienen el ciclo celular de células tumorales en la fase G₂/M e inducen apoptosis por la vía mitocondrial que está modulada por la familia de bcl-2, cambios en el potencial de membrana de la mitocondria y liberación de citocromo c. Sin embargo, algunos estudios reportan que DATS induce arresto de la fase G₁S y apoptosis en células de cáncer gástrico (Li y Lu 2002).

E) INMUNOMODULACIÓN

Varios estudios, han mostrado una participación importante del sistema inmunológico relacionado con la actividad antitumoral del ajo y sus componentes. Extractos de ajo han mostrado estimulación de la respuesta inmune en cáncer de vejiga (Lamm y Riggs 2001). Asimismo, un extracto fermentado de ajo, mostró incremento de actividad de células NK en un modelo de sarcoma murino (Eikai et al. 2001).

La alicina incrementó la producción del factor de necrosis tumoral (TNF-alfa) y del óxido nítrico al incubarse con macrófagos peritoneales murinos (Kang et al. 2001). Asimismo, mostró un efecto protector en

daño hepático inducido en ratones, mediante la inhibición en la activación de NF-kB (Bruck et al. 2005). De manera similar, un estudio reciente indica que la alicina muestra activación linfocitaria mediante la modificación de la cisteína 118 del gen p21 ras (Patya et al. 2004).

Conclusión

Los estudios realizados por varios grupos de investigación en el mundo, indican que el ajo y sus componentes químicos presentan una actividad biológica asociada con la prevención del cáncer. Por tal motivo las investigaciones se han enfocado en la identificación de los componentes químicos que presentan la actividad antitumoral y la explicación de su mecanismo de acción, el cual parece estar relacionado con la modulación de la respuesta inmune y con la inducción de apoptosis en células tumorales.

En México, se consume ajo de manera habitual (Torres 2003). Los estudios y difusión de los beneficios del ajo podrían incrementar su consumo y favorecer la salud de la población. Nuestro grupo de trabajo actualmente evalúa el efecto antitumoral de alicina en un modelo *in vivo* de linfoma murino, con interesantes resultados preliminares.

Referencias

AFZAL, M., ALI, M., THOMSON, M. Y ARMSTRONG, D. (2000). Garlic and its medicinal potential. *Inflammopharmacology* **8**: 123–148.

BRUCK, R., AEED, H., BRAZOVSKY, E., NOOR, T. Y HERSHKOVICZ, R. (2005). Allicin, the active component of garlic, prevents immune-mediated, concanavalin A-induced hepatic injury in mice. *Liver international* **25**: 613–621.

DIRSCH, V.M., ANTISPERGER, D.S., HENTZE, H. Y VOLLMAR, A.M. (2002). Ajoene, an experimental anti-leukemic drug: mechanism of cell death. *Leukemia* **16**: 74–83.

EIKAI, K., UDA, N., KASUGA, S. Y ITAKURA Y. (2001). Immunomodulatory effects of aged garlic extract. *Journal of Nutrition* **131**: 1075S–1079S.

FLEISCHAUER, A. Y ARAB, L. (2001). Garlic and cancer: A critical review of the epidemiologic literature. *Journal of Nutrition* **131**: 1032S–1040S.

HERNAN, A. Y SINGH, S. (2004). Signal transduction pathways leading to cell cycle arrest and apoptosis induction in cancer cells by *Allium* vegetable-derived organosulfur compounds: a review. *Mutation Research* **555**: 121–131.

KANG, N.S., MOON, E.Y., CHO, C.G. Y PYO, S. (2001). Immunomodulating effect of garlic component, allicin, on murine peritoneal macrophages. *Nutrition Research* **21**: 617–626.

KHANUM, F., ANILAKUMAR, K. Y VISWANATHAN, K.R. (2004). Anticarcinogenic properties of garlic: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* **44**: 479–488.

LAMM, L. Y RIGGS, D. (2001). Enhanced immunocompetence by garlic: Role in bladder cancer and other malignancies. *Journal of Nutrition* **131**: 1067S–1070S.

LI, Y. Y LU, Y. (2002). Isolation of diallyl trisulfide inducible differentially expressed genes in human gastric cancer cells by modified cDNA representational difference analysis. *DNA and Cell Biology* **21**: 771–780.

MIRON, T., SHIN, I., FLEIGENBAT, G., WEINER, L., MIRELMAN, D., WILCZEK, M. Y RABINKOV, A. (2002). A spectrophotometric assay for allicin, alliin, and allinase (alliin lyase) with a chromogenic thiol: reaction of 4-mercaptopyridine with thiosulfonates. *Analytical Biochemistry* **307**: 76–83.

OOMMEN, S., ANTO, R.J., SRINIVAS, G. Y KARUNAGARAN, D. (2004). Allicin (from garlic) induces caspase-mediated apoptosis in cancer cells. *European Journal of Pharmacology* **485**: 97–103.

PARK, S.Y., CHO, S.J., KWON, H.C., LEE, K.R., RHEE, D.K. Y PYO, S. (2005). Caspase-independent cell death by allicin in human epithelial carcinoma cells: involvement of PKA. *Cancer Letters* **224**: 123–132.

PATYA, M., MUAYAD, A., VANICHKIN, A., RABINKOV, A., MIRON, T., MIRELMAN, D., WILCZEK, M., LANDER, H. Y NOVOGRODSKY, A. (2004). Allicin stimulates lymphocytes and elicits an antitumor effect: a possible role of p21ras. *International Immunology* **16**: 275–281.

SHIRIN, H., PINTO, J.T., KAWABATA, Y., SOH, J.W., DELOHERY, T., MOSS, S.F., MURTY, V., RIVLIN, R.S., HOLT, P.R. Y WEINSTEIN, I.B. (2001). Antiproliferative effects of S-allylmercaptocysteine on colon cancer cells when tested alone or in combination with sulindac sulfide. *Cancer Research* **61**: 725–731.

SONI, K.B., LAHIRI, M., CHACKRADEO, P., BHIDE, S.V. Y KUTTAN, R. (1997). Protective effect of food additives on aflatoxin-induced mutagenicity and hepatocarcinogenicity. *Cancer Letters* **115**: 129–133.

SUNDARAM, S.G. Y MILNER, J.A. (1996). Diallyl disulfide induces apoptosis of human colon tumor cells. *Carcinogenesis* **17**: 669–673.

THOMSON, M. Y ALI, M. (2003). Garlic (*Allium sativum*): A review of its potential use as an anti-cancer agent. *Current Cancer Drug Targets* **3**: 67–81.

TORRES, F. (2003). La alimentación de los mexicanos la final del milenio: de la diversidad a la homogeneidad regional. *Notas, revista de información y análisis* **10**: 47–58.

WU, X., KASSIE, F. Y MERSCH-SUNDERMANN, V. (2005). Induction of apoptosis in tumor cells by naturally occurring sulfur-containing compounds. *Mutation Research/Reviews* **589**(2): 81–102.

Concentraciones bajas de plaguicida endosulfán incrementan in vivo e in vitro la proliferación de esplenocitos en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*)

Martha Cecilia Téllez-Bañuelos, Anne Santerre, Josefina Casas Solís y Galina Zaitseva

Departamento de Biología celular y Molecular de CUCBA, Universidad de Guadalajara, Zapopan, Jalisco, México cp 45101

Correo electrónico: zgalina@cucba.udg.mx

Resumen

El endosulfán es un insecticida organoclorado, persistente en el ambiente, de extrema toxicidad para peces que altera la respuesta inmune innata en tilapia nilótica juvenil (*Oreochromis niloticus*), incrementando la actividad fagocítica y la producción de especies reactivas de oxígeno en macrófagos esplénicos y, probablemente, otros parámetros inmunológicos. Objetivo: evaluar el efecto de la exposición aguda a concentración subletal de endosulfán (7 ppb, 96 h) in vivo e in vitro (7 µg/mL, 72 h) sobre la respuesta inmune específica del antes mencionado organismo acuático. Materiales y métodos: la proliferación de linfocitos esplénicos bajo estímulo mitogénico se determinó por los métodos de MTT y WST-1 en lector de ELISA. Resultados: el endosulfán, aún en un período corto de exposición a concentraciones bajas, afectó el parámetro evaluado, induciendo una sobrerregulación en la proliferación y diferenciación celular. Conclusión: el endosulfán, en nuestras condiciones experimentales, sobreactiva las células de la respuesta inmune específica en este pez teleosteo *Oreochromis niloticus*, lo que puede facilitar el desarrollo de las enfermedades autoinmunes. Se requieren de más estudios para validar esta suposición, analizando el efecto del endosulfán sobre la apoptosis y expresión de senescencia.

Palabras clave: endosulfan, tilapia nilótica, proliferación de linfocitos, in vivo, in vitro.

Abstract

Endosulfan is a persistent organochlorine insecticide, extremely toxic to fish; it alters the immune system of juvenile Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) increasing significantly its phagocytic activity and the production of oxygen reactive species in spleen macrophages and possibly other immune parameters. The aim of the present work was to evaluate the effect of the acute exposure to a sublethal concentration of endosulfan (7ppb, 96 h) in vivo and in vitro (7 µg/mL, 72 h) on the specific immune response of the above mentioned organism. Material and methods: proliferation of splenic lymphocytes stimulated with mitogen was measured by using the MTT and WST-1 methods in an ELISA reader. Results: Short exposure to low concentration of endosulfan affected the evaluated parameter leading to an over-regulation of cell proliferation and differentiation. It can be concluded that in our experimental conditions endosulfan over-stimulated the specific immune response of this teleost fish, *Oreochromis niloticus*, which can lead to autoimmune diseases. More studies are needed to confirm this hypothesis through the evaluation of the effect of endosulfan on apoptosis and senescence expression.

Key words: endosulfan, Nile tilapia, lymphocytes proliferation, in vivo, in vitro.

Introducción

El endosulfán (CAS 115-29-7) es un insecticida órgano clorado del grupo de los ciclodienos que fue desarrollado pocos años después de la Segunda Guerra Mundial para control de plagas en cultivos agrícolas. Este producto es una mezcla de los isómeros α -endosulfán (CAS 959-98-8) y β -endosulfán (CAS 33213-65-9) con una relación 7:3, respectivamente. Los compuestos organoclorados son todos aquellos

que cuentan con enlaces de átomos de carbono y cloro; estos son muy escasos en la naturaleza, por lo cual los sistemas vivos no están adaptados para descomponerlos. Esta condición y el hecho de ser altamente lipofílicos, explica que muchos de los productos químicos fabricados por el hombre tiendan a acumularse y biomagnificarse a través de las cadenas alimenticias.

El endosulfán es un compuesto con alta persistencia en el medio ambiente y tiene la propiedad de desplazarse a largas distancias del sitio aplicado por su fácil y rápida evaporación. Debido a la escorrentía, el insecticida entra en contacto con los cuerpos de agua, donde no solo afecta la flora y fauna acuática, sino también impacta a toda la cadena trófica ya que el agua contaminada se utiliza tanto para el consumo humano como para el uso agropecuario (Bols and Brubacher 2001).

A pesar de que el endosulfán está clasificado como plaguicida de alta toxicidad (United States Environmental Protection Agency), se sigue usando mundialmente. Muchos reportes describen al endosulfán como un contaminante común en frutas y vegetales, hasta fue detectado en manos de la población en general (Antherieu et al. 2007). Por tal razón, el endosulfán se examina actualmente en el Convenio de Rotterdam, con la finalidad de aplicar normas más estrictas en su comercialización internacional, así como en el Convenio de Estocolmo para su prohibición internacional en relación con sus efectos adversos en el medio ambiente y la salud (http://www.ecochem.com/ENN_EPA_endosulfan.html).

En México el uso del endosulfán se autoriza para su aplicación en 41 cultivos que incluyen gramíneas, vegetales, frutas cítricas y leguminosas (Bejarano 2008). Se calcula que en actividades agrícolas en México se consumieron 492 toneladas de este plaguicida en el año 2003 (INEGI 2004).

Los efectos biológicos del insecticida dependen del organismo expuesto, dosis y tiempo de exposición. El endosulfán es genotóxico, neurotóxico, inmunotóxico e induce estrés oxidativo. Existe información abundante sobre enfermedades asociadas al incremento anormal de especies reactivas de oxígeno, como son los procesos inflamatorios crónicos, que llevan al desarrollo de enfermedades autoinmunes, como la artritis reumatoide, lupus eritematoso, o con padecimientos crónicos degenerativos severos como el Alzheimer o Parkinson (Hernández-Flores et al. 2005; Wang et al. 2006). Otros investigadores muestran a este insecticida como estrogénico, ya que induce la proliferación de células de cáncer de mama de MCF-7, factor de riesgo para cáncer endometrial (Weiderpass et al. 2000; Bonefeld-Jorgensen and Grunfeld 2005); además de promover respuestas alérgicas (Narita et al. 2007).

Este insecticida por su estabilidad en ambientes acuáticos y por su facilidad de acumulación en los tejidos, muestra efectos nocivos en organismos expuestos aun en dosis bajas. La alta toxicidad del endosulfán se ha evidenciado en peces como trucha arcoíris (*Oncorhynchus mikiss*) y bagre del canal (*Ictalurus punctatus*) (Sharma et al. 2007), donde se observo

la alteración de los órganos linfoides y metabolismo celular. La respuesta inmune en teleósteos se encuentra altamente desarrollada y ofrece varias ventajas como un bioindicador de la contaminación acuática, siendo una herramienta que infiere exposición y mide los efectos biológicos desfavorables inducidos por xenobióticos y que son medibles a través de biomarcadores, e.g. la proliferación celular (Tejeda-Vera et al. 2007; Abadin et al. 2007).

La tilapia nilótica es una de las especies más rentables para la acuicultura (FAO 2007), además de representar un alto potencial alimenticio para la población. Se introdujo en México a partir de 1960, y hoy en día hay tres especies: *Oreochromis aureus*, *O. mossambicus* y *O. niloticus*; esta última es la de mayor distribución y explotación. Es un pez muy resistente, que sólo desarrolla infecciones cuando factores abióticos afectan el funcionamiento de su sistema inmune, como lo son metales pesados y pesticidas, por lo que se considera excelente modelo de estudios inmunotoxicológicos (Zaitseva G. et al. 2006).

Los datos sobre el efecto del endosulfán en la respuesta inmune in vivo son realmente escasos, in vitro son controversiales e insuficientes, soportan efectos adversos que van desde un incremento en la respuesta inmune hasta una inmunosupresión. Nuestro equipo de trabajo recientemente reportó en tilapia nilótica un efecto inmunotóxico del endosulfán a concentración subletal y corto período de exposición in vivo, observando una activación inespecífica de los macrófagos esplénicos, además de una tendencia al incremento de la tasa de viabilidad celular (Téllez-Bañuelos et al. 2009).

Sin embargo, se desconoce el efecto de este pesticida en una exposición aguda a concentración subletal sobre la proliferación de células de la respuesta inmune adaptativa. Por lo que el presente estudio tiene como propósito contribuir al entendimiento del mecanismo inmunotóxico del endosulfán a nivel celular en un modelo experimental de organismo no blanco, que puede evidenciar el factor de riesgo en humanos, teniendo como objetivo: Evaluar el efecto del endosulfán a concentraciones bajas in vivo e in vitro sobre la proliferación de esplenocitos en tilapia nilótica (*Oreochromis niloticus*).

Material y métodos

Tilapias juveniles con peso (≈ 200 g) y talla homogéneas (≈ 25 cm), fueron proporcionadas por la empresa Aquamol S.C. de R.L. (ubicada en el municipio de Ajijic, Jalisco) y aclimatados en acuarios de 40 l (un pez por acuario) a temperatura constante de 28 °C con un pH de 6.5-8.5 durante una semana antes de los experimentos, recibiendo alimentación balanceada con

croquetas comerciales para peces de cultivo marca Purina.

La exposición al endosulfán comercial (Thiodan 35% i.a. Bayer Co) in vivo fue por 96 horas con la concentración subletal de 7ppb (equivalente a 7µg/l). La concentración letal 50 (CL₅₀) del endosulfán para tilapia nilótica juvenil fue determinada en el estudio previo (Téllez-Bañuelos et al. 2009) con valor de 12, 7ppb. Para ensayos in vitro se utilizó endosulfán purificado de Sigma.

Evaluación de la proliferación celular in vivo

Para determinar el efecto del endosulfán sobre este parámetro de la respuesta inmune, utilizamos el ensayo de MTT (Sigma-Aldrich). De 10 peces del grupo control y de 10 peces expuestos a 7µg/l de endosulfán in vivo, obtuvimos en condiciones asépticas el bazo, después disgregamos este órgano linfoide con una malla de nylon de 100 µm. Los eritrocitos fueron separados de la suspensión celular por gradiente de densidad con el uso de Histopaque 1077 (Sigma Aldrich). Sembramos 1×10^6 células resuspendidas en medio RPMI-1640 suplementado en una placa de cultivo de 96 pozos (Nunc 167008). Las células de peces de ambos grupos fueron estimuladas con 50 ng/ml de phorbol myristate acetate (PMA) y 1 µg/ml de Ionomicina, todo por duplicado. Como control utilizamos células solo en medio en ausencia de mitógenos. La placa fue incubada por 72 h a 28 ± 2 °C, en atmósfera húmeda y 5% de CO₂; pasado este tiempo, adicionamos a los cultivos MTT (5 mg/ml) y se incubó por 4 h; posteriormente agregamos buffer de extracción. Después de 18 horas determinamos la absorbancia de cada una de las muestras a 570 nm (Mosmann T. 1983) con un lector de placas para ELISA (OpsysMR, DYNEX technologies).

Evaluación de la proliferación celular in vitro

Con la finalidad de analizar el efecto directo del endosulfán sobre la capacidad de proliferación de esplenocitos, usamos una técnica sensible conocida como WST-1 (Roche Molecular Biochemicals). Obtuvimos el bazo de 10 peces no expuestos al endosulfán en las mismas condiciones asépticas, como en el ensayo anteriormente descrito, igualmente lo disgregamos con una malla de nylon de 100 µm y las células separadas por gradiente de densidad; determinándose la viabilidad mediante la técnica de exclusión de azul tripano. Sembramos 5×10^5 células/ml por duplicado en medio RPMI-1640 suplementado en una placa de cultivo Costar 3524 de 24 pozos. Las condiciones experimentales in vitro fueron:

- medio (ausencia de endosulfán y mitógenos)
- mitógenos (100 ng/ml de PMA más 1µg/ml de Ionomicina)
- endosulfán (7 µg/ml)
- mitógenos y endosulfán (7 µg/ml endosulfán más 100 ng/ml de PMA y 1µg/ml de Ionomicina)

En última condición primero agregamos el endosulfán por 4 h a 28 ± 2 °C, en atmósfera húmeda con 5% de CO₂ y después adicionamos los mitógenos, incubando nuevamente por 72 h a 28 ± 2 °C, en atmósfera húmeda y 5% de CO₂. En las demás condiciones las células fueron incubadas igualmente 72 h a la misma temperatura y concentración de CO₂. Pasado este tiempo, agregamos 20 µl por pozo del reactivo WST-1 e incubamos por 4 h. Enseguida, centrifugamos durante 1 minuto y determinamos la absorbancia a 450 nm con un lector de placas para ELISA (Synergy HT, BioTek).

Resultados

Respecto a la evaluación del efecto in vivo del endosulfán en la proliferación celular en tilapia nilótica, encontramos que la absorbancia de los esplenocitos solo con el medio de cultivo de los peces expuestos al plaguicida (0.350 ± 0.06) se incrementó significativamente comparado con lo observado en el grupo control (0.232 ± 0.04). Eso demuestra una mayor actividad de las enzimas mitocondriales en los peces expuestos a endosulfán y, por lo tanto, mayor capacidad de su proliferación sólo con medio de cultivo (figura 1). Sin embargo, las células de peces expuestos a concentraciones subletales de endosulfán in vivo mostraron significativamente menor capacidad de respuesta al estímulo mitogénico (0.322 ± 0.06) en comparación con las células del grupo control (0.584 ± 0.35).

Para corroborar este hallazgo de la alteración de linfoproliferación en tilapia juvenil bajo efecto del endosulfán in vivo, realizamos la evaluación del efecto directo del endosulfán in vitro sobre proliferación de los linfocitos esplénicos por ensayo WST-1, determinando su actividad enzimática. Como se aprecia en la figura 2, los esplenocitos de tilapia juvenil a una concentración de 7 µg/ml de endosulfán aplicado directamente al cultivo aumentaron significativamente el corte de las sales de tetrazolium por parte de las enzimas deshidrogenasas mitocondriales (1.170 ± 0.40) en comparación con los esplenocitos del grupo control (0.440 ± 0.20).

La respuesta proliferativa de los esplenocitos de tilapia bajo estímulo mitogénico fue similar con y sin presencia de endosulfán.

Figura 1. Efecto del endosulfán *in vivo* sobre la proliferación de esplenocitos en tilapia del Nilo por el método de MTT. Se aplicó ANOVA una vía y prueba de Turkey \pm SD para la comparación entre grupos. * $p < 0.05$ diferencia significativa entre grupos.

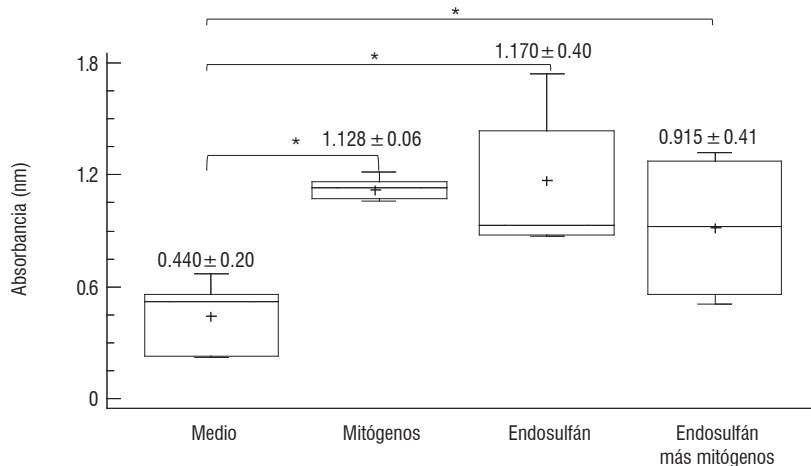
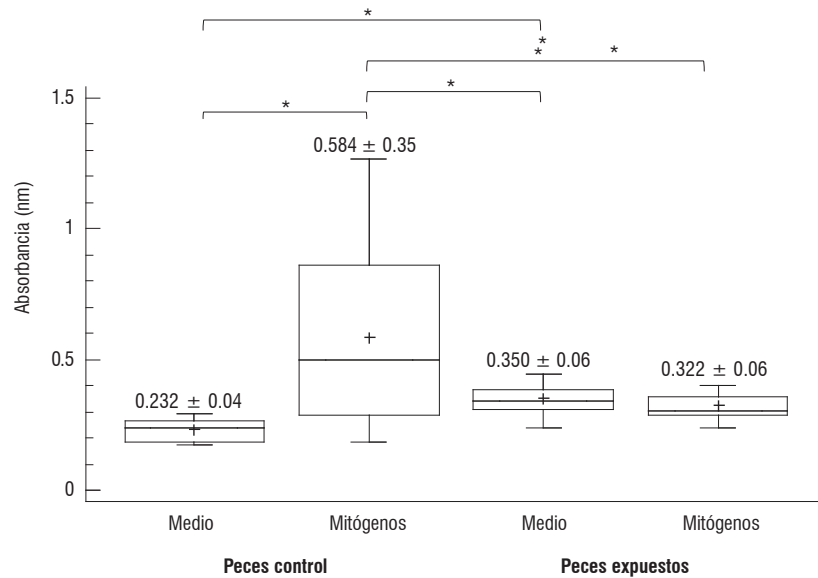


Figura 2. Efecto del endosulfán *in vitro* sobre la proliferación de células esplénicas por el ensayo WST-1. Se aplicó ANOVA una vía y prueba de Turkey \pm SD para la comparación entre grupos.

* $p < 0.05$ diferencia significativa entre grupos

Discusión

El presente trabajo aporta al estudio del impacto del endosulfán sobre la salud de los organismos, evaluando un parámetro cualitativo de la respuesta inmune como proliferación de células del bazo, principal órgano linfoide secundario, en tilapia nilótica, el pez ampliamente distribuido en presas y lagos de Jalisco. Nosotros aquí por primera vez reportamos, que bajas concentraciones del endosulfán (7ppb *in vivo* y 7 μ g/ml *in vitro* con corta exposición (96 y 72 horas, respectivamente) inducen proliferación de los esplenocitos en este pez dulceacuícola. Como se observa en la figura 1, en los peces expuestos *in vivo* al plaguicida, el grado de proliferación celular en medio de cultivo es significativamente mayor que en los peces del grupo control. Este hecho puede indicar una activación inespecífica de los linfocitos del bazo bajo efecto del

endosulfán, probablemente debido al incremento de producción de especies reactivas de oxígeno por macrófagos, lo que reportamos en el estudio previo en este pez con las mismas condiciones experimentales (Téllez-Bañuelos et al. 2009). Otro mecanismo, que podría estar involucrado en la activación de esplenocitos por el endosulfán *in vivo*, es el incremento de la síntesis de interleucina 2 (IL-2), la cual induce la proliferación linfocitaria. Nuestra suposición se debe al hecho de que encontramos elevados los niveles de esta interleucina en el suero de tilapias expuestas a endosulfán en las mismas condiciones (Téllez-Bañuelos et al. 2010).

La figura 1 muestra también la disminución de la respuesta proliferativa hacia mitógenos por los esplenocitos de peces expuestos en comparación con los del grupo control. Este comportamiento encontrado en nuestro estudio, coincide con el trabajo de Chris-

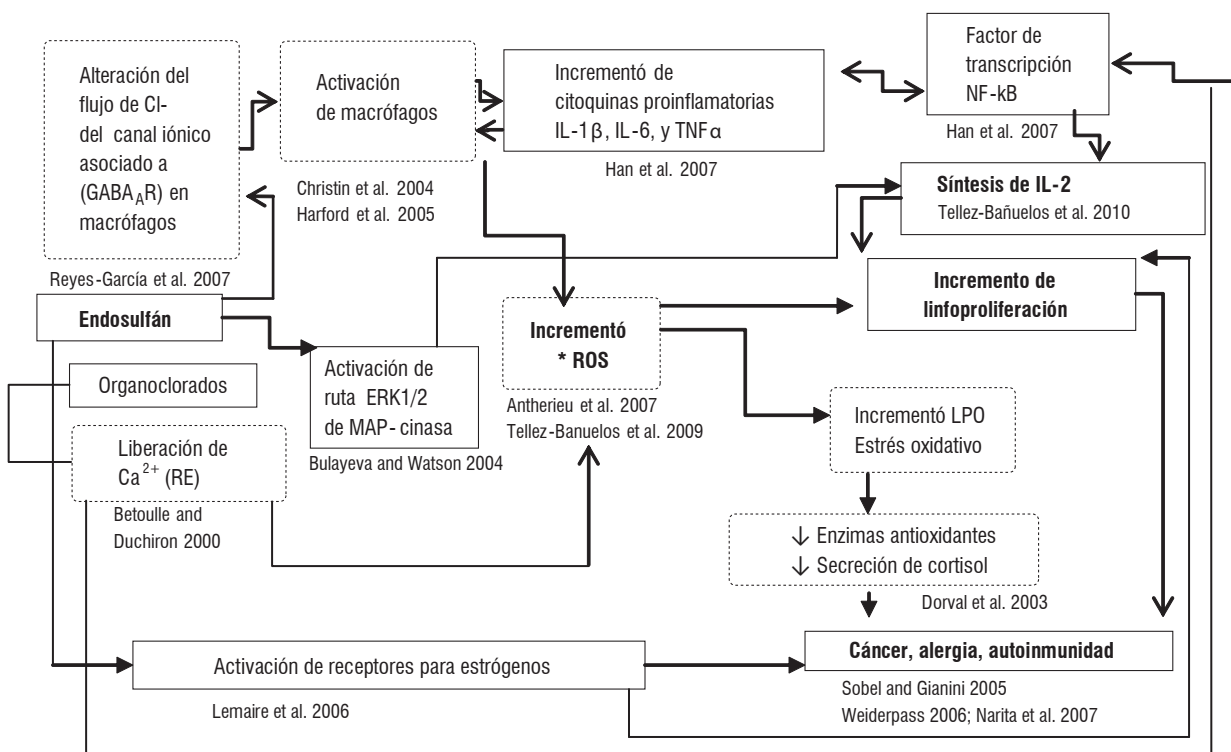


Figura 3. Posible mecanismo inmunotóxico del endosulfán en organismo no blanco a concentración baja y corto periodo de exposición.

tin et al. (2004), donde se reportó el decremento del índice de proliferación bajo estímulo mitogénico con Concanavalina A y fitohemaglutinina de los esplenocitos del anfibio *Rana pipiens* expuesta in vivo durante 21 días a una mezcla de contaminantes ambientales, incluyendo al endosulfán a concentraciones bajas de 30ppb. Aggrawal et al. (2008), también observaron drástica disminución de proliferación de los esplenocitos bajo estímulo mitogénico en pollos expuestos in vivo pero durante 60 días y a concentraciones altas de 30ppm de endosulfán. Sin embargo, Wade et al. (2007), reportaron la ausencia del efecto de dosis muy bajas de endosulfán (50ng/kg/día) en una mezcla de contaminantes encontrados en tejidos humanos, sobre la capacidad de respuesta proliferativa de los esplenocitos bajo estímulo mitogénico en rata Wistar.

El ensayo in vitro confirmó aún más nuestro hallazgo del efecto de concentraciones bajas de endosulfán sobre la proliferación de los esplenocitos de tilapia nilótica. La figura 2 muestra el incremento significativo de este parámetro en células directamente expuestas al endosulfán en comparación con las células que estaban en el medio de cultivo en ausencia de plaguicida o mitógeno. Lo que coincide con el reporte de Harford et al. (2005) en trucha arcoiris, donde se demuestra el incremento de proliferación de los linfo-

citos de riñón anterior expuestos in vitro a bajas concentraciones de un plaguicida organofosforado.

Con base en los trabajos de Han et al. (2005) y Reyes García et al. (2007), sugerimos (ver figura 3) que probablemente esto se debe, en primera instancia, a la alteración del flujo de cloro al inhibir su canal iónico asociado a receptores de GABA-A por el endosulfán, como el mecanismo intrínseco de su acción insecticida; lo que lleva a su vez al incremento del calcio intracelular y, como consecuencia, a la activación del factor de transcripción NF-kB también en las células de la respuesta inmune, lo que aumenta la síntesis de interleucinas, incluyendo a la pro-proliferativa IL-2. Ledirac et al. (2005) reportan la activación por el endosulfán de la ruta ERK1/2 de MAP-kinasa en cultivo celular, lo que puede inducir la expresión de genes involucrados en procesos de senescencia. Esto puede contribuir a la sobrevivencia de células mutantes y posible efecto cancerogénico, así mismo proteger de apoptosis a los clones autorreactivos de linfocitos, que lleva al desarrollo de las enfermedades autoinmunes, más aun conociendo el efecto estrogénico de endosulfán (PESTICIDE RISKS 2008; Wade et al. 2002).

La adición del endosulfán in vitro no afectó la capacidad de los esplenocitos de tilapia a proliferar bajo estímulo mitogénico. Por su parte, Pilts et al. (2003) también mencionan en su estudio en linfo-

tos de sangre periférica de ovejas, que bajo estímulo mitogénico con fitohemaglutinina el endosulfán, a concentraciones bajas de 10^{-6} M in vitro, no alteró el metabolismo celular. Aunque numerosos trabajos con altas concentraciones del endosulfán sí reportan decremento del índice de proliferación y apoptosis en varias líneas celulares (Kannan et al. 2000; Antherieu et al. 2007).

En conclusión, nuestros resultados evidencian la alteración de la capacidad proliferativa de células de la respuesta inmune en tilapia nilótica por la exposición, aunque corta y a concentraciones bajas, del plaguicida endosulfán. Estos datos evidencian el riesgo para la salud de este importante contaminante ambiental, lo que puede contribuir a la toma de decisiones sobre su uso pertinente en nuestro país. Lo reportado no se considera exclusivo para peces, sería pertinente estudiar la implicación del endosulfán en habitantes que se exponen a este plaguicida por su trabajo, por consumo de alimentos contaminados o bien a los que viven en áreas agrícolas en donde se aplican pesticidas.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por PROMEP-PIFI 2007-2008 para CA-UdeG- 482 "Biología de la respuesta inmune".

Referencias

- ABADIN, H. G., CHOU, C.H., LLADOS, F.T. (2007). Health effects classification and its role in the derivation of minimal risk levels: immunological effects. *Regul Toxicol Pharmacol* **47**(3): 249–256.
- AGGARWAL, M., NARAHARISSETTI, S.B., DANDAPAT, S., DEGEN, G.H., MALIK, J.K. (2008). Perturbations in immune responses induced by concurrent subchronic exposure to arsenic and endosulfan. *Toxicology* **251**(1–3): 51–60.
- ANTHERIEU, S., LEDIRAC, N., LUZY, A.P., LENORMAND P., CARON, J.C., RAHMANI, R. (2007). Endosulfan decreases cell growth and apoptosis in human HaCaT keratinocytes: partial ROS-dependent ERK1/2 mechanism. *J Cell Physiol* **213**(1): 177–86.
- BEJARANO, F. (2008). *Tercer Foro de Investigación sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes en México 20 y 21 de mayo de 2008*. http://cms1.ine.gob.mx/descargas/sqre/foro_cops_3_pon_f_bejarano.pdf
- BETOULLE, S., DUCHIRON, C. (2000). Lindane increases in Vitro respiratory burst activity and intracellular calcium levels in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) head kidney phagocytes. *Aquat Toxicol* **48**(2–3): 211–221.
- BOLS, N. C., BRUBACHER, J.L. (2001). Ecotoxicology and innate immunity in fish. *Dev Comp Immunol* **25**(8–9): 853–873.
- BONEFELD-JORGENSEN, E. C., GRUNFELD, H.T. (2005). Effect of pesticides on estrogen receptor transactivation in vitro: a comparison of stable transfected MVLN and transient transfected MCF-7 cells. *Mol Cell Endocrinol* **244**(1–2): 20–30.
- BULAYEVA, N.N., WATSON, C.S. (2004). Xenoestrogen-induced ERK-1 and ERK-2 activation via multiple membrane-initiated signaling pathways. *Environ Health Perspect* **112**(15): 1481–1487.
- CHRISTIN, M. S., MENARD, L., GENDRON, A.D., RUBY, S., CYR, D., MARCOGLIESE, D.J. (2004). Effects of agricultural pesticides on the immune system of *Xenopus laevis* and *Rana pipiens*. *Aquat Toxicol* **67**(1): 33–43.
- FAO. FISHERIES AND AQUACULTURE DEPARTMENT. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. ROME. (2007). *The state of world fisheries and aquaculture 2006* <http://www.fao.org/docrep/009/A0699e/A0699E00.HTM>
- HAN, E. H., HWANG, Y.P., KIM, H.G., JEONG, H.G. (2007). Inflammatory effect of endosulfan via NF-kappaB activation in macrophages. *Biochem Biophys Res Commun* **355**(4): 860–865.
- HARFORD, A. J., O'HALLORAN, K., WRIGHT, P.F.A. (2005). The effects of in vitro pesticide exposures on the phagocytic function of four native Australian freshwater fish. *Aquat Toxicol* **75**(4): 330–342.
- HERNÁNDEZ-FLORES G, GÓMEZ-CONTRERAS PC, DOMÍNGUEZ-RODRÍGUEZ JR, LERMA-DÍAZ JM, ORTIZ-LAZARENO PC, CERVANTES-MUNGUÍA R. (2005). Gamma-irradiation induced apoptosis in peritoneal macrophages by oxidative stress. Implications of antioxidants in caspase mitochondrial pathway. *Anticancer Res* **6B**: 4091–4100.
- INEGI. (2004). *Censos Económicos 2004*. Biblioteca Digital, 2004, from <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/proyectos/censos/ce2004/cuadros-ce04.asp>.
- KANNAN, K., HOLCOMBE, R.F., SUSHIL, K., JAIN, S.K., ALVAREZ-HERNANDEZ, X., CHERVENAK, R., WOLF R.E AND GLASS, J. (2000). Evidence for the induction of apoptosis by endosulfan in a human T-cell leukemic line. *Mol Cell Biochem* **205**(1–2): 53–66.
- LEDIRAC, N., S. ANTHERIEU, D'UBY, A.D., CARON, J.C., RAHMANI, R. (2005). Effects of organochlorine insecticides on MAP kinase pathways in human HaCaT keratinocytes: key role of reactive oxygen species. *Toxicol Sci* **86**(2): 444–452.
- LEMAIRE, G., MNIF, W., MAUVAIS, P., BALAGUER, P., RAHMANI, R. (2006). Activation of alpha- and beta-estrogen receptors by persistent pesticides in reporter cell lines. *Life Sci* **79**(12): 1160–1169.

- MOSMANN, T. (1983). Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. *J Immunol Methods* **65**(1-2): 55-63.
- NARITA, S., GOLDBLUM, R.M., WATSON, C.S., BROOKS, E.G., ESTES, D.M., CURRAN, E.M., MIDORO-HORIUTI, T. (2007). Environmental estrogens induce mast cell degranulation and enhance IgE-mediated release of allergic mediators. *Environ Health Perspect* **115**(1): 48-52.
- PESTICIDE RISKS.** *Pesticide poses severe risks to humans and only minimal benefits to growers.* (Beyond Pesticides, July 25, 2008) San Francisco, California http://www.ecochem.com/ENN_EPA_endosulfan.html
- PISTL, J., KOVALKOVICOVA, N., HOLOVSKA, V., LEGA' TH, J., MIKULA, I. (2003). Determination of the immunotoxic potential of pesticides on functional activity of sheep leukocytes in vitro. *Toxicology* **188**(1): 73-81.
- REYES-GARCÍA, M. G., HERNÁNDEZ-HERNÁNDEZ, F., HERNÁNDEZ-TELLEZ, B., GARCÍA-TAMAYO, F. (2007). GABA (A) receptor subunits RNA expression in mice peritoneal macrophages modulate their IL-6/IL-12 production. *J Neuroimmunol* **188**(1-2): 64-68.
- SHARMA, S., NAGPURE, N.S., KUMAR, R., PANDLEY, S., SRIVASTAVA, S.K., POONAM, J., S. AND P.K. MATHUR. (2007). Studies on the genotoxicity of endosulfan in different tissues of fresh water fish *Mystus vittatus* using the comet assay. *Arch Environ Contam Toxicol* **53**(4): 617-623.
- SOBEL, E.S., GIANINI, J. (2005). Acceleration of autoimmunity by organochlorine pesticides in (NZBxNZW)F1 mice. *Environ Health Perspect* **113**(3): 323-328.
- TEJEDA-VERA, R., LÓPEZ-LÓPEZ, E., SEDEÑO-DÍAZ, J.E. (2007). Biomarkers and bioindicators of the health condition of *Ameca splendens* and *Goodea atripinnis* (Pisces: Goodeidae) in the Ameca River, Mexico. *Environ Int* **33**(4): 521-531.
- TÉLLEZ-BANUELOS, M. C., SANTERRE, A., CASAS-SOLÍS, J., BRAVO-CUELLAR, A., ZAITSEVA, G. (2009). Oxidative stress in macrophages from spleen of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) exposed to sublethal concentration of endosulfan. *Fish Shellfish Immunol* **27**(2): 105-111.
- TÉLLEZ-BANUELOS, M. C., SANTERRE, A., CASAS-SOLÍS, J., ZAITSEVA, G. (2010). Endosulfan increases seric interleukin - 2 like (IL-2L) factor and immunoglobulin M (IG M) of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) challenged with *Aeromonas hydrophila*. *Fish Shellfish Immunol* **27**(2): 105-111.
- WADE, M. G. AND W. G. FOSTER. (2002). Effects of subchronic exposure to a complex mixture of persistent contaminants in male rats: systemic, immune, and reproductive effects. *Toxicol Sci* **67**(1): 131-143.
- WANG, X. F., S. LI. (2006). Inhibitory effects of pesticides on proteasome activity: implication in Parkinson's disease. *Neurobiol Dis* **23**(1): 198-205.
- WEIDERPASS, E., MARGOLIS, K.L., SANDIN, S. (2006). Prospective study of physical activity in different periods of life and the risk of ovarian cancer. *Int J Cancer* **118**(12): 3153-3160.
- ZAITSEVA, G.P., SANTERRE-LUCAS, A., CASAS-SOLÍS, J., PÉREGRINA-SANDOVAL, J., LEÓN-SÁNCHEZ, R. (2006). *Tilapia: Aspectos Biológicos y Productivos*. 1a ed. Universidad de Guadalajara, Coordinación Editorial, México.

Ganancia en selección con ciclos de poblaciones de maíz tropical Tuxpeño-1 (Pob. 21) y Eto blanco (Pob. 32)

Norberto Carrizales Mejía¹, José de Jesús Sánchez González¹, Hugo Córdova Orellana², Salvador Mena Munguía¹, Fidel Márquez Sánchez³, Florencio Recendiz Hurtado¹ y Mario Abel García Vázquez†¹

¹Profesor investigador. Universidad de Guadalajara- CUCBA (Dpto. Producción Agrícola-IMAREFI). Km 15.5 Carr. Guad.- Nogales, C.P. 45110. Las Agujas, Zapopan, Jalisco, México.

²Científico distinguido del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Coordinador del Subprograma Maíz de Trópicos Bajos (CIMMYT). Apartado Postal 6-641 06600 México, D.F., México.

³ Profesor Investigador. Universidad Autónoma de Chapingo (UACH). Centro Regional Universitario de Occidente. Av. Rosario Castellanos No. 2332 Colonia Residencial "La Cruz", C.P. 44950. Guadalajara, Jal., México.

Correo electrónico: nocame@cucba.udg.mx

Resumen

El mejoramiento genético de poblaciones del patrón heterótico "Tuxpeño × Eto" ha utilizado métodos de selección de familias de hermanos carnales, hermanos carnales recíprocos y selección recíproca recurrente (uso de medios hermanos) para producir genotipos de mayor respuesta en rendimiento de grano. El objetivo fue determinar el progreso de la selección recurrente (ganancia o incremento) en rendimiento del maíz tropical: Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto blanco (Población 32) y evaluar la selección recíproca recurrente sobre el rendimiento de ambas poblaciones, en ciclos utilizados y en el patrón heterótico Tuxpeño × Eto. La selección recurrente fue efectiva en mejorar el rendimiento de ambas poblaciones con ganancias significativas, obtenidas conforme se avanzó en la selección. Se comprobó en ciertos ambientes una respuesta negativa a la selección, y que el modelo que mejor se ajustó a los datos no es de tipo lineal. El método de hermanos carnales fue eficiente para incrementar rápidamente el rendimiento sobre las poblaciones originales haciendo buen aprovechamiento de la varianza genética aditiva. El método de selección recíproca recurrente (uso de MH) fue muy eficiente en aprovechar los efectos aditivos y no aditivos en el rendimiento de ambas poblaciones en comparación a los otros dos métodos empleados; asimismo, aumentó los efectos heteróticos en las cruces hechas entre ciclos avanzados de ambas poblaciones. El rendimiento fue significativamente superior en los ciclos avanzados de las dos poblaciones y los mejores ambientes para rendimiento de grano fueron Colima y Tlaltizapán 2000B, en cambio, Agua Fría, Tlaltizapán 2001A y Palmira fueron malos para este carácter.

Abstract

Two populations of the heterotic pattern "Tuxpeño × Eto" have been improved by using the family selection methods full sib (FS), reciprocal full sib (FSR) and reciprocal recurrent selection. The objective of this work was to determine recurrent selection progress (gain or increase) in yield of two tropical corn population, Tuxpeño-1 (Pop.21) and Eto blanco (Pop.32), and to evaluate reciprocal recurrent selection on yield of both populations, in the cycles employed and in the heterotic pattern "Tuxpeño x Eto". Recurrent selection was effective in improving the yield of both populations with significant increases, obtained as it advances in the selection. Some environments show a negative response to selection and the model that better adjusts was not a linear type. FS method was efficient to increase rapidly the yield of the original populations, making a good utilization of the additive genetic variance. Reciprocal recurrent selection was very efficient in capitalize additives and no additives effects on the yield of both populations. In addition, positive heterotic effects on crosses between advanced cycles of both populations were observed. The highest yield was seen for the advanced cycles of both populations, and the best environments for yield were Colima and Tlaltizapan 2000B, whereas Agua Fria, Tlaltizapán 2001A and Palmira were the worst for this character.

Introducción

En 1994 el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) reportó rendimientos

medios de 2.4 toneladas por hectárea en maíz (*Zea mays* L.) para países en vías de desarrollo, caracte-

rizados por presentar condiciones inadecuadas de alimentación y producción; del mismo modo hubo rendimientos de 6.9 toneladas por hectárea para los países desarrollados. En México, durante los últimos 50 años, la producción media anual del maíz se incrementó de 1 a 2.56 toneladas por hectárea, su cultivo se efectúa en poco más de ocho millones de hectáreas y produce una cosecha total de 20.5 millones de toneladas al año (FAOSTAT 2005).

Hallauer y Miranda (1987) observaron cambios de la media poblacional en una dirección favorable en poblaciones seleccionadas, indicaron que la variabilidad genética se mantiene para las futuras generaciones a través de la recombinación de progenies superiores; asimismo, indicaron las metodologías de la selección recurrente (SR) divididas en “intra e interpoblacionales” y consideraron que en las primeras se aprovecha la varianza genética aditiva (σ^2_A) y en las segundas las varianzas aditiva y de dominancia (σ^2_D). La SR es importante por su contribución significativa al mejoramiento genético de poblaciones de maíz; su objetivo principal es acumular e incrementar la frecuencia de genes (alelos favorables) para mejorar gradual y continuamente las poblaciones (Villena et al. 1974; Márquez 1985; Hallauer y Miranda 1987; Guzmán y Lamkey 2000; Paliwal 2001; Doerksen et al. 2003); su uso fue resaltado por Villena et al. (1974), quienes señalaron que este procedimiento mejora de forma continua y dinámica las poblaciones de maíz lo que se refleja en un alto rendimiento de grano (RG), amplia estabilidad en diferentes ambientes y buenas características agronómicas. Lee et al. (2003) encontraron que la SR mejora la estabilidad del RG de maíz y señalaron a ese carácter como heredable, predecible y, por lo general, controlable a través de la acción génica aditiva.

Márquez (1985) y Hallauer y Miranda (1987) señalaron a la SR de familias de hermanos carnales (SRFHC) como más eficiente que la SR de familias de medios hermanos (SRFMH); sin embargo, el primer procedimiento involucra más trabajo y más costo ya que requiere de polinización manual. Varios estudios reportan un aumento significativo del RG, por medio de la selección de hermanos carnales en diferentes poblaciones de maíz, tal es el caso de los incrementos en RG (4.4% a 18%) por ciclo de selección obtenidos por Villena et al. (1974), Johnson y Fischer (1980), Johnson et al. (1986) y Córdova et al. (2002).

Comstock et al. (1949, citados por López 1995) propusieron la selección recíproca recurrente (SRR) para seleccionar tanto aptitud combinatoria general (ACG) como específica (ACE); ésta es una transformación de la SR que involucra el mejoramiento simultáneo de dos poblaciones (A y B), explota todo tipo de acción génica responsable de la heterosis, mejora en forma

eficaz el RG per se de poblaciones y hace énfasis en mejorar el comportamiento de las cruzas entre poblaciones, Keeratinijakal y Lamkey (1993, citados por Moreno et al. 2004 y López 1995). Un estudio hecho por Menz et al. (1999) comparó la respuesta a la selección vía SRR y selección recíproca recurrente modificada (SRRM) en poblaciones de maíz BS21 y BS22; observaron un incremento significativo del RG en todas las cruzas de las poblaciones, que se manifiesta en una respuesta directa a la SRR (4.4 % por ciclo) en comparación a la SRRM. Asimismo, Tabanao y Rex (2005), usaron la SRR con objeto de evaluar el rendimiento de los ciclos cero y cinco de dos poblaciones de maíz y encontraron incrementos significativos en RG (130 a 160 kilogramos por hectárea por ciclo).

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el progreso de la selección recurrente en el rendimiento de grano de dos poblaciones de maíz tropical: Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto blanco (Población 32) en cuatro ambientes de México y uno de Colombia, con la finalidad de determinar el efecto de la selección recíproca recurrente sobre el rendimiento de grano de ambas poblaciones, en los ciclos de selección usados y en cruzas del patrón heterótico “Tuxpeño \times Eto”. Las hipótesis en las que se basó el presente trabajo, fueron: a) las poblaciones de Tuxpeño-1 y Eto blanco, mejoradas por los métodos de selección de hermanos carnales (HC), hermanos carnales por selección recíproca (HCR) y medios hermanos por selección recíproca recurrente (SRR) responden en forma diferencial a la selección cíclica hecha para el rendimiento de grano con incrementos y/o ganancias significativas y b) la SRR puede ser efectiva para fijar los efectos genéticos, expresados en la heterosis del rendimiento de grano.

Materiales y métodos

MATERIALES GENÉTICOS: Se utilizaron 32 genotipos de maíz del Subprograma de Trópicos Bajos (CIMMYT) durante los años 2000 a 2002; el germoplasma es característico del patrón heterótico “Tuxpeño \times Eto” y estuvo integrado por ciclos de selección de Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto blanco (Población 32), cruzas entre ciclos avanzados, cruzas de ciclos por los probadores CML448 y CML449, colectas, cruzas de ciclo por colecta, y la cruz testigo CML448 \times CML449 (cuadro 1).

Los ciclos avanzados fueron obtenidos por tres métodos de selección recurrente (SR) utilizados para mejorar ambas poblaciones: 1) selección de hermanos carnales (HC) para aumento de rendimiento de grano y reducción de altura de planta; 2) selección de hermanos carnales recíprocos dentro de cada población (HCR) para aumento de rendimiento, reducción de

Cuadro 1. Ciclos de selección de poblaciones 21 (Tuxpeño-1) y 32 (Eto blanco), y otros genotipos evaluados. CIMMYT – UdeG (2000-2002).

Entrada	Pedigree	Origen
1	TUXPEÑO-1 C6	TL00A1438-27#
2	TUXPEÑO-1 C11	TL00A1438-41#
3	TUXPEÑO-1 C16	TL00A1438-79#
4	TUXPEÑO-1 C19	TL00A1438-91#
5	ETO BLANCO C11	TL00A1438-44#
6	ETO BLANCO C16	TL00A1438-82#
7	ETO BLANCO C19	TL00A1438-94#
8	TUXPEÑO-1 C11 x ETO BLANCO C11	TL00A1438-42 x 45
9	TUXPEÑO-1 C16 x ETO BLANCO C16	TL00A1438-80 x 83
10	TUXPEÑO-1 C19 x ETO BLANCO C19	TL00A1438-92 x 95
11	TUXPEÑO-1 C6 x CML449	TL00A1438-28 x 152
12	TUXPEÑO-1 C11 x CML449	TL00A1438-43 x 152
13	TUXPEÑO-1 C16 x CML449	TL00A1438-81 x 152
14	TUXPEÑO-1 C19 x CML449	TL00A1438-93 x 152
15	ETO BLANCO C11 x CML448	TL00A1438-46 x 151
16	ETO BLANCO C16 x CML448	TL00A1438-84 x 151
17	ETO BLANCO C19 x CML448	TL00A1438-96 x 151
18	CML448 x CML449	COT00A434-641x 642
19	*TUXPEÑO-1 C0	TL00AI438-25#
20	**ETO BLANCO C0	TL00AI438-11#
21	TUXPEÑO-1 C0 x CML 449	TL00A1438-26x152
22	ETO BLANCO C0 x CML 448	TL00AI438-12x151
23	VERACRUZ-39	TL00AI438-1#
24	VERACRUZ -39 x CML449	TL00AI438-2x152
25	MICHOACÁN-166	TL00AI438-3#
26	MICHOACÁN-166 x CML 449	TL00A1438-4x152
27	V-520-C	TL00AI438-5#
28	V-520-C x CML 449	TL00A1438-6x152
29	TOLI-322	TL00A1438-7#
30	TOLI -322 x CML448	TL00A1438-8x151
31	VALL-380	TL00AI438-9#
32	VALL-380 x CML 448	TL00A1438-10x151

*Tuxpeño-1 (Población 21) C0. ** Eto Blanco (Población 32) C0 = Diacol – V351 C0

podrición de mazorca y acame de raíz, y para amplia adaptación; y 3) selección recíproca recurrente (SRR) con criterios de selección similares a los anteriores, usando medios hermanos (MH) en la evaluación. Las colectas utilizadas pertenecen a las dos poblaciones estudiadas y son materiales del banco de germoplasma del CIMMYT; asimismo, la cruz testigo está compuesta de dos líneas elite liberadas por CIMMYT, mismas que fueron utilizadas como probadores de ciclos avanzados.

LOCALIDADES DE EVALUACIÓN: Se llevaron a cabo tres experimentos en condiciones de temporal y dos bajo riego. Cuatro de los experimentos fueron establecidos y conducidos por el CIMMYT en tres ambientes de México y uno de Colombia (Puebla 2000B; dos en Morelos, 2000B y 2001A; uno en Palmira 2000B). Además, la Universidad de Guadalajara estableció y condujo un experimento en Colima (2002A). El cuadro 2 presenta el nombre, ubicación geográfica y altura sobre el nivel del mar de las cinco localidades.

Cuadro 2. Ambientes de evaluación de experimentos con genotipos del patrón heterótico Tuxpeño × Eto, y algunas características geográficas. CIMMYT – U de G (2000-2002).

Localidad	Latitud norte	Longitud oeste	ASNM (m)
Agua Fría, Puebla.	19° 58' 48"	97° 49' 36"	780
Tlaltzapán, Morelos.	18° 31'	99° 18'	940
Coquimatlán, Colima	19° 03'	103° 48'	400
Palmira, Colombia	3° 31' 48"	76° 81' 13"	1001

VARIABLES ESTUDIADAS: La variable del estudio fue el rendimiento de grano (RG); peso final de las mazorcas cosechadas por parcela útil, corregido por fallas, humedad al 15% y desgrane, y calculado en toneladas por hectárea de acuerdo al formato para la toma de datos en ensayos internacionales del programa de maíz del CIMMYT (1985).

DISEÑO EXPERIMENTAL: El diseño experimental utilizado fue el de bloques completos al azar. Cada experimento estuvo integrado por dos bloques (repeticiones) de 32 tratamientos, compuestos por parcelas de dos surcos de 5 × 0.80 metros cada uno (8 metros cuadrados). La parcela útil fue igual a la parcela total y se sembraron dos semillas por golpe a 0.25 metros de separación entre matas. Se hizo un aclareo para asegurar una densidad de población de 53,000 plantas por hectárea.

ESTIMACIÓN DE LA GANANCIA POR SELECCIÓN: Con fin de estimar el progreso o ganancia en rendimiento de grano de Tuxpeño-1 y Eto blanco ó Diacol-V351, se aplicó un análisis de regresión lineal simple. El análisis comprende dos variables esenciales (Steel y Torrie 1990):

1. La ordenada o variable dependiente Y, donde todo valor de Y depende de la población muestreada.
2. La abscisa o variable independiente X, en este estudio, ciclo de selección.

Cuando se va a ajustar una recta a datos consistentes en más de dos pares de valores, se elige la recta que mejor se ajuste a los datos, esto es, aquella que corresponda al mejor promedio móvil. En la recta ajustada:

$$Y = b_0 + b_1X$$

b_1 se conoce como el coeficiente de regresión, la recta se llama recta de regresión y su ecuación se denomina ecuación de regresión.

El coeficiente de regresión se determina mediante:

$$b_1 = \frac{\sum (X - \bar{X})(Y - \bar{Y})}{\sum (X - \bar{X})^2}$$

La verdadera regresión de Y con respecto a X consiste en las medias de las poblaciones de los valores de Y, donde una población está determinada por el valor de X. Se hace la suposición de una línea recta o regresión lineal cuya definición matemática está dada por:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_{ij}$$

donde β_0 y β_1 son parámetros que hay que estimar y X es un parámetro observable; β_0 representa el intercepto de la población Y, y β_1 es la pendiente de la recta que pasa por las medias de las poblaciones Y. En éste estudio, Y son los valores obtenidos por la variable analizada, rendimiento de grano, y X son ciclos de selección evaluados (Co, C6, C11, C16 y C19) correspondientes a las poblaciones 21 y 32 de Tuxpeño-1 y Eto blanco.

ESTIMACIÓN DE HETEROSIS: Los valores de heterosis para las cruzas entre los ciclos 11, 16 y 19 se calcularon de la siguiente manera:

$$H = F_1 - \frac{P_1 + P_2}{2}$$

donde: H es el valor de heterosis; F_1 es el rendimiento de la filial uno; P_1 es el rendimiento del progenitor uno; y P_2 es el rendimiento del progenitor dos; posteriormente, se calculó el porcentaje de heterosis, de la siguiente manera:

$$\%H = [(F_1 - \text{Media de progenitores}) / \text{Media de progenitores}] * 100$$

Resultados y discusión

EVALUACIÓN DE LAS GANANCIAS POR SELECCIÓN: El progreso obtenido por la selección recurrente durante 20 ciclos; en Tuxpeño-1 y Eto blanco, se estimó tanto para cada método como de manera general. La evaluación general de la respuesta a la selección se llevó a cabo con base en un análisis de regresión lineal.

RENDIMIENTO DE GRANO: Las respuestas directas a la selección recurrente para rendimiento de grano fueron consistentes a través de los ciclos y poblaciones. Los modelos lineales explicaron apropiadamente las res-

Cuadro 3. Coeficientes de regresión de los modelos lineal y cuadrático para el rendimiento de grano en ciclos de selección recurrente de Tuxpeño-1 y Eto blanco. CIMMYT – UdeG (2000-2002).

Población	Ambiente	Modelo lineal			Modelo cuadrático			
		b_0	b_1	R^2	b_0	b_1	b_2	R^2
Eto blanco	Agua Fría	2.394**	0.178**	0.988	2.311*	0.240	-0.003	0.997
Eto blanco	Colima	8.079*	0.074	0.406	8.496*	-0.235	0.017	0.948
Eto blanco	Palmira	3.878	0.053	0.065	4.834	-0.655	0.039	0.948
Eto blanco	Tlaltizapán 2001 A	3.507**	0.107*	0.906	3.654*	-0.002	0.006	0.977
Eto blanco	Tlaltizapán 2000 B	3.93*	0.175*	0.927	3.885	0.208	-0.002	0.930
Tuxpeño-1	Agua Fría	3.818*	0.184*	0.798	3.594	0.282	-0.005	0.816
Tuxpeño-1	Colima	7.835**	0.151*	0.894	8.053**	0.056	0.005	0.923
Tuxpeño-1	Palmira	4.304**	0.123*	0.901	4.156**	0.188	-0.003	0.921
Tuxpeño-1	Tlaltizapán 2001 A	4.262**	0.073*	0.793	4.261**	0.073	0.000	0.793
Tuxpeño-1	Tlaltizapán 2000 B	5.22**	0.148**	0.932	5.237**	0.141	0.000	0.932

* Coeficiente de regresión diferente de cero ($P \leq 0.05$). ** Coeficiente de regresión diferente de cero ($P \leq 0.01$).

puestas en las dos poblaciones y las diferentes localidades, con excepción de Eto blanco en Palmira, Colombia en donde el coeficiente de determinación R^2 tuvo un valor de 0.065 (cuadro 3). Para este caso, el modelo cuadrático explicó satisfactoriamente las respuestas directas a la selección con una $R^2=0.948$. Aún cuando el modelo lineal para Eto blanco en Colima es relativamente satisfactorio ($R^2=0.406$), el modelo cuadrático explicó muy apropiadamente la respuesta con una $R^2=0.948$.

Los coeficientes de regresión (b_1) fueron positivos y significativos, con excepción de Colima y Palmira, debido principalmente a la falta de ajuste del modelo. Los valores de los coeficientes variaron de 53 kg para Eto blanco en Palmira hasta 184 kg para Tuxpeño-1 en Agua Fría; dichos valores corresponden a ganancias por ciclo de 1.1% y 5.4% respectivamente. Las respuestas directas a la selección recurrente se presentan de manera gráfica en las figuras 1 y 2 para Tuxpeño-1 y Eto blanco respectivamente. En dichas figuras se incluye también la respuesta media a la selección; el modelo lineal de regresión fue muy satisfactorio en las dos poblaciones con valores de R^2 de 0.98 y 0.96 para Tuxpeño-1 y Eto blanco respectivamente. De acuerdo a los resultados del cuadro 3 y las figuras 1 y 2, se puede considerar que los ambientes en donde se pueden expresar con mayor claridad las respuestas a la selección en ambas poblaciones, son Colima y Tlaltizapán 2000B, mientras que en el resto de las localidades los ciclos de selección no expresan sus diferencias con la misma consistencia.

A fin de evaluar la ganancia por selección en cada población y cada método, se elaboró el cuadro 4 con los promedios para cada ciclo a través de los ambientes de prueba. El método de HC, primeros 11 ciclos de selección, obtuvo 1,668 kilogramos por hectárea

de ganancia total para Tuxpeño-1, correspondiente a 32.98 % de incremento total en rendimiento. Dichos valores corresponden a una tasa de 151 kilogramos por hectárea equivalente a 3%, por ciclo de selección. Por su parte, Eto blanco tuvo 442 kilogramos por hectárea de ganancia total en RG, correspondiente a un 9.54 %. Estos valores equivalen a 0.86%, por ciclo de selección para una tasa de incremento de más de 40 kilogramos por hectárea. El método de HCR, cinco ciclos de selección a partir del ciclo 11, logró un aumento total en Tuxpeño-1 de 376 kilogramos por hectárea (5.79%). Dicho valor es equivalente a 1.56%, por ciclo de selección con una tasa de 75 kilogramos por hectárea. Para Eto blanco se logró un incremento de 972 kilogramos por hectárea de ganancia total (19.16%), equivalente a 3.83%, por ciclo de selección y una tasa de 194 kilogramos por hectárea (cuadro 4). Por su parte el método de SRR, tres ciclos de selección a partir del ciclo 16, logró una ganancia total en Tuxpeño-1 de 620 kilogramos por hectárea (8.73%). Dicho incremento total es equivalente a 2.91%, por ciclo de selección a una tasa de más de 206 kilogramos por hectárea. En cambio, Eto blanco tuvo una ganancia total de 1,040 kilogramos por hectárea (17.2%) que corresponde a 5.73%, por ciclo de selección a una tasa de 347 kilogramos por hectárea. La ganancia total en rendimiento de grano en Tuxpeño-1, incluyendo todos los métodos, fue de 2,664 kilogramos por hectárea con 2.77 %, por ciclo de selección a una tasa de 140 kilogramos por hectárea. Por su parte, en Eto blanco los incrementos totales fueron de 2 454 kilogramos por hectárea, con 2.79 % por ciclo de selección, a una tasa de 129 kilogramos por hectárea (cuadro 4).

Los resultados descritos son similares a los reportados por varios investigadores quienes lograron ganancias en el rendimiento, desde 4.4% hasta un 18%

Figura 1. Respuesta a la selección, rendimiento de grano, de ciclos de Tuxpeño-1 (Población 21) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000-2002).

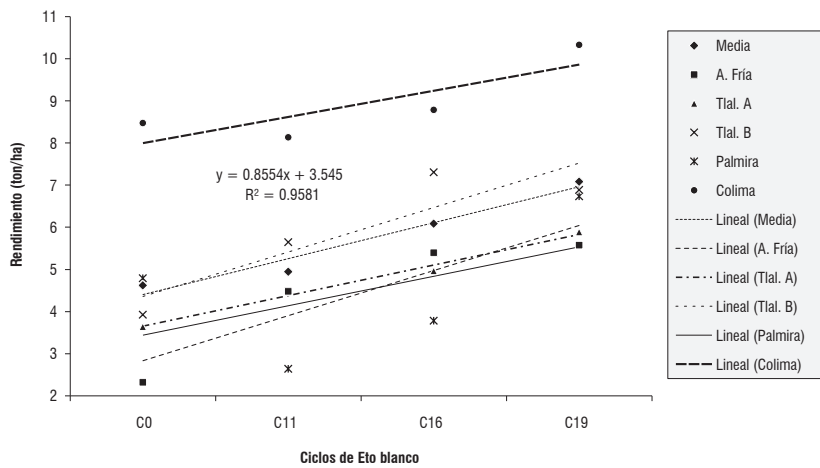
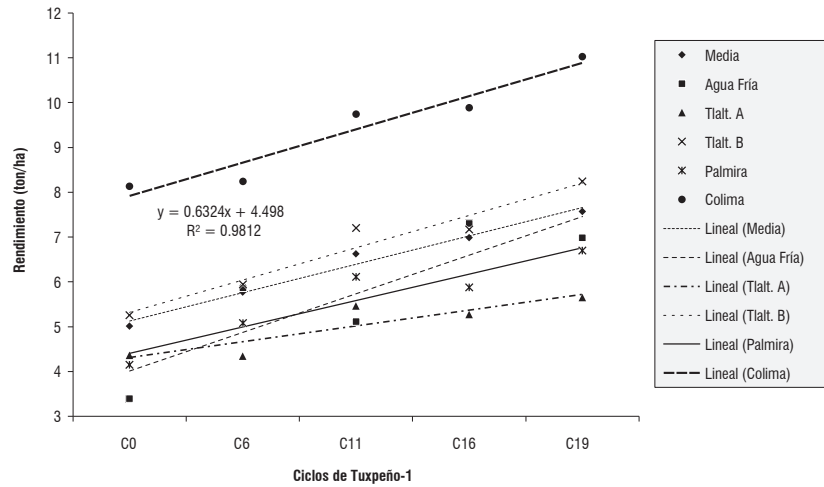


Figura 2. Respuesta a la selección, rendimiento de grano, de ciclos Eto blanco (Población 32) evaluados en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000-2002).

por ciclo de selección, dichas ganancias dependieron del número de ciclos utilizados, de la población mejorada y del método utilizado (Villena et al. 1974, Johnson y Fischer 1980, Johnson et al. 1986, Menz et al. 1999, Córdova et al. 2002, Tabanao y Rex 2005). Lo anterior puede verse en la población Tuxpeño 21, que tuvo una ganancia de 32% con el método de HC, mientras que en Eto blanco fue de sólo 9.54%. Sin embargo, los métodos de HCR y SRR lograron menores ganancias en Tuxpeño-1 en comparación a las ganancias de Eto blanco (5.79 y 8.73% contra 19.16 y 17.2%).

La respuesta lineal positiva con aumentos constantes conforme se avanzó en el proceso de selección recurrente es un indicio claro de incrementos en las frecuencias de genes favorables, sin que se logre percibir pérdida de variabilidad genética para el rendimiento de grano en las dos poblaciones estudiadas (Villena 1974, Márquez 1985, Hallauer y Miranda 1987, Guzman y Lamkey 2000, Paliwal 2001, Doerksen et al. 2003). A pesar de haberse detectado diferencias significativas para la interacción genotipo-ambiente, el

comportamiento de los ciclos de selección fue similar en cada localidad (figuras 1 y 2). De acuerdo a los resultados del cuadro 4, el método de SRR fue más eficaz en aprovechar los diferenciales de rendimiento de las poblaciones en comparación a los métodos restantes; sin embargo, el método HC mostró incrementos inmediatos en la ganancia del rendimiento, con los ciclos 6 y 11 lo cual implica un eficaz aprovechamiento de la varianza genética aditiva en las dos poblaciones. Estos resultados concuerdan, en forma general, con las observaciones emitidas por Márquez (1985), Hallauer y Miranda (1987) y Córdova et al. (2000), quienes señalaron a la SR de familias de hermanos carnales como más eficiente que la SRR de familias de medios hermanos, cuando se mejoran caracteres agronómicos y el RG de varias poblaciones de maíz, dado que se aprovecha y capitaliza la varianza aditiva presente en las progenies.

RESPUESTA DE MÉTODOS DE SELECCIÓN Y CRUZAS CÍCLICAS: Los métodos de selección que aprovechan tanto los efectos genéticos aditivos como los no-aditivos han sido

Cuadro 4. Respuesta a la selección para el rendimiento de grano (RG) en Tuxpeño-1 y Eto blanco dentro y entre métodos de mejoramiento. Evaluación hecha en cuatro ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT – UdeG (2000-2002).

Método	Tuxpeño-1 (Población 21)	RG (ton/ha)	Eto Blanco (Población 32)	RG (ton/ha)
HC	21c0	5.058	32c0	4.631
	21c6	5.895	32c6	----
	21c11	6.726	32c11	5.073
	Ganancia total	1.668	Ganancia total	0.442
	Ganancia/ciclo	0.152	Ganancia/ciclo	0.040
	Incremento total	32.98%	Incremento total	9.54%
	Incremento/ciclo de selección	3%	Incremento/ciclo de selección	0.86%
HCR	21 c11 = c0 (HCR)	6.726	32 c11 = c0 (HCR)	5.073
	21 c16 = c5 (HCR)	7.102	32 c16 = c5 (HCR)	6.045
	Ganancia total	0.376	Ganancia total	0.972
	Ganancia/ciclo	0.075	Ganancia/ciclo	0.194
	Incremento total	5.59%	Incremento total	19.16%
	Incremento/ciclo de selección	1.56%	Incremento/ciclo de selección	3.83%
	SRR	21c5 HCR = c0 SRR	7.102	32c5 HCR = c0 SRR
21c19 = c3 (SRR)		7.722	22c19 = c3 (SRR)	7.085
Ganancia total		0.620	Ganancia total	1.040
Ganancia/ciclo		206.7	Ganancia/ciclo	347
Incremento total		8.73%	Incremento total	17.20%
Incremento/ciclo de selección		2.91%	Incremento/ciclo de selección	5.73%
Ganancia/ciclo (3 métodos)		140 kg/ha	Ganancia/ciclo (3 métodos)	129 kg/ha
Ganancia/ciclo (3 métodos)	2.77%	Ganancia/ciclo (3 métodos)	2.79%	
Significancia	**	Significancia	ns	
Ganancia total (19 ciclos)	2,664 kg/ha	Ganancia total (19 ciclos)	2,454 kg/ha	

RG = rendimiento de grano. ** = significativo al 1%.

de gran utilidad dado que es posible mejorar la poblaciones per se y hacen especial énfasis en el mejorar el comportamiento de las cruza entre poblaciones. Es importante recordar que las cruza entre Tuxpeño y Eto han sido reconocidas desde hace varios años como el patrón heterótico más popular en los programas tropicales de mejoramiento genético. El cuadro 5 y la figura 3 reportan los resultados relativos a la respuesta de las cruza entre poblaciones en las diferentes etapas de la selección. Se usó el análisis de regresión lineal en los datos promedio de rendimiento de grano; el resultado de la cruza (Tuxpeño-1 c0 × Eto blanco c0) fue calculado con regresión lineal, en base a los resultados de las demás cruza.

El RG tuvo un valor del coeficiente de regresión (b_1) positivo y significativo con un ajuste del modelo lineal muy satisfactorio ($R^2=0.92$). Como se esperó, a medida que se lograron avances por selección en ambas poblaciones, también se lograron mayores rendimientos de grano en sus cruza. Esto fue muy evidente en la cruza entre los ciclos 19, que ya habían pasado por tres ciclos de SRR. El cruzamiento entre ciclos 19 presentó una ganancia total en rendimiento de grano, respecto al ciclo 11 de 1,132 kilogramos por hectárea, esto es, 16% de incremento total equivalente a 2% por método a una tasa de incremento de 141.5 kilogramos por hectárea. La diferencia de la cruza entre los ciclos 11 con respecto a la cruza entre los ciclos

16 fue únicamente 93 kilogramos por hectárea (1.3%). Por su parte la cruza entre ciclos 19 superó en 14.5%, equivalente a 346 kilogramos por hectárea (4.8%) por ciclo de selección a la cruza entre los ciclos 16.

Estos resultados concuerdan en gran medida con los objetivos establecidos por el programa de CIMMYT, es decir, lograr incrementos en RG en cada una de las poblaciones al usar métodos de selección como HC y HCR y al mismo tiempo, mejorar el comportamiento de la cruza entre las poblaciones; los resultados concuerdan en gran parte con resultados de Villena et al. (1974), Johnson y Fischer (1980), Johnson et al. (1986), Edmeades et al. (1996), Menz et al. (1999), Guzmán y Lamkey (2000), Córdova et al. (2002), y Tabanao y Rex (2005). También, indican que la ganancia por ciclo de selección en poblaciones y sus cruza se debe a los métodos aplicados efectivamente para capitalizar al máximo las varianzas genéticas existentes. Además, se tuvieron evidencias concretas en el sentido de que los métodos de mejoramiento deben evolucionar a medida que el progreso por selección evoluciona. Asimismo, la necesidad de nuevos productos: variedades sintéticas e híbridos definirá nuevas metas congruentes con los proyectos de investigación.

RESPUESTA A LA SELECCIÓN Y HETEROSIS: Aún cuando la SRR es el método que pone énfasis en el máximo uso

Cuadro 5. Ganancia entre métodos y por ciclo de selección del patrón heterótico Tuxpeño x Eto. Genotipos evaluados en cuatro ambientes de México y uno de Colombia. CIMMYT - U de G (2000-2002).

Pedigrí	RG (ton/ha)
POB21 C11 (HC) x POB32 C11 (HC)	7.087
POB21 C3 (SRR) x POB32 C3 (SRR)	8.219
Ganancia entre 3 métodos de selección	1,132 kg/ha
Ganancia (%) entre 3 métodos de selección	16
Significancia	*
POB21 C5 (HCR) x POB32 C5 (HCR)	7.180
POB21 C3 (SRR) x POB32 C3 (SRR)	8.219
Ganancia por ciclo de selección	346 kg/ha
Ganancia (%) por ciclo de selección	4.82
Significancia basada (DMS) 5%	*
Ganancia por método (SRR)	1,039 kg/ha

* = significativo al 5%.

de la aptitud combinatoria general y específica (efectos genéticos aditivos y no-aditivos), se espera que el mejoramiento de las poblaciones por HC también pueda contribuir a incrementar la frecuencia de genes favorables en las poblaciones y mejorar la respuesta a la heterosis. El cuadro 6 presenta las ganancias porcentuales de heterosis del rendimiento de grano en los tres métodos de selección, aplicados al patrón heterótico Tuxpeño x Eto. La cruce entre los ciclos 11 (con base a selección de HC) presentó 21.08% de ganancia total en heterosis equivalente a 1.92%, por ciclo de selección. La cruce entre los ciclos 16 basada en el método HCR tuvo una ganancia total de 8.56% en heterosis equivalente a 1.71%, por ciclo de selección. Por su parte la cruce de los ciclos 19 derivada del uso de el método SRR, tuvo 10.84% de ganancia total en heterosis, equivalente a 3.61%, por ciclo de selección. En resumen, la mejor respuesta heterótica acumulada, resultó de la cruce entre poblaciones mejoradas con base en el método de HC y la mejor respuesta heterótica, por ciclo de selección, fue para la cruce del método SRR con un valor de 3.61%.

Los resultados sobre heterosis hicieron evidente el acierto logrado por el programa de mejoramiento del CIMMYT con la constante modificación y ajuste de los métodos de selección; eso dio como respuesta una acumulación de genes favorables para el RG y su consecuente manifestación en los ciclos de selección avanzados. Es importante continuar aplicando los métodos de SRR en ambas poblaciones en programas de hibridación donde se empleen probadores sobresalientes, dado que se podrían obtener híbridos tropicales rendidores y estables que puedan ser evaluados en múltiples localidades, tal y como lo sugieren Vasal et al. (1982) y Márquez (1985). Estos autores han re-

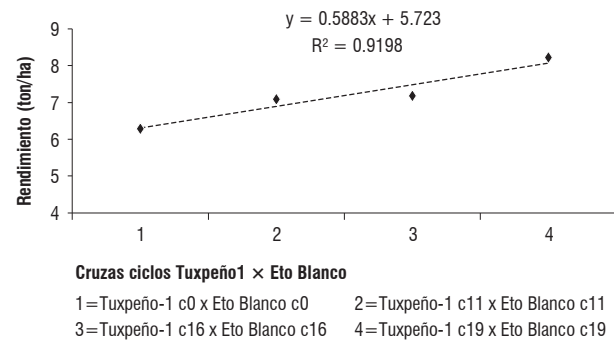


Figura 3. Línea de regresión ajustada y respuesta a la selección, rendimiento de grano, en cruces del patrón heterótico Tuxpeño x Eto, evaluadas en 5 ambientes de México y Colombia. CIMMYT - UdeG (2000-02).

portado resultados de gran cantidad de estudios que han mostrado la eficiencia de la SRR en el mejoramiento de poblaciones; así mismo, han indicado la combinación favorable entre poblaciones de Tuxpeño PB y Eto PB e informado sobre la aptitud combinatoria del germoplasma generado. Por dichas razones, sugirieron el aprovechamiento inmediato en híbridos simples, trilineales o dobles.

Hallauer y Miranda (1988), citados por Moreno et al. (2004), dividieron las metodologías de selección, en intra e interpoblacionales e indicaron que en las primeras se aprovecha la varianza genética aditiva (σ^2_A) y en las segundas las varianzas aditiva y de dominancia (σ^2_D). Esos conceptos teóricos se han demostrado en este estudio, con los avances en las poblaciones y sus cruces con base en las metodologías de SR y SRR. Los resultados obtenidos sobre heterosis concuerdan en gran medida con los resultados de Robinson et al. (1956) quienes encontraron que el rendimiento medio de las cruces que evaluaron fue aproximadamente 20% superior a la media de los progenitores; observaron la efectividad de la hibridación en el incremento del RG con 15% a 20% y consideraron la heterosis como indicador de diversidad genética entre poblaciones básicas, además de señalar la presencia de suficiente variabilidad genética, después de varios ciclos de SRR. Por otra parte, los resultados de Menz et al. (1999) señalaron la eficacia de los métodos de la SRR para incrementar la heterosis expresada en cruces de poblaciones.

Conclusiones

La selección recurrente fue efectiva para mejorar al Tuxpeño-1 (Población 21) y Eto blanco (Población 32) en rendimiento de grano. Todo indica que las ganancias significativas logradas, conforme se avanzó la selección, se relacionan con la acumulación sostenida de genes favorables.

Cuadro 6. Ganancias porcentuales en heterosis para el rendimiento de grano en cruza de métodos de selección cíclica, evaluadas por CIMMYT - UdeG (2000-02) en cuatro ambientes de México y uno de Colombia.

Cruza	RG (ton/ha)	H (%)	H/ciclo (%)
POB21 C11 (HC) × POB32 C11 (HC)	7.087	21.08	1.92
POB21C5(HCR) × POB32C5(HCR)	7.180	8.56	1.71
POB21C3(SRR) × POB32C3(SRR)	8.219	10.84	3.61

Tuxpeño-1 c11=c0 (HCR). Tuxpeño-1 c5 (HCR)=c0 (SRR).
Tuxpeño-1 c3 (SRR)=Tuxpeño-1 c19. Eto Blanco c11=c0 (HCR).
Eto blanco c5 (HCR)=c0 (SRR). Eto blanco c3 (MHRR)=Eto Blanco c19.
H=heterosis en porcentaje. H/ciclo=heterosis por ciclo en porcentaje.

En general, se observaron respuestas lineales favorables en las dos poblaciones a los métodos de selección, sin embargo, la interacción genotipo-ambiente puede enmascarar otro tipo de respuestas. En este estudio se pudo comprobar que en ciertos ambientes, la respuesta a la selección puede mostrar respuestas negativas y el modelo que mejor se ajusta a los datos es de otro tipo, predominando el tipo cuadrático.

Los resultados en ciertas condiciones ambientales pueden ser de gran utilidad en revelar criterios de selección extremos o inadecuados, tales como intensidades demasiado altas o énfasis en caracteres correlacionados que alteran negativamente variables de interés.

Aún cuando el presente estudio no se diseñó para comparar métodos de selección, los resultados indican que el método de hermanos carnales fue eficiente dado que se incrementó rápidamente el rendimiento de grano sobre las poblaciones originales haciendo un buen aprovechamiento de la varianza genética aditiva.

La selección recíproca recurrente aprovechó de manera muy eficiente tanto los efectos aditivos como los no aditivos en rendimiento de grano, en ambas poblaciones, en comparación a los otros dos métodos. Asimismo, esa metodología fue efectiva en aumentar los efectos heteróticos en cruza hechas entre ciclos avanzados de ambas poblaciones.

Lo importante en este trabajo, es que las diferentes estrategias de selección mostraron respuestas favorables en rendimiento de grano y no se detectaron indicios de reducciones drásticas en la variabilidad genética, ni se esperaba llegar en pocos ciclos a un límite en las respuestas favorables.

El rendimiento de grano fue significativamente superior en los ciclos avanzados de Tuxpeño-1 y Eto blanco. Puede señalarse que los mejores ambientes para el rendimiento fueron Colima y Tlaltizapán 2000B; en cambio, Agua Fría, Tlaltizapán 2001A y Palmira fueron inferiores para esta característica.

El uso de los mejores ciclos avanzados, en programas de cruzamiento, podría ayudar a generar materiales genéticamente estables y sobresalientes, tales como híbridos específicos en ambientes con gran potencial de rendimiento y estabilidad en ambientes de estrés.

Agradecimientos

Los autores agradecen la colaboración del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y de la Universidad de Guadalajara (UdeG) por haber financiado este estudio. Asimismo, se agradece a dos revisores anónimos sus observaciones vertidas en el presente y a Servando Carvajal la corrección de estilo en el artículo.

Bibliografía

- CIMMYT.** 1985. *Manejo de los ensayos e informe de los datos para el programa de ensayos internacionales de maíz del CIMMYT.* México, D.F. Cuarta reimpresión, 1995.
- CIMMYT.** 1994. *World Maize facts and trends. Maize seed industries, revisited: Emerging roles of the public and private sectors.* México, D.F.
- CÓRDOVA, H., CASTELLANOS, S., BARRETO, H., Y BOLAÑOS, J.** 2002. Veinticinco años de mejoramiento en los sistemas de maíz en Centro América: logros y estrategias hacia el año 2000. *AGRONOMÍA MESOAMERICANA* 13(1): 73–84. 2002
- DOERKSEN, T.K., L. W. KANNENBERG AND E.A. LEE.** 2003. Effect of Recurrent Selection on Combining Ability in Maize Breeding Populations. *Crop Sci.* 43: 1652–1658 (2003). America Crop Science Society.
- EDMEADES, G.S., BANZINGER, S., PANDEY, S., CHAPMAN, A., ORTEGA, A., LAFITTE AND FISCHER K.** 1996. *Recurrent selection under managed drought stress improves grain yields in tropical maize.* Symposium on Developing Drought and Low N Tolerant Maize. CIMMYT, México.
- FAOSTAT.** 2005. *Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.* www.fao.org/giews/english/ FAOSTAT2005.
- GUZMAN, P. S. AND K. R. LAMKEY.** 2000. Effective population size and genetic variability in the BS11 maize population. *Crop Sci.* 40: 338–346 (2000).
- HALLAUER, A. R. AND J. B. MIRANDA.** 1987. *Quantitative genetics in maize breeding.* Iowa State University Press. First Edition, Third printing. Iowa, USA.
- JOHNSON, E. C. Y K. S. FISCHER.** 1980. *Selección de plantas de porte bajo en maíz.* XXVI Reunión anual del PC-CMCA, Guatemala. Guatemala. 24 al 28 de Marzo de 1980.

- JOHNSON; E. C., K. S. FISCHER, G. O. EDMAN AND A. F. PALMER. 1986. Recurrent selection for reduced plant height in lowland tropical maize. *Crop Sci.* **26**: 253–260.
- LEE; E. A., T. K. DOERKSEN AND L.W. KANNENBERG. 2003. Genetic Components of Yield Stability in maize Breeding Populations. *Crop Sci.* **43**: 2018–2027 (2003). America Crop Science Society.
- LÓPEZ T., M. 1995. *Fitomejoramiento*. México: Trillas (ESAH). 172 páginas. México, DF.
- MÁRQUEZ S., F. 1985. *Genotecnia Vegetal (métodos, teoría, resultados), Tomo I*. AGT EDITOR, S.A. México, DF.
- MENZ; R. M. A., A. R. HALLAUER AND W. A. RUSSELL. 1999. Comparative response of two reciprocal recurrent selection methods in BS21 and BS22 maize populations. *Crop Sci.* **39**: 89–97. 1999.
- MORENO P, E., D. BECK, CERVANTES, S. T. Y TORRES, F. J. 2004. Selección recíproca recurrente en poblaciones de maíz de Valles Altos en suelos con alto y bajo contenido de nitrógeno, en México. *Agrociencia* **38**: 305–311. 2004.
- PALIWAL R., L. 2001. *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Depósito de documentos de la FAO. Departamento de agricultura.
- ROBINSON; H. F., R. E. COMSTOCK, A. H. KHALIL AND P. H. HARVEY. 1956. Dominance versus overdominance: evidence from crosses between open-pollinated varieties of maize. *Amer. Nat.* **90**: 127–131.
- STEEL; G. D. R. Y H. J. TORRIE. 1980. *Bioestadística: principios y procedimientos*. Editorial Mc. Graw-Hill. Primera edición en español. México, 1990.
- TABANAQ; A. D. AND B. REX. 2005. Genetic variation in breeding populations with different numbers of parents. *Crop Sci.* **45**: 2301–2306 (2005).
- VASAL S., K., ORTEGA, A. Y PANDEY, S. 1982. *Programa de manejo, mejoramiento y utilizando del germoplasma de maíz en el CIMMYT*. El Batán, México.
- VILLENA; W. D., A. D. VIOLIC Y E. C. JOHNSON. 1974. *Programa Cooperativo Centroamericano para el Mejoramiento de Cultivos (PCCMCA)*, Veinte años de cooperación técnica internacional en maíz.

Modelo de Memoria de Trabajo en ratas macho sexualmente motivadas

Mayra Linné Almanza Sepúlveda¹, Blanca Erika Gutiérrez Guzmán^{1,2}, María Esther Olvera Cortés², Miguel Ángel Guevara Perez¹ y Marisela Hernández González¹

¹Instituto de Neurociencias, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara.

²Centro de Investigación Biomédica de Michoacán - IMSS.

Correo electrónico: mariselh@cencar.udg.mx

Resumen

La memoria de trabajo permite mantener información relevante, durante un periodo corto, con el fin de realizar una tarea de manera inmediata y la cual implique tomar una decisión; la información puede extinguirse una vez que la tarea ha concluido. La mayoría de estudios han evaluado este tipo de memoria utilizando como reforzador comida o bebida. Se ha descrito que la conducta sexual es también una conducta motivada altamente reforzante. Este trabajo se desarrolló con la finalidad de diseñar un modelo de memoria de trabajo utilizando la conducta sexual como reforzador. Ratas macho adultas fueron entrenadas sexualmente y asignadas a uno de seis grupos experimentales; todos los grupos fueron sometidos a una prueba de memoria de trabajo en un laberinto T utilizando la interacción sexual con una rata hembra receptiva como recompensa. Los diferentes grupos de ratas macho se sometieron a seis paradigmas experimentales que variaron fundamentalmente en el tipo de tarea de retraso utilizada (alternancia o igualación a la muestra, muestra libre o muestra forzada), o bien en función de los días (consecutivos o alternados), del número de pruebas realizadas o del tipo de respuesta sexual utilizada como reforzador (intromisión o eyaculación). Los resultados muestran que el paradigma 5 (Tarea de retraso con alternancia a la muestra forzada - 4 series copulatorias diarias hasta eyaculación - durante cuatro días de registro - alternados cada cuatro días) fue el más adecuado para evaluar este tipo de memoria ya que los machos conservaron la motivación sexual a través de los ensayos durante un día y a través de los días, además de mostrar una curva de aprendizaje adecuada.

Palabras clave: memoria de trabajo, conducta sexual, corteza prefrontal.

Abstract

Working memory makes it possible to maintain relevant information over a short period in order to carry out a certain task that requires immediacy and entails making a decision, but that can be erased once the task is completed. Most studies have evaluated this kind of memory using food or drink as rewards, and some have described sexual conduct as a highly rewarding motivated behavior. This study was designed to develop a model of working memory using sexual behavior as the reinforcing agent, since it is well known that it is stronger than food and drink. Adult male rats were sexually trained and then assigned to one of six experimental groups. All subjects were tested on a working memory task in a T-maze using sexual interaction with a receptive female rat as the reward, under a variety of experimental paradigms, that varied essentially in the kind of delayed task used (delayed matching to sample or non-matching to sample, free sample or forced sample), or based on the days (consecutive or alternate), the number of tests conducted, or the type of sexual reinforcement used (intromission or ejaculation). Results showed that paradigm 5 (delayed task with alternation to the forced sample: 4 daily copulatory series leading to ejaculation, during four days of recording, alternated every four days), was the most adequate one for evaluating this kind of memory, as the male rats maintained their sexual motivation throughout the tests that lasted one day and during all days, in addition to manifesting an appropriate learning curve.

Keywords: working memory, sexual behavior, prefrontal cortex.

Introducción

El aprendizaje y la memoria son dos procesos básicos y necesarios para la adaptación y sobrevivencia de los individuos. El aprendizaje se define como

un cambio relativamente persistente en el comportamiento, resultante de la experiencia, el cual se puede producir a lo largo de toda la vida (Buskist y Gerbing

1990); mientras que la memoria hace referencia al mecanismo cerebral que implica codificar los estímulos provenientes del exterior, almacenarlos y recuperarlos en el momento necesario (Kandel, Schwartz y Jessell 1997). El aprendizaje y la memoria son procesos correlacionados capaces de sufrir modificaciones en función de los estímulos ambientales. Desde un punto de vista de procedimiento, no se consigue separar el aprendizaje de la memoria, ni resulta posible realizar dicha distinción dentro del circuito neuronal (Poolton, Master y Maxwell 2005), ya que lo aprendido tiene una relación muy estrecha con la memoria y la capacidad de esta última para reintegrar la información adquirida.

Existen diferentes tipos de clasificaciones de la memoria, pero con base al criterio temporal ésta se divide en memoria de corto y largo plazo. Dentro de la memoria de corto plazo se encuentra la memoria de trabajo, que si bien es de capacidad limitada permite no sólo el almacenamiento temporal sino la manipulación de la información necesaria para realizar tareas complejas (Baddeley 1998). La memoria de trabajo permite mantener información relevante durante un periodo corto, que será útil para realizar una determinada tarea de manera inmediata y que implica una toma de decisión; la información puede extinguirse una vez que la tarea ha concluido.

En el sustrato neuroanatómico que sustenta la memoria de trabajo destaca el papel de la corteza prefrontal. Se conoce que las tareas de memoria de trabajo dependen de varias operaciones cognitivas que involucran recursos atencionales, mantenimiento de la información, procesamiento de estímulos simultáneos, procesos de selección, flexibilidad cognitiva y un plan de acción, procesos todos ellos relacionados con la funcionalidad prefrontal tanto en humanos, como en primates no humanos y roedores (Guisquet-Verrier y Delatour 2006). Estudios experimentales en primates no humanos y ratas han mostrado que una lesión de dicha región ocasiona deterioro en las funciones ejecutivas, tales como la memoria de trabajo (Kolb 1990, 2003; Granon y Vidal 1994; Goldman-Rakic 1995, 1999; Delatour y Guisquet-Verrier 1999).

Aunque los estudios iniciales de memoria de trabajo se realizaron en monos, se ha descrito que la rata es también un adecuado modelo animal ya que ha permitido estudios invasivos como la investigación molecular, lo que la hace más accesible y eficiente que el primate no humano, así, de estudios en ratas se han obtenido importantes hallazgos sobre la circuitería y neurofarmacología de la memoria de trabajo (Castner, Goldman-Rakic y Williams 2003).

Guisquet-Verrier y Delatour (2006) evidenciaron que en roedores la memoria de trabajo también involucra funciones ejecutivas importantes como la flexi-

bilidad y la atención. Ellos investigaron el papel de la corteza prefrontal e infralímbica en diferentes tareas de retraso espacial, con ratas intactas o lesionadas en dichas regiones y, en base a los resultados de su investigación sugirieron que “la memoria de trabajo en roedores debe ser considerada, como en humanos y primates, un sistema que abarca tanto el almacenamiento como el monitoreo de las funciones”.

Así mismo, experimentos con ratas en los cuales equipararon las “tareas prefrontales típicas” de los primates (las cuales requieren de memoria de trabajo), sugirieron que la funcionalidad de la corteza prefrontal de ambas especies puede ser considerada como homóloga, aun cuando anatómicamente sean diferentes (Granon y Poucet 2002). Así, gran parte de los conocimientos que hoy en día se tienen de la corteza prefrontal, sobre todo citoarquitectónicos, se deben a trabajos experimentales con ratas (Castner, Goldman-Rakic y Williams 2003).

Por otro lado, diversos estudios experimentales han mostrado que la corteza prefrontal juega un papel importante en la modulación de las conductas motivadas, tales como la conducta sexual (Tzschentke 2000; Hernández-González 2002).

Se sabe que la recompensa desempeña un papel muy importante en el proceso que dirige a un individuo a formar preferencias nuevas, y la conducta sexual puede ser por sí misma una recompensa altamente significativa, la cual puede entenderse como un cambio fisiológico y subjetivo positivo, excitante o calmante, perceptible por el individuo (Crawford, Holloway y Domjan 1993; Coria-Ávila, Pfaus, Miquel, Pacheco y Manzo 2008), de tal manera que cuando la recompensa es de carácter sexual, es muy probable que se lleve a cabo el aprendizaje y por lo tanto el individuo module sus preferencias (Coria-Ávila, Pfaus, Miquel, Pacheco y Manzo 2008).

Dentro de los paradigmas clásicos que se han utilizado para evaluar memoria de trabajo, tradicionalmente se han empleado reforzadores motivacionales como la comida o el agua, sin embargo, considerando que la conducta sexual puede ser también muy reforzante, resultó interesante investigar si la interacción sexual podía funcionar como un refuerzo suficiente y adecuado para que la rata macho aprendiera una tarea en la que tenía que utilizar memoria de trabajo. Ya que la conducta sexual no se despliega en respuesta a una necesidad fisiológica (como la ingesta o la bebida), y a que es difícil mantener un nivel constante de motivación sexual, en este trabajo exponemos los diferentes estudios que se realizaron con el fin de determinar el paradigma experimental más adecuado para evaluar memoria de trabajo en ratas macho durante una tarea sexualmente motivada.

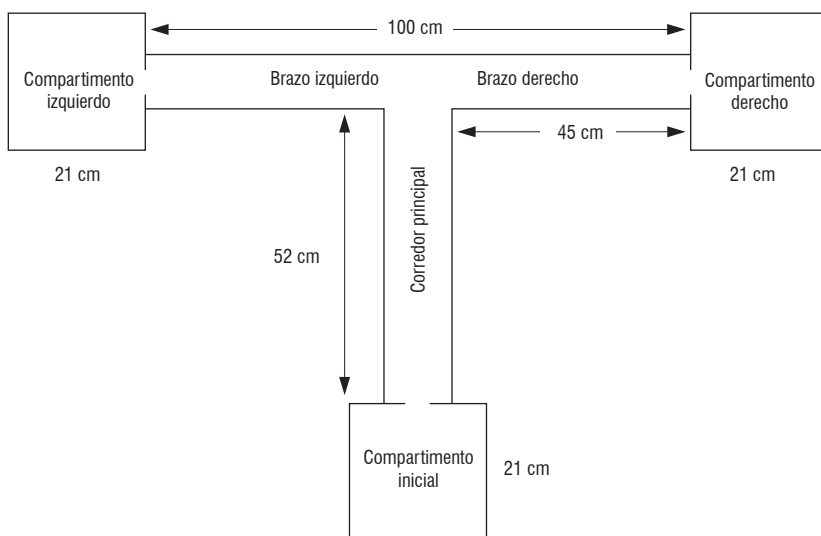


Figura 1. Esquema representativo del laberinto T.

Método

Sujetos

En este estudio se emplearon ratas macho adultas de la cepa Wistar, con una edad promedio de 90-120 días y un peso de 280-380 g del bioterio del Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara. Los sujetos fueron destetados a los 22 días de edad y se hospedaron en cajas de acrílico transparente bajo condiciones de ciclo invertido luz-oscuridad (12 horas luz/12 horas oscuridad), con una temperatura de 20-25 °C aproximadamente con agua y comida ad libitum.

Se utilizaron también ratas hembra, de la misma cepa, tratadas con benzoato de estradiol (0.5 µg) cada tercer día, con el fin de mantenerlas receptivas al momento de la interacción sexual requerida con un macho.

Aparatos

Los registros experimentales se llevaron a cabo en un laberinto T de madera. Este tipo de laberinto ha sido usado para evaluar memoria de trabajo en varios experimentos, considerando que durante su ejecución, la memoria de trabajo entra en juego cuando la rata mantiene en “línea” la información previamente aprendida (en que brazo estuvo previamente) para así manipular esa información, ejecutar una tarea futura (en que brazo debe entrar) y así obtener la recompensa.

El laberinto T consta de un corredor principal (52 cm de longitud) unido en uno de sus extremos a un compartimiento inicial cerrado por una puerta manualmente removible (forma de guillotina). Este com-

partimiento inicial es una caja cuadrada con dimensiones de 21 × 21 cm. En el otro extremo del corredor principal, se ensambla otro corredor perpendicular que constituye a los dos brazos laterales. Cada brazo tiene una longitud de 45 cm. La altura de las paredes de los corredores es de 10.5 cm. Al final de cada brazo se encuentran dos compartimientos meta, del mismo tamaño que el inicial, los cuales permanecen cerrados con puertas de madera removibles (véase la figura 1).

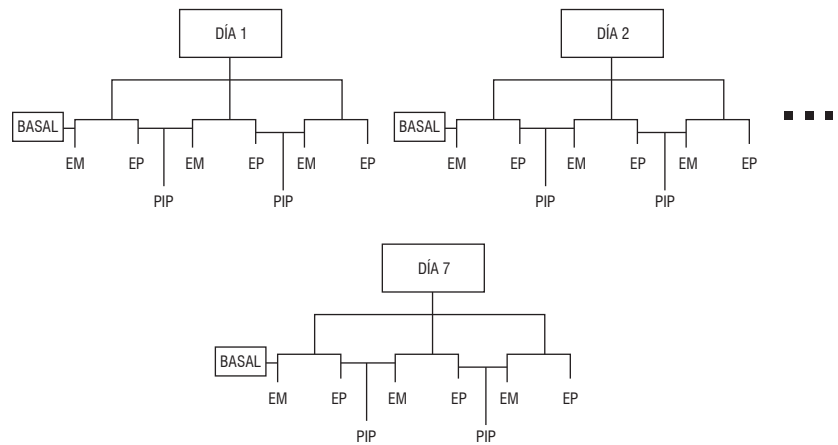
Procedimiento General

Todas las ratas macho utilizadas fueron sexualmente activas, es decir, antes de asignarse a un grupo experimental, lograron completar dos series eyaculatorias en un periodo no mayor a 45 minutos, alternados cada tercer día.

Un día anterior al inicio de las sesiones de aprendizaje, los animales de todos los grupos se llevaron al cuarto de registro (sonoamortiguado, iluminado con luz roja y con una temperatura de 20-25 °C) y se colocaron en el laberinto T (con todas las puertas abiertas) por un periodo único de habituación de 20 minutos, permitiendo que el animal explorara libremente y se adaptara a las condiciones del cuarto de registro.

Lo sujetos fueron divididos al azar en seis grupos. Cada grupo de ratas fue sometido a un paradigma experimental particular. Cada día de registro, antes de la sesión de aprendizaje, se indujo en las ratas macho un estado sexualmente motivado exponiéndolas con una hembra receptiva hasta que presentaran una intromisión, e inmediatamente después se colocaba en la caja de inicio del laberinto T para las sesiones de aprendizaje.

Figura 2. Tarea de retraso con alternancia a la muestra - registro diario. Las sesiones de aprendizaje consisten de tres pruebas diarias durante siete días consecutivos, cada prueba diaria a su vez consiste de dos ensayos, uno muestra (EM) y uno prueba (EP); entre cada prueba hay un periodo interprueba (PIP) de 15 seg. Cada día antes de comenzar la primera prueba se permitió al macho un periodo basal de 45 segundos en la caja de inicio.



Paradigma 1. Tarea de retraso con alternancia a la muestra - registro diario

Se realizó con el objetivo de determinar si un paradigma clásico de memoria de trabajo podría ser utilizado con un reforzador de carácter sexual (respuesta de intromisión). En un experimento previo se demostró que en una serie eyaculatoria el número máximo de intromisiones que podía ejecutar la rata macho sin eyacular era de 7 (Guevara, Robles-Aguirre, Quirarte y Hernández-González 2009), por lo que se necesitaba averiguar si 7 ensayos por día eran suficientes para que las ratas adquirieran el aprendizaje en 7 días consecutivos y si la motivación sexual se mantenía constante a través de los días.

METODOLOGÍA

Cada rata macho (n=10) fue sometida a un proceso de aprendizaje durante 7 días consecutivos; cada día, antes del registro experimental, se indujo en las ratas macho un estado sexualmente motivado (tener una intromisión con una hembra receptiva) e inmediatamente después se colocaba en la caja de inicio del laberinto T para las sesiones de aprendizaje. En cada brazo meta del laberinto permaneció una hembra receptiva inaccesible al macho. Estas sesiones de aprendizaje, implicaban 3 pruebas diarias. Cada prueba consistió a su vez de dos ensayos, un ensayo muestra y un ensayo prueba (véase la figura 2). El ensayo muestra consistió en dejar salir a la rata de la caja de inicio del laberinto T y se le permitía que recorriera el laberinto eligiendo cualquiera de los brazos. Una vez que la rata entraba a un brazo, se le abría la puerta y se le permitía que tuviera una intromisión con la hembra receptiva (obtención del refuerzo). Posterior a ello se regresaba el macho a la caja de inicio e inmediatamente se abría la puerta de la caja de inicio para que recorriera otra vez el laberinto y seleccionara el brazo opuesto al que eligió en la muestra, lo que se consideró el ensayo prueba. Después de cada prueba

hubo un intervalo interprueba de 15 segundos hasta completar 3 pruebas cada día. Esto se repitió durante 7 días consecutivos.

La condición de este paradigma era que el animal debía aprender que la hembra disponible siempre estaba en el brazo opuesto al que visitó en el ensayo de muestra (aunque había hembras receptivas en el extremo de ambos brazos). Si el animal entraba al mismo brazo que en el ensayo de muestra, se consideraba como error (no se abría la puerta y no tenía acceso a la hembra receptiva) en tanto que si entraba al brazo opuesto al que visitó en la fase de muestra se consideraba como acierto (se le permitía obtener el refuerzo, es decir, la intromisión) (véase la figura 3).

RESULTADOS

Los resultados muestran que a través de los días las ratas tendieron a presentar cierto aprendizaje, sin

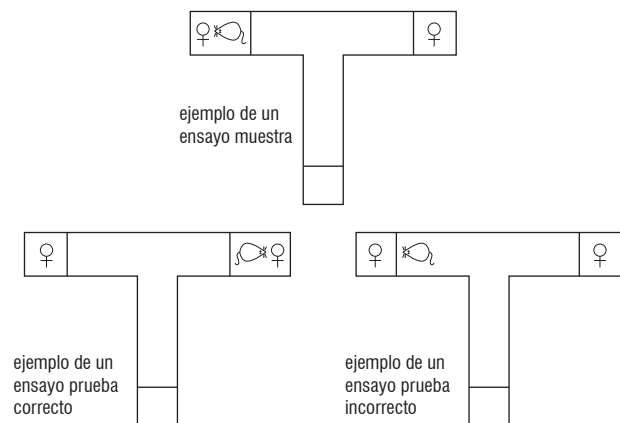


Figura 3. Esquema representativo de una prueba de aprendizaje. En el ensayo muestra la rata selecciona libremente cualquier brazo y obtiene la recompensa (intromisión con una hembra receptiva), inmediatamente después se regresa a la caja inicial para que la rata recorra el laberinto otra vez y seleccione alguno de los brazos. Se considera ensayo prueba correcto cuando selecciona el brazo opuesto al del ensayo muestra, e incorrecto cuando selecciona el mismo brazo que el de la muestra.

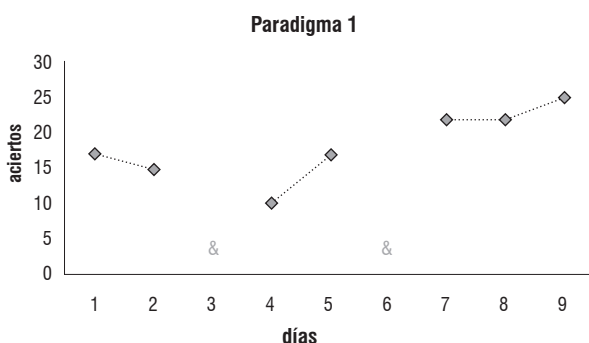


Figura 4. Número de aciertos totales que presentaron las 10 ratas macho en cada día de prueba. El símbolo & representa los días en que las ratas no recorrieron el laberinto.

embargo, no fue posible lograr que las sesiones se efectuaran en días consecutivos, ya que los días 3 y 6 los machos no ejecutaron la tarea, es decir, no salieron de la caja de inicio para recorrer el laberinto (véase figura 4).

Paradigma 2. Tarea de retraso con alternancia a la muestra-registro cada tercer día

El objetivo de este paradigma fue determinar si sometiendo a las ratas a sesiones de aprendizaje en días alternados cada tercer día, se podría obtener una adecuada curva de aprendizaje y mantener la adecuada motivación sexual a través de los días en la rata macho.

METODOLOGÍA

Se siguió la misma metodología del paradigma 1 (véase figura 2 y 3), con la excepción de que los días de registro se alternaron cada tercer día, considerando que al dejar un día de descanso entre sesión y sesión

Cuadro 1. Resultados por rata que ejemplifican la ejecución de memoria de trabajo egocéntrica. Observe cómo el macho 2 durante las tres pruebas elegía el brazo izquierdo en el ensayo muestra.

Piloto 2. Días alternados. Día 7. 19 de septiembre 2008							
	Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3		Por rata
	EM	EP	EM	EP	EM	EP	
Macho 1	I	A	I	A	D	A	3A
Macho 2	I	A	I	A	I	A	3A
Macho 3	I	A	I	A	I	A	3A
Macho 4	I	A	I	E	D	A	1E 2A
Macho 5	D	A	I	A	D	A	3A
Macho 6	I	E	D	A	D	A	1E 2A
Macho 7	I	A	I	A	I	A	3A
Macho 8	I	A	I	A	I	A	3A
Macho 9	D	A	D	A	D	E	1E 2A

I=Izquierda. D=Derecha. A=Acierto. E=Error.

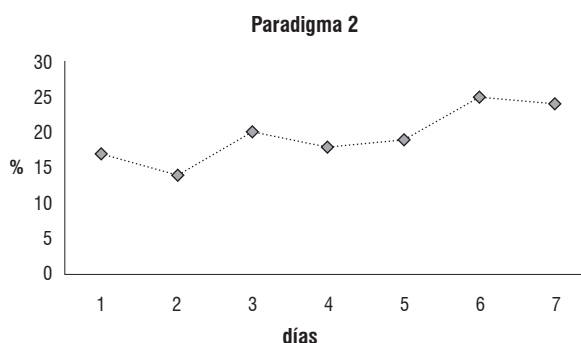


Figura 5. Número de aciertos totales que presentaron las 9 ratas macho en cada día de prueba.

las ratas presentarían mayor motivación sexual para ejecutar la tarea.

RESULTADOS

Con este paradigma las ratas presentaron una adecuada curva de aprendizaje y motivación (véase figura 5).

Sin embargo, al analizar a detalle la ejecución de cada rata, se observó que algunos machos realizaban memoria de trabajo egocéntrica y otras allocéntrica (véase cuadro 1).

En este trabajo de investigación se buscaba que las ratas realizaran memoria de trabajo allocéntrica (aquella que les permite usar recursos externos de señalización para encontrar lo que buscan) y no memoria de trabajo egocéntrica (en la cual los animales usan referencias internas e instintos que poseen para orientarse en el espacio, la cual se considera información propioceptiva basada en los movimientos del cuerpo, sin utilizar señales extra laberinto para orientarse). Por lo anterior, a pesar de haber obtenido una adecuada curva de aprendizaje sin la variación del estado de motivación, se optó por buscar un tercer paradigma que eliminara esta variable y obligar a los animales a utilizar una estrategia allocéntrica.

Paradigma 3. Tarea de retraso con alternancia a la muestra forzada- registro cada tercer día

El objetivo fue diseñar un modelo de memoria de trabajo en el cual las ratas macho presentaran una adecuada curva de aprendizaje y que realizaran memoria de trabajo allocéntrica.

METODOLOGÍA

Se siguió la misma metodología del paradigma anterior, con la diferencia de que el ensayo muestra era forzado. Se llamó forzado debido a que de manera semi aleatoria, se bloqueó el paso a uno de los brazos,

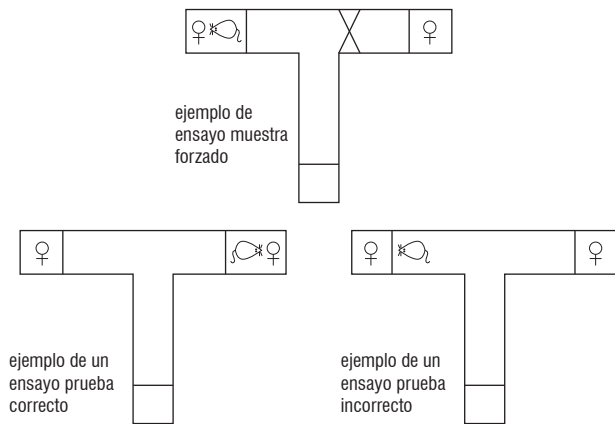


Figura 6. Esquema representativo de una prueba de aprendizaje. En el ensayo muestra forzado la rata entra al brazo que se encuentra abierto y obtiene la recompensa (intromisión con una hembra receptiva). Durante el ensayo prueba ambos brazos permanecen abiertos, se considera ensayo prueba correcto cuando selecciona el brazo opuesto al ensayo muestra, por otro lado, se considera ensayo prueba incorrecto cuando selecciona el mismo brazo que el de la muestra.

obligando de esta manera al macho a que entrara a uno de los brazos durante el ensayo muestra (véase la figura 6).

El ensayo muestra consistió en dejar salir a la rata de la caja de inicio del laberinto T y se le permitió que recorriera el laberinto teniendo como única alternativa seleccionar el brazo abierto. Una vez que la rata entraba al brazo abierto, se le abría la puerta y se le permitía que tuviera una intromisión con la hembra receptiva; posterior a ello se regresaba el macho a la caja de inicio e inmediatamente se abría la puerta de la caja de inicio para que recorriera otra vez el laberinto y seleccionara un brazo de los dos ahora disponibles en lo que se considera el ensayo prueba. De igual manera que en los otros paradigmas, se consideró error si entraba al mismo brazo que al que visitó en el ensayo muestra, mientras que se consideró acierto si alternaba, es decir, si visitaba el brazo contrario al que entró en el ensayo muestra.

RESULTADOS

Siguiendo este paradigma, se obtuvo un aplanamiento de la curva de aprendizaje de los animales (véase figura 7).

Es probable que la tarea resultara muy simple para las ratas macho desde el inicio de las sesiones de aprendizaje, ya que al forzar la entrada a uno de los brazos durante el ensayo muestra, si bien se elimina la memoria egocéntrica, aparentemente facilita notablemente la tarea, ya que como se ha descrito ampliamente en la literatura, los roedores muestran una marcada tendencia a alternar la elección de brazos en un número determinado de pruebas durante la

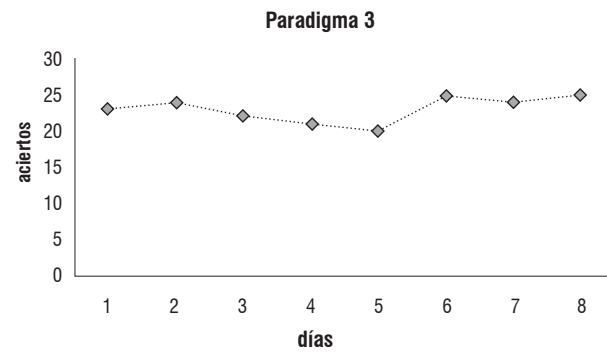


Figura 7. Número de aciertos totales que presentaron las 9 ratas macho en cada día de prueba.

ejecución en un laberinto T. A este tipo de conducta se le denomina “alternancia espontánea” ya que las ratas no son recompensadas al final del recorrido del laberinto.

Paradigma 4. Tarea de retraso con igualación a la muestra forzada –registro cada tercer día

El objetivo de este cuarto modelo fue elevar la complejidad de la tarea, evitando la tendencia natural de alternar. Al establecer la regla de igualación a la muestra se pretende eliminar la alternancia ya que se generaría en las ratas macho competencia con su natural conducta de alternancia y la necesidad de alcanzar el reforzador, es decir la intromisión con la hembra receptiva, para lo cual requiere conducta de igualación.

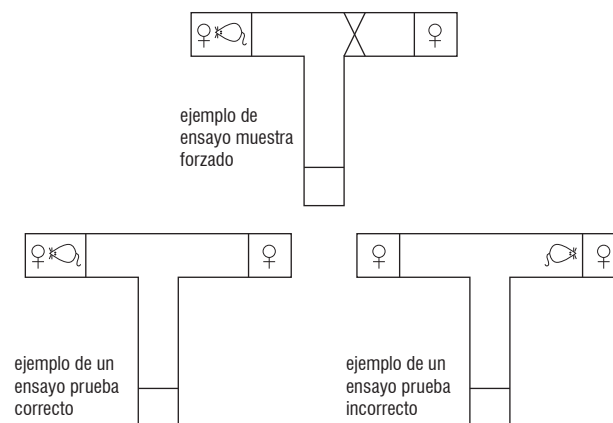


Figura 8. Esquema representativo de una prueba de aprendizaje. En el ensayo muestra forzado la rata entra al brazo que se encuentra abierto y obtiene la recompensa (intromisión con una hembra receptiva). Durante el ensayo prueba ambos brazos permanecen abiertos, se considera ensayo prueba correcto cuando selecciona el mismo brazo que en el ensayo muestra, por otro lado, se considera incorrecto cuando selecciona el brazo opuesto al de la muestra.

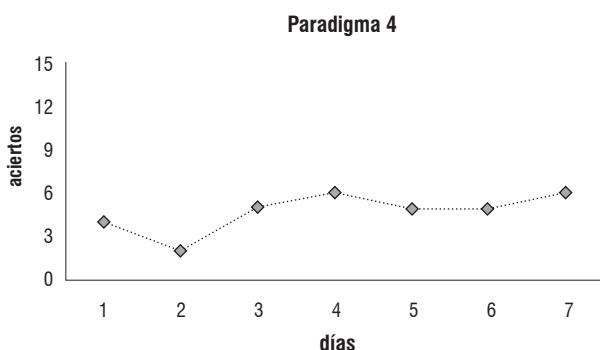


Figura 9. Número de aciertos totales que presentaron las 5 ratas macho en cada día de prueba.

METODOLOGÍA

En este paradigma a diferencia de los anteriores, la rata macho debía aprender que la hembra a la que podía tener acceso siempre estaría en el mismo brazo que visitó en el ensayo muestra. Si el animal entraba al brazo opuesto que en el ensayo de muestra, se consideraba error (no se abría la puerta y no tenía acceso a la hembra receptiva), en tanto que si entraba al mismo brazo que visitó en el ensayo muestra se consideraba como acierto y por tanto se le permitía tener la intromisión (véase la figura 8).

RESULTADOS

Se encontró que, a diferencia del paradigma anterior, la igualación a la muestra con el ensayo muestra, aparentemente resultó demasiado complejo ya que las ratas macho no alcanzaron a aprender la instrucción a través de los siete días de registro; la curva de aprendizaje presentó un aplanamiento en sentido inverso al obtenido en el paradigma anterior (véase figura 9). Podría suponerse que si se hubieran incrementado los días de prueba la curva tendería a subir, no obstante, este criterio no fue accesible debido a la complejidad de la tarea y la imposibilidad de asegurar mantener un nivel de motivación sexual similar durante todas las sesiones. A pesar de que las ratas recorrieron el laberinto durante los siete días, pudo observarse que las ratas tardaban más tiempo en recorrer el laberinto a través de los diferentes días, lo que sugiere pérdida de motivación de las ratas para la realización de la tarea.

Paradigma 5. Tarea de retraso con alternancia a la muestra forzada - 4 series copulatorias diarias hasta eyaculación -durante cuatro días de registro - alternados cada cuatro días

Con el objeto de simplificar la tarea para que se pudiera obtener una adecuada curva de aprendizaje, se optó

por retornar a la tarea de retraso con alternancia a la muestra forzada, modificando la cantidad de pruebas que podrían realizar en un solo día. Con la intención de que las ratas mantuvieran la motivación sexual durante cuatro pruebas cada día, y a través de los días, se permitió que los machos obtuvieran la recompensa sexual más reforzante, es decir, la eyaculación.

METODOLOGÍA

Cada rata macho fue sometida a un paradigma de aprendizaje durante 4 días de registro conductual alternados cada cuatro días. Cada día de registro experimental, implicó 4 series copulatorias, cada una de las cuales constaba de varias pruebas. Cada prueba consistió a su vez de dos ensayos, un ensayo muestra forzado y un ensayo prueba. El ensayo muestra consistió en dejar salir a la rata de la caja de inicio del laberinto T y se le permitió que recorriera el laberinto siendo forzado a entrar en el brazo que estaba abierto, una vez que la rata entraba al brazo, se le abría la puerta de la caja donde estaba la hembra y se le permitía que tuviera una intromisión (obtención del refuerzo). Posterior a ello se regresaba el macho a la caja de inicio e inmediatamente se abría la puerta para que recorriera otra vez el laberinto en lo que se consideró el ensayo prueba, pero ahora con ambos brazos abiertos para que seleccionara a que brazo se iba a dirigir. Después de cada prueba había un intervalo interprueba de 15 segundos.

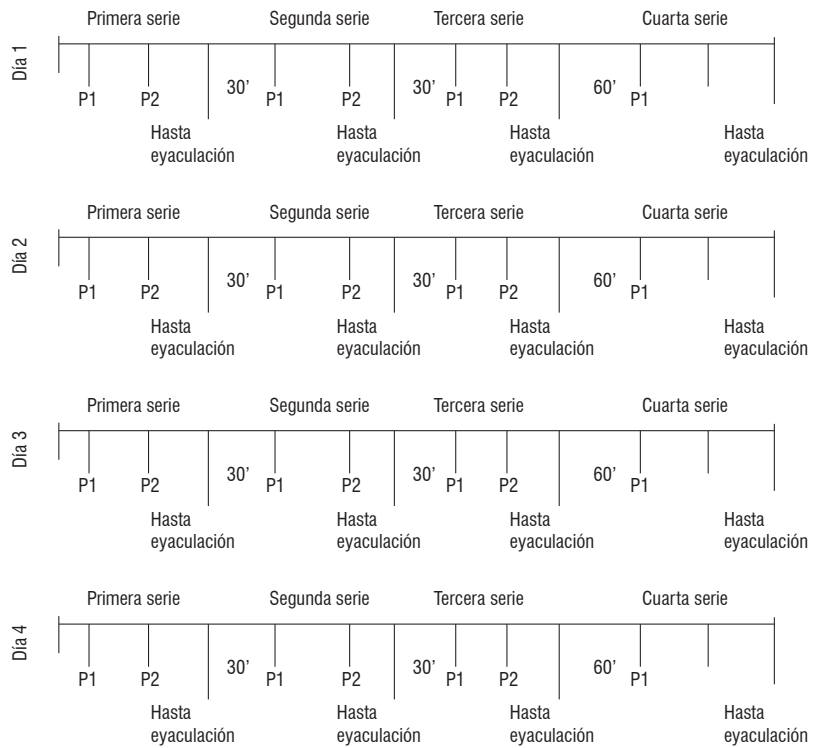
En este paradigma el animal debía aprender que la hembra disponible siempre estaba en el brazo opuesto al que visitó en la fase de muestra (aunque había hembras receptivas en el extremo de ambos brazos). Si el animal entraba al mismo brazo que en el ensayo de muestra, se consideraba como error (no se abría la puerta y no tenía acceso a la hembra receptiva); si entraba al brazo opuesto al que visitó en la fase de muestra se consideraba como acierto (se le permitirá tener la intromisión) (véase la figura 10).

En este paradigma, el número de pruebas por día continuaba indefinidamente hasta que la rata macho lograba eyacular, con lo cual finalizaba una serie copulatoria. Se dio un periodo interserie de mínimo 30 minutos, seguido del cual comenzaba una nueva serie, hasta completar 4 series copulatorias en un solo día. Entre la tercera y la cuarta serie, el periodo interserie se extendió a 60 minutos, con el fin de lograr que la rata macho se recuperara completamente y manifestara otra vez motivación sexual para realizar la tarea (véase figura 10).

RESULTADOS

Las ratas macho sometidas a este paradigma mostraron una adecuada curva de aprendizaje, al comparar el primer día contra el último día, así como la primera

Figura 10. Sesiones de aprendizaje: consisten de cuatro series copulatorias diarias, durante cuatro días de registro alternados cada cuatro días. Una serie consiste de un número variable de pruebas (P1, P2...) hasta que la rata macho conseguía eyacular. Después de la eyaculación, se daba un periodo interserie de 30 minutos; entre la tercera y cuarta serie el periodo interserie fue de 60 minutos.



serie del primer día con la última serie del último día (véase figura 11). Se observó que los niveles de motivación sexual que presentaron los machos de una serie a otra fueron muy similares, lo que les permitió ejecutar adecuadamente los ensayos de cada prueba en un solo día y a través de todos los días de registro.

Paradigma 6. Tarea de retraso con igualación a la muestra forzada - 4 series copulatorias diarias hasta eyaculación - durante cuatro días de registro - alternados cada cuatro días

Con el objeto de determinar si la motivación sexual se mantenía constante cuando la tarea realizada era

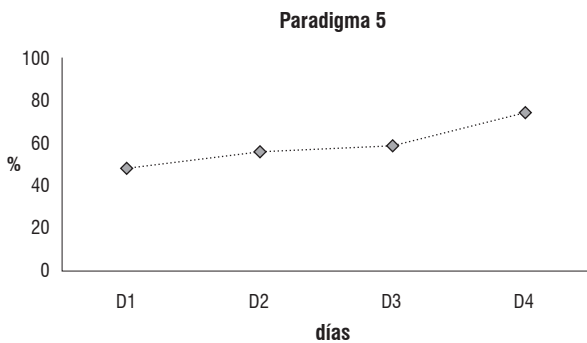


Figura 11. Porcentaje de aciertos mostrados por las 5 ratas macho por serie, a través de los días 1, 2, 3 y 4 (D1, D2, D3, D4).

de mayor complejidad (como en el caso de la tarea de retraso con igualación a la muestra), se evaluó si las ratas machos eran capaces de adquirir tal aprendizaje complejo pero ahora obteniendo el reforzador de mayor intensidad, o sea la eyaculación.

METODOLOGÍA

Se siguió la misma metodología del paradigma 5 (véase figura 10), con la excepción de que en este caso el tipo de tarea de retraso fue de igualación a la muestra (véase figura 8).

RESULTADOS

Se encontró que los machos sometidos a este tipo de aprendizaje más complejo, aun cuando se les permitió lograr la eyaculación, mostraron una curva de aprendizaje inadecuada ya que el aprendizaje adquirido aparentemente tiende a caer. Si se compara la primera serie del primer día contra la tercera serie del último día (véase figura 12), podría sugerirse que la tarea es demasiado compleja para que las ratas puedan adquirir el aprendizaje en 4 días aún con las repeticiones interserie. Pudo observarse que a partir del segundo día algunos machos no ejecutaron la tarea, es decir, no recorrieron el laberinto y ninguna rata ejecutó la tarea el día 4 durante la cuarta serie (para ejemplo, véase figura 13), lo que sugiere que la motivación no se mantuvo constante a través de los días, probablemente por la dificultad de la tarea, lo que

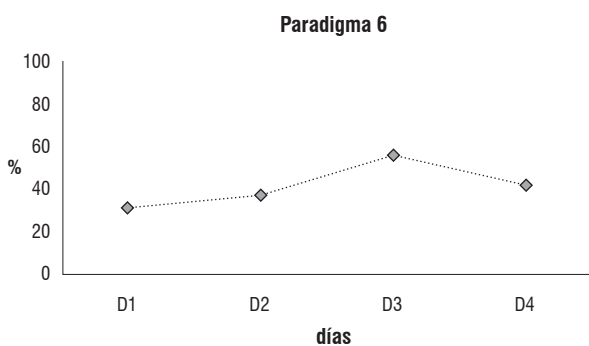


Figura 12. Porcentaje de aciertos por serie a través de los días 1, 2, 3 y 4 (D1, D2, D3, D4).

obligaba a las ratas macho a recorrer el laberinto más de 10 pruebas sin obtener un reforzador (intromisión con la hembra receptiva) en ninguna de ellas.

Discusión y conclusiones

Este es el primer trabajo experimental en el que se muestra que la interacción sexual puede funcionar como un reforzador efectivo para que la rata macho aprenda a ejecutar una tarea en la que se requiere de memoria de trabajo. Asimismo, se logró determinar el paradigma experimental más adecuado para evaluar memoria de trabajo en ratas macho utilizando un reforzador de carácter sexual (intromisión y eyaculación).

Los resultados de los diferentes experimentos realizados, muestran que para lograr un adecuado aprendizaje utilizando refuerzo sexual, el paradigma experimental es diferente al que se utilizaría cuando el refuerzo es la comida o la bebida. El reforzador sexual no es parte de un sistema regulador implicado en el mantenimiento de procesos metabólicos críticos, sino que muestra diferencias individuales en función de cambios endocrinos y conductuales (Crawford, Holloway y Domjan 1993). Se ha sugerido que el refuerzo sexual puede considerarse como un reforzador dinámico ya que la motivación por comer o beber puede controlarse por medio de la privación (número de horas que han pasado desde la última comida o bebida), en tanto que inducir un estado de motivación sexual por privación no es posible; la ausencia de actividad sexual no produce acumulación de ninguna necesidad corporal (Ågmo 1999). Además, está demostrado que el grado de motivación sexual que presentan las ratas macho, varía aún durante una misma serie eyaculatoria, donde la eyaculación tiene un valor reforzante mayor que aquel de la intromisión y ésta última mayor que aquel de la respuesta de monta (Ågmo 1999). Así, con el paradigma 1 quedó demostrado que la motivación sexual de la rata macho, que es lo que le im-

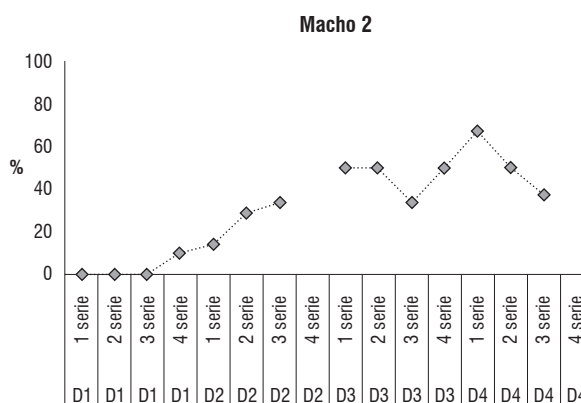


Figura 13. Porcentaje de aciertos por serie a través de los días 1, 2, 3 y 4 (D1, D2, D3, D4) del macho 2. Se observa que este macho no ejecutó la tarea el día 2 en la serie 4, ni el día 4 en la serie 4.

pulsa a recorrer el laberinto en el tiempo establecido y con ello lograr tener una intromisión con la hembra receptiva, no permaneció constante durante los días consecutivos (como lo sería en la privación de agua o comida), por lo que una tarea de memoria de trabajo en laberinto T usando un reforzador sexual debe ser alternada al menos cada tercer día.

Está ampliamente descrito que en tareas de laberinto T la rata muestra una conducta de “alternancia espontánea”. Tal conducta de elegir un punto opuesto al que ya se ha elegido previamente, obedece a la tendencia natural de los roedores a explorar estímulos que impliquen novedad (Douglas 1966). Una de las principales distinciones de estos modelos de memoria de trabajo es que el reforzador se encuentra en ambos brazos del laberinto y que al forzar la entrada a un brazo específico la tendencia natural de los animales por alternar es sustituida por el aprendizaje de una nueva regla (Richman, Dember y Kim 1987),

En este trabajo, se mostró en el paradigma 2 y 3 que efectivamente, utilizando sólo la intromisión como refuerzo, la alternancia espontánea favoreció la adecuada ejecución de la tarea manteniéndose altos niveles de respuestas correctas desde las primeras pruebas, pero que no se manifestó aprendizaje alguno, tal vez por lo fácil de la tarea, sin embargo, al complicar la tarea que las ratas debían ejecutar en el paradigma 4 (donde fue impuesta la condición de alternancia con igualación a la muestra forzada) se encontró que las ratas no lograron aprender, tal vez ahora, porque la tarea les resultó muy difícil al tener que vencer su tendencia de alternar.

Dadas las dificultades anteriores y considerando que la eyaculación es un reforzador sexual de mayor intensidad que la sola intromisión (Ågmo 1999), se diseñó el paradigma 5, en el que se mantuvo la tarea de retraso con alternancia a la muestra forzado, con

cuatro series copulatorias por día, en las que se les permitió a los machos ejecutar los ensayos muestra y prueba necesarios hasta que alcanzaran la eyaculación. Con este paradigma se pudo observar que si bien el general de las ratas macho comienzan alternando espontáneamente, esta conducta no permanece constante a lo largo de todas las series, ya que si esto fuera así las ratas macho tendrían una constante de aciertos, tal como sucedió en el paradigma 3; no obstante, cuando el número de repeticiones de la tarea aumenta pero la cantidad de días de registro disminuye, la rata macho comienza a presentar equivocaciones propias de sus posibles preferencias que ahora deben competir con la conducta de alternancia.

Con lo que respecta a los paradigmas que implicaron una tarea de igualación a la muestra, a pesar de que podría pensarse que aumentando el número de series por día o bien el número de días de registro se obtendría una curva de aprendizaje adecuada, esto no se observó en los paradigmas 4 y 6. Se ha reportado que bajo ciertas condiciones, la ausencia de copula disminuye la eficacia del reforzador (Crawford, Holloway y Domjan 1993), así, es probable que este no aprendizaje en los paradigmas mencionados se deba a que dada la dificultad de la tarea, los sujetos debían realizar varios ensayos que al resultar equivocados, no recibían refuerzo sexual. En este contexto, podría pensarse que al aumentar el número de series en un solo día facilitaría el aprendizaje, sin embargo, también es importante mencionar que esto implicaba una dificultad mayor ya que se corría el riesgo de provocar la saciedad sexual de la rata macho (periodo de inhibición sexual de larga duración, hasta de 15 días, después de que el macho eyacula repetidamente en un solo día) (Fernández-Guasti y Rodríguez-Manzo 2003).

Con base en los resultados anteriormente descritos, se concluye que el paradigma 5 “Tarea de retraso con alternancia a la muestra forzada - 4 series copulatorias diarias hasta eyaculación - durante cuatro días de registro - alternados cada cuatro días” resultó ser el más apropiado para evaluar una tarea de memoria de trabajo en un laberinto T, usando como reforzador las respuestas de intromisión y eyaculación; las ratas mantuvieron un nivel de motivación sexual apropiado para ejecutar las tareas a través de los días y se obtuvo, por tanto, una curva de aprendizaje adecuada.

Asimismo, estos resultados confirman que la intensidad del reforzador sexual fue un elemento clave para mantener la motivación de las ratas macho a través de los ensayos de un día, y también a través de los días, ya que la eyaculación es un reforzador sexual de mayor intensidad que la sola intromisión (Ågmo 1999).

El desarrollo de un paradigma adecuado para evaluar memoria de trabajo en ratas macho con refuerzo sexual, representa un importante avance para la investigación de las bases neurales del aprendizaje y la memoria ya que, al ser la rata un modelo más accesible y manejable, será posible llevar a cabo investigaciones futuras utilizando este paradigma.✉

Literatura citada

- ÅGMO A. 1999. Sexual motivation—an inquiry into events determining the occurrence of sexual behavior. *Behavioural Brain Research* **105**: 129–150.
- BADDELEY A. 1998. Why do we need Memory? In: *Human memory, theory and practice*. Allyn and Bacon. United States of America. Pp. 1–6.
- BADDELEY A. 1998. The role of Memory in Cognition: Working Memory. In: *Human memory, theory and practice*. Allyn and Bacon, United States of America. Pp. 49–69.
- BUSKIST, W. Y D.W GERBING. 1990. *Learning and Behavior Analysis, in Psychology, Boundaries and Frontiers*. Harper Collins Publishers. United States of America. Pp. 225–259.
- CASTNER, S. A., P.S. GOLDMAN-RAKIC Y G.V. WILLIAMS. 2003. Animal models of working memory: insights for targeting cognitive dysfunction in schizophrenia. *Psychopharmacology* **174**: 111–125.
- CORIA-ÁVILA, G.A., J. G. PFAUS, M. MIQUEL, P. PACHECO Y J. MANZO. 2008. Preferencias condicionadas por sexo y drogas: comparación de las bases neurales. *Revista de Neurología* **46**: 213–218.
- CRAWFORD, L., K.S. HOLLOWAY Y DOMJAN. 1993. The nature of sexual reinforcement. *Journal of the experimental Analysis Behavior* **60**: 55–66.
- DELATOUR, B. Y GUISSQUET-VERRIER. 1999. Lesions of the prelimbic-infralimbic cortices in rats do not disrupt response selection processes but induce delay-dependent deficits: evidence for a role in working memory? *Behavioral Neuroscience* **113** (5): 941–955.
- DOUGLAS, R.J. 1966. Cues for spontaneous alternation. *Journal of Comparative Physiological Psychology* **62**: 171–183.
- FERNÁNDEZ-GUASTI A. Y G. RODRÍGUEZ-MANZO. 2003. Pharmacological and physiological aspects of sexual exhaustion in male rats. *Scandinavian Journal of Psychology* **44**: 257–263.
- GOLDMAN-RAKIC P. 1995. Cellular Basis of Working Memory. *Neuron* **14**: 477–485.
- GOLDMAN-RAKIC P. 1999. The “Psychic” Neuron of the Cerebral Cortex. *Annals of the New York Academy of Sciences* **868**: 13–26.
- GRANON, S. Y VIDAL. 1994. Working memory, response selection, and effortful processing in rats with medial

- prefrontal lesions. *Behavioral Neuroscience* **108**(5): 8883–8891.
- GRANON, S. y B. POU CET.** 2002. Involvement of the rat prefrontal cortex in cognitive functions: A central role for the prelimbic area. *Psychobiology* **28**(2): 229–237.
- GUISQUET-VERRIER y B. DELATOUR.** 2006. The rol of the rat prelímbic/infralímbic cortex in working memory: not involved in the short-term maintenance but in monitoring and processing functions. *Neuroscience* **141**: 585–596.
- GUEVARA, M.A., F.A. ROBLES-AGUIRRE, G. QUIRARTE y M. HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ.** 2009. Orbitofrontal cortex inactivation impairs early reversal learning in male rats during a sexually motivated task. *International Journal of Psychology and Psychological Therapy* **9**: 141–160.
- HERNÁNDEZ-GONZÁLEZ, M.** 2002. Aspectos motivacionales de la conducta sexual, In: *Motivación animal y humana*. Manual Moderno, México. Pp. 127–146.
- KANDEL, E.R., J.H. SCHWARTZ y T.M. JESSELL.** 1997. Aprendizaje y Memoria. En: *Neurociencia y Conducta*. Prentice Hall. España. Pp. 695–712.
- KOLB, B.** 1990. Prefrontal Cortex, In: *The cerebral cortex of the rat*. Kolb B. y Tess, R.C. MIT Press. Pp. 437–458.
- KOLB, B.** 1990. Organization of the Neocortex of the Rat, In: *The cerebral cortex of the rat*. Kolb B. y Tess, R.C. MIT Press. Pp. 21–33.
- KOLB, B.** 2003. The rodent prefrontal cortex. *Behavioral Brain Research* **146**: 1–2.
- POOLTON, J.M., R. S. W. MASTER y J. P. MAXWELL.** 2005. The relationship between initial errorless learning conditons and subsequent performace. *Human Movement Science* **24**: 362–378.
- RICHMAN, C. L., N.W. DEMBER y P. KIM.** 1986. Spontaneous Alternation Behavior in Animals: Review. *Current Psychological Research & Reviews* **5**(4): 358–391.
- TZSCHENTKE, T.M.** 2000. The medial prefrontal cortex as part of the brain reward system. *Amino Acids* **19**: 211–219.

Edad, peso corporal y algunas características reproductivas a la pubertad de toretes y vaquillas de raza pura Brahman y Angus y sus cruzas con ganado exótico tipo Sanga adaptado al trópico

Antonio Rocha¹, Francisco Javier Padilla Ramírez², Joseph William Holloway³, David Kent Lunt³, James Olin Sanders³, Charles Ray Long³ y Ronald D. Randel³

¹Instituto de Ciencias Biomédicas de Abel Salazar, Portugal. ²Departamento de Producción Animal, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) Universidad de Guadalajara, Km 15.5 Carretera Guadalajara a Nogales, Las Agujas, Nextipac, Zapopan, Jalisco. 4501, México; Apdo. Postal 39-82, CP 44171. ³Texas Agricultural Experiment Station (TAES), Texas A&M University, department of Animal Science. Correo electrónico: javier.padilla@cucba.udg.mx.

Resumen

Se determinó el crecimiento y algunas características reproductivas a la pubertad de toretes (n=67) Boran × Brahman (BoB), Angus (A), Angus × Brahman (AB), Brahman (B), Tuli × Angus (TA), y Tuli × Brahman (TB); y en vaquillas (n=52) B, AB, y TB. Cuando los toretes alcanzaron una edad de 220 días se registró el peso corporal (PC kg), la ganancia diaria promedio (GDP, kg), y la circunferencia escrotal (CE, cm) cada 28 días hasta que se determinó una concentración espermática de 500×10^6 . Para el análisis seminal y determinación del inicio de la pubertad en los toretes, se electroeyacularon cada 28 días a partir de cuando cumplieron 10 meses y después cada 14 días cuando alcanzaron CE de 23 cm o cuando se detectó motilidad espermática. En las vaquillas se registró el PC cada 28 días a partir del destete y se calculó la GDP desde el destete hasta los 325 días de edad. El inicio a la pubertad se determinó a través de la detección del celo manifiesto seguido de los niveles plasmáticos de progesterona. Las variables de respuesta en los toretes fueron: GDP, PC, edad a la pubertad (EP, días), motilidad (ME) y anomalías (AE) espermática (%). En las vaquillas las variables de respuesta fueron: EP, GDP y PC a la pubertad. Los datos fueron analizados utilizando el paquete estadístico SAS en su rutina GLM. Se evaluó el efecto de genotipo sobre las variables de respuesta. Los toretes A, AB, y TA mostraron mayores ($P < .005$) GDP que los otros genotipos. Los toretes A y TA produjeron el primer eyaculado con ME y alcanzaron la pubertad más precozmente ($P < 0.05$) que los otros genotipos. Las vaquillas AB mostraron mayores ($P < 0.05$) GDP que las vaquillas B y TB (.470 kg vs .190 y .270 kg respectivamente). Las vaquillas cruzadas AB y las TB mostraron menores EP ($p < 0.05$) que las vaquillas B (271.7 y 262.7 vs 311.6 días respectivamente). El uso de razas exóticas del tipo Sanga cruzadas con razas puras como A y B muestran valores aceptables en crecimiento y algunas características a la pubertad tanto en toretes como en vaquillas.

Palabras clave: Pubertad, toretes, vaquillas, Sanga, Angus, Brahman.

Abstract

Growth and sexual development of Boran × Brahman (BoB), Angus (A), Angus × Brahman (AB), Brahman (B), Tuli × Angus (TA) and Tuli × Brahman (TB) bulls (n=67) as well as B, AB, and TB heifers (n=52) were studied. When the bulls reached an age of 220 days the body weight (BW kg), the average daily gain (ADG, kg) and the scrotal circumference (SC, cm) were recorded every 28 days until they showed a sperm concentration of 500×10^6 . For semen analysis and determination of the onset of puberty the young bulls were electroejaculated every 28 days from when they turned 10 months old, and then every 14 days when they reached 23 cm of SC or the sperm motility was detected. In Heifers BW was recorded every 28 days after weaning and ADG was calculated from weaning to 325 days of age. The onset of puberty was determined by the detected estrus followed by plasma levels of progesterone. Response variables in young bulls were: ADG, BW, age at puberty (EP, days), motility (SM) and abnormalities (SA) (%). Response variables in heifers were: Age (AP) and BW at puberty, and ADG. The data were analyzed using ANOVA with the GLM procedure of SAS. The effect of genotype was evaluated on response variables. The Bulls A, AB, and TA showed higher ($P < .005$) GDP than the other genotypes. The Bulls A, AB, and TA showed higher ($P < .005$) GDP than the other genotypes. The Bulls A and TA produced the first ejaculate with SM and reached puberty earlier ($P < 0.05$) than the other genotypes. AB heifers showed higher ($P < 0.05$) ADG than heifers B and TB (.470 kg vs .190 and .270 kg respectively). Heifers cross AB and TB showed lower AP ($p < 0.05$) than heifers B (271.7 and 262.7 vs. 311.6 days, respectively). The use of exotic breeds of sanga type crossed with pure breeds such as A and B show acceptable values in growth and some characteristics of puberty in both bulls and heifers.

Keywords: puberty, heifers, bulls, Sanga, Angus, Brahman.

Introducción

Existen numerosas razas de ganado de carne adaptadas a climas templados; sin embargo, es limitada la disponibilidad de germoplasma para climas tropicales en comparación con las anteriores. La ventaja de usar ganado Brahman en sistemas de cruzamientos en el subtropico está ampliamente documentado (Turner 1980). En general, se ha determinado la ventaja de usar la heterosis en relación con algunas características reproductivas y de desarrollo entre los tipos de ganado *Bos indicus* y *Bos taurus* (Franke 1980; Chase et al. 2000; Chase et al. 2001; Chase et al. 2004), como es el caso de las vacas cruzadas con Brahman quienes muestran alta fertilidad y productividad comparadas con las razas puras bajo condiciones tropicales (Sanders et al. 1987). Sin embargo, hay algunas desventajas asociadas con el uso de ganado Brahman que hay que considerar como son una edad mayor para alcanzar la pubertad comparada con las razas *Bos taurus* (Randel, 1994a; Randel, 1994b; Holloway 2002; Jenkins and Ferrel 2004), y los problemas asociados con una calidad inferior de la canal (Comerford et al. 1988; Kebede 1983; Koch et al. 1982; Casas et al. 2010).

A medida que se incrementó el uso de la inseminación artificial, se produjeron cruzamientos usando el semen congelado de razas exóticas tropicales como el Boran y el Tuli. El Boran es el más grande de los cebú con cuernos cortos con giba en el Este de África. Esta es una raza de ganado nativa de la provincia de Borana, en el Sudeste de Etiopía de donde se ha diseminado ampliamente en otras regiones (Kebede 1983; Kimenye 1983), incluyendo Kenya donde ha sido mejorada a través de selección en ranchos de ganado de carne tipo comercial. Se han observado varias ventajas productivas en este tipo de ganado: Kimenye (1983), cita que las vacas Boran destetan becerros más pesados que otras vacas cebú africanas, alcanzan un promedio anual de 81% de pariciones (Trail et al. 1971), y muestran un bajo promedio de mortalidad (3.5% y 1.0%) en becerros y en animales adultos respectivamente (Kimenye 1983). Otra característica importante es su gran adaptación a los climas tropicales secos de donde son originarios, donde el ganado Boran recibe agua cada tercer día y muestran un comportamiento productivo adecuado (Cossins and Upton 1974). Este régimen de consumo de agua tiene poco efecto en el desarrollo de los toretes bajo las condiciones de explotaciones comerciales (Nicholson 1986). Por otro lado el ganado Tuli del tipo Sanga, es una raza de ganado desarrollado en Zimbabwe y se clasifica como una rama de la raza Tswana (Oliver 1983). El ganado tipo Sanga tiene características morfológicas intermedias entre el cebú y las razas *Bos taurus*,

ya que tiene una pequeña joroba cérvico-torácica. Las razas del ganado Sanga se han caracterizado tener una alta fertilidad y bajas tasas de mortalidad (Trail et al. 1977; Scholtz 1988), pubertad temprana (Rocha et al. 1990), una muy eficiente conversión alimenticia (Schoeman 1989) y una resistencia los parásitos internos (Da Silva 1975) y a los parásitos externos (Renchav and Kostzewski 1991; Scholtz 1988). Se han desarrollado varios estudios tendientes a comparar genotipos en diferentes regiones. Durante 16 años de estudio, el ganado Tuli mostró ser más productivo que otras 5 razas de ganado en Botswana (APRU 1990), debido a una combinación de una alta fertilidad y bajos índices de mortalidad.

En algunos estudios realizados en el sur de Texas se ha determinado el potencial productivo y reproductivo de estas razas cuando son utilizadas dentro de los esquemas de cruzamiento en ganado de carne. Cuando se evaluaron las cruza de Angus × Brahman y Tuli × Brahman comparadas con las vaquillas Brahman, se observó que las primeras mostraron la pubertad significativamente más temprano que las vaquillas puras; así mismo el peso corporal fue mayor en la cruzada Angus × Brahman que en otros grupos genéticos (Holloway et al. 1998a).

Con relación a algunas características de crecimiento los becerros de la cruzada Brahman × Angus fueron más pesados al nacimiento y al destete, y mostraron ser de madurez tardía cuando se compararon con los becerros de las cruza Senepol × Angus y Tuli × Angus, los cuales mostraron un comportamiento similar bajo las condiciones del Sur de Texas (Holloway et al. 1998 b).

La mayoría de las razas que se explotan bajo condiciones de trópico son consideradas de madurez tardía. Esta característica en la hembra tiene un efecto detrimental sobre la eficiencia de las explotaciones, debido en gran parte a: edad al primer parto de al menos tres años, sobrealimentación de las becerras para que crezcan más rápido, y baja eficiencia reproductiva en las vaquillas de primer parto. Por lo anterior es necesario buscar alternativas de otras razas también adaptadas al trópico pero con mejores características productivas. El objetivo del presente trabajo fue comparar el crecimiento y las características reproductivas a la pubertad de toretes y vaquillas de raza pura Brahman, Angus, Brahman × Angus y sus cruza con ganado exótico tipo Sanga adaptado al trópico.

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo con animales procedentes de las estaciones experimentales de Overton, Uvalde y McGregor ubicadas en el estado de Texas, U.S.A. pertenecientes a la Universidad de Texas A&M. Se

utilizaron 67 toretes de los siguientes genotipos: Boran × Brahman (BoB, n=7), Angus (A, n=12), Angus × Brahman (AB, n=12), Brahman (B, n=15), Tuli × Brahman (TB, n=7), y (TA, n=14). Al mismo tiempo se estudio el comportamiento de 52 vaquillas de los genotipos B (n=18), AB (n=19), y TB (n=15). Todos estos grupos genéticos fueron producidos a través del uso de inseminación artificial con semen congelado. Todas las vaquillas, y los toretes B y TB, así como 10 toretes AB fueron originarios de la estación experimental de Overton, Texas. Los toros BoB y 10 toros A fueron originarios de la estación experimental de McGregor Texas. Los toretes TA, 4 toros Angus y 2 toros AB fueron producidos en la estación experimental de Uvalde. Las tres estaciones experimentales pertenecen a la Universidad de Texas A&M. Todos los animales se destetaron a los 205 días de edad. Después del destete, los toretes procedentes de McGregor y Uvalde se trasladaron a Overton. En Overton, las vaquillas y los toretes se mantuvieron separados en praderas de rye-ryegrass sembradas sobre praderas de Bermuda de la costa. La detección de signos de estro en las vaquillas se realizó durante tres periodos durante el día (1 h cada uno) con ayuda de dos toros vasectomizados equipados con *chin ball*. Todos los animales se alimentaron basándose en un concentrado ofrecido a una proporción del 1.1% de su peso corporal, y conteniendo 82.5% de maíz y 16.5% de harina de soya (3.2 Mcal, PC/kg base seca). Heno de Bermuda de la costa, minerales y agua se ofrecieron a libertad.

El estudio en los toretes se inició cuando alcanzan una edad promedio de 292.6 ± 20 d. El peso corporal (PC) y la circunferencia escrotal (CE) se registraron cada 28 días. La primera colección de semen se realizó por medio de electroeyaculación cuando los toretes alcanzaron al menos 10 meses de edad o 21 cm de CE o lo que ocurriera primero, y después a intervalos de 28 días. Posteriormente los intervalos entre electroeyaculaciones se realizaron cada 14 d después de que los toros alcanzaron una CE de 23 cm, o cuando se detectó motilidad en los espermatozoides en el primer eyaculado. El criterio para determinar el inicio de pubertad (EP) fue cuando se obtuvo en el primer eyaculado con una concentración espermática de 50×10^6 o más, con al menos 10% de motilidad progresiva (Wolf et al. 1965; Barth and Oko 1989). Después de la aparición de la pubertad, los toretes permanecieron en el estudio hasta que se determinó en el eyaculado una concentración mínima de 500×10^6 células espermáticas. Las características seminales que se evaluaron fueron: motilidad progresiva, volumen y morfología espermática. Para determinar la morfología espermática, se prepararon frotis de las muestras de semen inmediatamente después de la eyaculación y se tñieron con la tinción modificada de Wright-Giemsa

(Diff-Quik, Baxter Healthcare Corporation, McGaw Park, IL). Se evaluaron cien células espermáticas por eyaculado para determinar su morfología, utilizando el objetivo de 100×. Las anomalías espermáticas se evaluaron según la clasificación de (Barth and Oko 1989).

A partir del destete las vaquillas fueron alojadas en un potrero con acceso a un corral donde fueron observadas durante tres periodos por día (1 h cada uno) para detectar signos de estro. Se colectaron muestras de sangre de la arteria coccígea cada semana para determinar los niveles plasmáticos de progesterona (P). Las concentraciones plasmáticas de P fueron determinadas por radioinmunoanálisis descrito por (Williams 1989). Los coeficientes de variación inter e intraensayo fueron 6.87 and 8.50% respectivamente. La sensibilidad del ensayo fue 0.035 ng/ml. La EP se determinó cuando la vaquilla mostró un celo manifiesto seguido de dos muestras consecutivas con una concentración de $P \geq 1$ ng/ml.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando el programa (SAS 1989) en su rutina GLM. En los toretes las variables de respuesta GDP, PC, EP y CE se analizaron en seis grupos genéticos a través de tres estados de desarrollo. Las variables de respuesta que se analizaron en el eyaculado fueron: volumen, porcentaje de motilidad progresiva, y anomalías espermáticas. En vaquillas, las variables dependientes fueron: GDP, PC y EP. El modelo estadístico general fue:

$$Y_{ijk} = B_j + S_j + (BS)_{ij} + ijk$$

donde, i = número de grupos genéticos ($i=1, \dots, 6$), j = número de estado de desarrollo ($j=1, 2, 3$). Se calcularon las medias mínimas cuadráticas y la opción de las diferencias predichas para detectar diferencias entre razas.

Resultados

El análisis estadístico indicó que no hubo interacción entre el genotipo y el estado de desarrollo sobre PC, EP o CE. Los toros del grupo genético TA mostraron menor ($P < .05$) PC al inicio del experimento (161.4 ± 15.5 kg), comparado con los demás grupos raciales. Los pesos corporales de A (205.0 ± 9.3 kg), B (218.4 ± 19.3 kg), TB (213.8 ± 9.3 kg), y AB (225.2 ± 10.0 kg) fueron similares ($p > 0.05$) al inicio del experimento. Las GDP de los toretes en los primeros 77 d del experimento, y los PC en el momento del primer eyaculado con espermatozoides móviles (PE), de la pubertad, y cuando registraron una concentración es-

Cuadro 1. Medias mínimo cuadráticas (\pm EE) de las Ganancias Diarias Promedio (GDP, kg), y Peso Corporal (PC, kg) al momento de la primera eyaculación, a la pubertad y cuando alcanzaron la concentración espermática mayor a 500×10^6 de toretes de diferentes genotipos.

Variable, kg	Genotipo					
	A (n=12)	AB (n=12)	B (n=15)	TA (n=14)	TB (n=7)	BoB (n=7)
GDP	0.530 \pm 0.05 ^a	0.530 \pm 0.05 ^a	0.230 \pm 0.05 ^b	0.390 \pm 0.05 ^a	0.330 \pm 0.05 ^b	0.200 \pm 0.07 ^b
PC a la primera eyaculación	233.6 \pm 12.6 ^b	305.4 \pm 13.1 ^a	303.5 \pm 11.3 ^a	190.2 \pm 26.1 ^c	273.5 \pm 13.6 ^{ab}	303.7 \pm 17.1 ^{ab}
PC a la pubertad	259.6 \pm 12.6 ^{bc}	366.2 \pm 13.1 ^a	341.4 \pm 11.7 ^a	222.3 \pm 20.0 ^c	304.2 \pm 12.6 ^{ab}	303.7 \pm 17.1 ^{ab}
PC cuando alcanzaron la concentración espermática mayor a 500×10^6	303.6 \pm 15.1 ^b	358.4 \pm 13.1 ^a	358.8 \pm 12.6 ^a	249.3 \pm 20.2 ^c	330.4 \pm 13.6 ^{ab}	319.8 \pm 17.1 ^{ab}

Literales distintas en la misma hilera indican diferencias significativas ($P < 0.05$). Genotipo: A=Angus; AB=Angus \times Brahman; B=Brahman; TA=Tuli \times Angus; TB=Tuli \times Brahman; BoB=Boran \times Brahman.

Cuadro 2. Medias mínimo cuadráticas (\pm EE) de la circunferencia escrotal (CE, cm) en diferentes etapas de desarrollo sexual de los toretes.

Etapa de desarrollo	Genotipo					
	A (n=12)	AB (n=12)	B (n=15)	TA (n=14)	TB (n=7)	BoB (n=7)
Al inicio del estudio (220 días de edad)	21.5 \pm 0.6 ^b	19.7 \pm 0.6 ^a	17.9 \pm 0.6 ^a	20.5 \pm 1.0 ^b	19.5 \pm 0.6 ^{ab}	19.6 \pm 0.8 ^{ab}
A la primera eyaculación	25.6 \pm 0.6 ^a	26.6 \pm 0.7 ^a	24.7 \pm 0.6 ^{ab}	22.6 \pm 1.0 ^b	25.2 \pm 0.6 ^a	26.3 \pm 0.9 ^a
A la Pubertad	28.2 \pm 0.7 ^{ab}	29.4 \pm 0.6 ^a	26.4 \pm 0.6 ^b	27.1 \pm 1.0 ^{ab}	28.2 \pm 0.6 ^{ab}	28.5 \pm 0.9 ^{ab}
Cuando alcanzaron la concentración espermática mayor a 500×10^6	31.8 \pm 0.7 ^a	30.3 \pm 0.6 ^{ba}	27.0 \pm 0.6 ^c	29.1 \pm 1.0 ^{bc}	29.5 \pm 0.7 ^{abc}	29.6 \pm 0.8 ^{abc}

Literales distintas en la misma hilera indican diferencias significativas ($P < 0.05$). Genotipo: A=Angus; AB=Angus \times Brahman; B=Brahman; TA=Tuli \times Angus; TB=Tuli \times Brahman; BoB=Boran \times Brahman.

permática de $> 500 \times 10^6$, se muestran en el cuadro 1. La GDP fue mayor en los grupos genéticos A y AB comparados con los toretes del grupo con valores intermedios TA, y los grupos de razas tropicales B, TB, BoB quienes mostraron la menor GDP (0.230, 0.330, 0.200 kg respectivamente).

El desarrollo testicular medido por la CE se muestra en el cuadro 2 y las edades al primer eyaculado, EP y cuando alcanzaron una concentración de >500 células espermáticas se muestra en el cuadro 3. Los grupos genéticos con influencia de B (AB, B, TB, y BoB) mostraron los valores más bajos ($P < 0.05$) para CE al principio del experimento. Posteriormente y hasta que alcanzaron la concentración espermática mayor a 500×10^6 , los toretes con influencia A mostraron los valores más altos de CE. Con relación a la capacidad reproductiva expresada en producción de gametos, los toretes A y los toretes TA mostraron su primera eyaculación a una edad más temprana ($P < 0.05$) que los otros cuatro grupos genéticos, por el contrario con influencia B mostraron los valores más bajos entre todas las razas en esa etapa. Los del grupo genético TB fueron intermedios. La EP y la producción >500 células espermáticas fue similar ($P > 0.05$) en los toretes cruzados AB, TB y BoB. Los toretes B alcanzaron la pubertad a una edad más avanzada que los AB, y fue

similar a ($P > 0.05$) a los TB y BoB, La edad a las >500 células espermáticas, fue similar en los toretes B y TB. Los toretes Angus y los TA alcanzaron la pubertad y la producción >500 CE a una edad menor ($P < 0.05$) que las otras cuatro grupos genéticos.

Los toretes del genotipo A y sus cruza mostraron los valores más altos ($P < 0.05$) de motilidad espermática, mientras que los toretes del genotipo TA presentaron el más bajo porcentaje ($P < 0.05$) de gotas proximales comparado con las demás grupos (cuadro 4).

Los pesos al destete y a la pubertad, la GDP y la edad a la pubertad de las vaquillas B, AB y TB se muestran en el cuadro 5. El peso al destete y la GDP desde el destete hasta los 305 d de edad fueron mayores ($P < 0.05$) en las hembras AB comparado con las del genotipo TB y B. La EP tendió ($P=0.08$) a ser menor en las vaquillas AB y TB que las vaquillas B. Estos datos concuerdan con los mencionados en los toretes con influencia B, las vaquillas B y TB muestran valores de las GDP y de PC inferiores a la pubertad comparados con las vaquillas del genotipo influenciado con A (AB), sin embargo, en algunas variables de carácter reproductivo como es la edad a la pubertad las vaquillas con influencia B mostraron solo una tendencia ($P < 0.08$) a ser menor.

Cuadro 3. Medias mínimo cuadráticas ($\pm EE$) de la edad (días) al primer eyaculado, pubertad y cuando alcanzaron una concentración espermática mayor a 500×10^6 de los toretes estudiados.

Variable, días	Genotipo					
	A (n=12)	AB (n=12)	B (n=15)	TA (n=14)	TB (n=7)	BoB (n=7)
Edad al primer eyaculado	289.0 \pm 10.7 ^d	360.3 \pm 11.5 ^c	421.0 \pm 10.0 ^a	317.0 \pm 17.9 ^d	371.4 \pm 11.2 ^{bc}	399.7 \pm 15.2 ^{ab}
Edad a la pubertad	324.8 \pm 10.7 ^c	413.7 \pm 11.6 ^b	462.9 \pm 10.1 ^a	354.4 \pm 10.0 ^c	425.8 \pm 11.2 ^{ab}	426.1 \pm 15.2 ^{ab}
Edad cuando alcanzaron la concentración espermática mayor a 500×10^6	372.7 \pm 10.7 ^c	430.9 \pm 11.6 ^b	495.7 \pm 10.4 ^a	384.2 \pm 18.0 ^c	462.1 \pm 11.2 ^{ab}	448.1 \pm 15.2 ^{ab}

Literales distintas en la misma hilera indican diferencias significativas ($P < 0.05$). Genotipo: A=Angus; AB=Angus \times Brahman; B=Brahman; TA=Tuli \times Angus; TB=Tuli \times Brahman; BoB=Boran \times Brahman.

Cuadro 4. Medias mínimo cuadráticas ($\pm EE$) del porcentaje de motilidad y anomalidades espermáticas en cuando se determinó una concentración mayor a 500×10^6 en los toretes estudiados.

Variable, %	Genotipo					
	A (n=12)	AB (n=12)	B (n=15)	TA (n=14)	TB (n=7)	BoB (n=7)
Motilidad	64.6 \pm 2.5 ^a	66.2 \pm 3.3 ^a	59.9 \pm 2.6 ^{ab}	65.7 \pm 5.1 ^a	56.9 \pm 2.8 ^{bc}	49.7 \pm 4.9 ^c
Anomalidades de cabeza	5.8 \pm 7 ^{bc}	6.6 \pm 1.0 ^b	8.2 \pm 0.8 ^b	3.1 \pm 1.5 ^c	7.1 \pm 0.8 ^b	14.9 \pm 1.2 ^a
Anomalidades en la pieza media	32.4 \pm 3.1 ^a	31.6 \pm 4.1 ^a	40.9 \pm 3.7 ^a	13.0 \pm 6.5 ^b	42.3 \pm 3.6 ^a	35.3 \pm 5.5 ^a
Anomalidades de cola	4.2 \pm 0.7 ^a	4.1 \pm 0.9 ^a	5.9 \pm 0.8 ^a	5.9 \pm 1.5 ^a	5.7 \pm 0.8 ^a	5.7 \pm 1.3 ^a
Gotas proximales	21.8 \pm 3.0 ^a	21.4 \pm 3.9 ^a	32.9 \pm 3.5 ^a	6.3 \pm 6.2 ^b	28.2 \pm 3.4 ^a	19.4 \pm 5.2 ^a
Anomalidades totales	42.4 \pm 3.2 ^{ab}	42.8 \pm 4.1 ^{ab}	55.3 \pm 3.7 ^a	19.0 \pm 6.6 ^c	54.8 \pm 3.7 ^a	55.6 \pm 5.6 ^a

Literales distintas en la misma hilera indican diferencias significativas ($P < 0.05$). Genotipo: A=Angus; AB=Angus \times Brahman; B=Brahman; TA=Tuli \times Angus; TB=Tuli \times Brahman; BoB=Boran \times Brahman.

Discusión

La menor GDP observada en los toretes con influencia de razas tropicales se puede explicar en parte por el hecho de que el periodo de los primeros 77d del estudio coincidió con los meses fríos (17 de noviembre al 2 de febrero). Kebede (1983) encontró en toros Boran bajo condiciones de pastoreo más un concentrado alimenticio en condiciones tropicales (Etiopía) valores de GDP de 0.696 kg, y los toros en pastoreo sin concentrado solamente ganaron 0.385 kg/d. En Bostawana Lethola (1983) observó en becerros desde el destete hasta los 18 meses de edad bajo condiciones de pastoreo valores de GDP similares a las de toretes B (0.340 y 0.380 kg, respectivamente) bajo las mismas condiciones de manejo. En una prueba de comportamiento los toretes Nguni, que es también una raza del grupo Sanga similar al Tuli, tuvieron una GDP de 1.21 kg, y una conversión de 6:8 y ocuparon el segundo lugar después de la raza Charolais en una comparación entre ocho razas. Browning et al. (1995) encontró que el crecimiento predestete de becerros procedentes de padre Angus fue mayor que los de procedentes de padre Tuli pero estos últimos iguales a los procedentes de padre Brahman. Al final de este experimento, los

toretos A fueron menos pesados que los B, debido en parte a la edad más corta en la que alcanzaron a producir 500×10^6 células espermáticas, y los toretes TA los cuales alcanzaron la producción de 500×10^6 células espermáticas a la misma edad que los toros A, sin embargo, esta fue la raza más pequeña en talla.

El hecho de cruzar ganado Tuli adaptado al trópico, con una raza de madurez temprana como A no resultó en animales de madurez tardía, esto concuerda con los datos citados por Rocha et al. (1990) quienes encontraron que toretes Sanga alcanzan la pubertad a una edad de 333 d.

Los toretes cruzados TA presentaron su primer eyaculado con una CE más pequeña y tuvieron un desarrollo testicular rápido. Sin embargo, a la pubertad no se encontraron diferencias estadísticas para CE entre razas. La edad a la concentración de 500×10^6 células espermáticas únicamente los toros A mostraron una mayor CE a pesar que mostraron los pesos corporales más ligeros que las demás razas en esta etapa de desarrollo. Casas et al. (2007) cita que animales procedentes de padre Angus alcanzaron la pubertad más temprano que los animales procedentes de la raza Frisian (268 vs. 302 días respectivamente) donde se

Cuadro 5. Medias mínimo cuadráticas (\pm EE) del peso al destete (kg), Ganancia diaria promedio (GDP;kg) desde el destete a los 305 días de edad, Peso corporal (kg) y edad (días) a la pubertad en vaquillas de tres genotipos.

Variable	Genotipo		
	B (n=18)	AB (n=19)	TB (n=15)
Peso al destete, Kg	189.5 \pm 6.9 ^b	207.9 \pm 6.0 ^a	192.0 \pm 6.8 ^b
GDP, Kg	0.190 \pm 0.03 ^b	0.470 \pm 0.03 ^a	0.270 \pm 0.03 ^b
Peso a la pubertad, Kg	271.7 \pm 17.4 ^b	311.6 \pm 12.3 ^a	262.7 \pm 11.7 ^b
Edad a la pubertad, días	460.8 \pm 22.9 ^c	406.1 \pm 16.2 ^b	411.3 \pm 15.3 ^b

Literales distintas en la misma hilera indican diferencias significativas ab ($P < 0.05$), bc ($P = 0.08$). Genotipo: B=Brahman; AB=Angus \times Brahman; TB=Tuli \times Brahman.

muestra el potencial del Angus en los sistemas de cruzamiento en relación a al inicio de la pubertad

A pesar de las diferencias en CE, la raza no afectó ($P > 0.05$) significativamente el volumen del eyaculado (4.7 a 5.4 ml.). Esto puede ser atribuido, en parte, al hecho de que se obtuvieron todas las células eyaculadas más todo el líquido preseminal. Esto también explica relativamente tan alto volumen obtenido de estos toretes jóvenes.

Debido al limitado número de observaciones por grupo genético de este estudio, se debe tener precaución al interpretar estos resultados en las características del eyaculado. Los toros TA mostraron eyaculados de alta calidad consistentemente a través del estudio con buena motilidad y el más bajo porcentaje de células espermáticas anormales comparados con los demás genotipos. En toretes peripuberales, la alta incidencia de gotas proximales es un signo de inmadurez en el desarrollo testicular (Barth and Oko 1989), y también valores tan bajos como un 5 a 10% de gotas proximales puede resultar en baja motilidad espermática y una pobre fertilidad (Blom and Nicander 1961). Las células espermáticas tienen gotas proximales y cuando se encuentran en la cabeza del epidídimo (Dott and Dingle 1968). Durante el proceso de maduración en el epidídimo las gotas proximales migran hacia la porción distal de la parte media y eventualmente, en toros adultos las gotas citoplasmáticas son eliminadas (Branton and Salisbury 1947; Rao et al. 1980) En el presente estudio el porcentaje de gotas proximales fue usado para comparar la madurez de la función epididimal. Para esta variable también los toretes TA fueron los que mostraron el valor más bajo (6.3%) ($P < 0.05$) comparado con los toretes de los otros genotipos, donde los del grupo B registraron el valor más alto (32%).

El manejo de las vaquillas de reemplazo en cualquier explotación comercial está basado a un buen programa que promueva la aparición de la pubertad


a una edad temprana. La edad a la pubertad es determinante como variable a considerar para una explotación rentable ya que se espera que se obtenga el primer parto alrededor de los dos años de edad en el mejor de los casos. Con este esquema de producción se contempla obtener el mayor número de partos en la vida productiva de la hembra (Patterson et al. 1992).

Está ampliamente demostrado el efecto positivo de cruzar con la raza A, especialmente para mejorar la tasa de crecimiento y calidad de la canal (Casas et al. 2010). En las vaquillas como era de esperarse las que tienen influencia A fueron significativamente más pesadas al destete que las vaquillas cruzadas con la raza B. Las vaquillas B sin embargo, mostraron GDP significativamente inferiores a las vaquillas AB y TB. Con la misma tendencia las vaquillas AB llegaron a la pubertad a una edad más temprana y más pesadas que las vaquillas B y TB.

La edad a la cual las vaquillas del presente estudio alcanzaron la pubertad concuerda con lo mencionado por otros autores, y aunque las vaquillas AB tendieron ($P < 0.08$) a llegar más precozmente a la pubertad, concuerda con otros autores sobre el efecto positivo del uso de la raza A en los esquemas de cruzamiento para mejorar las GDP.

Conclusiones

Los datos del presente estudio sugieren que los cruzamientos de T y Bo con A y B resultan en genotipos con algunas características reproductivas como edad a la pubertad en vaquillas y edad cuando alcanzan una concentración espermática de 500×10^6 en toretes son similares a los animales puros A y B.

La utilidad de estas dos razas exóticas africanas (T y Bo) en los sistemas de cruzamiento, puede ser únicamente valorada después de los experimentos involucrando un gran número de animales, así como sus características, calidad de la canal y su habilidad materna. 

Referencias bibliográficas

- APRU. (1990). *Twenty years of animal production and range research in Botswana Animal Production Research Unit*. (APRU). Ministry of agriculture. 65 pp. Gaborone, Bostawana.
- BARTH A. D, AND OKO R.J. (1989). *Abnormal morphology of bovine spermatozoa*. Iowa State University Press. Ames, Iowa.
- BLOM, E., AND NICANDER. L. (1961). "On the ultrastructure and development of the Spermatozoa". *Zellforschung* **55**: 8933.

- BRANTON, C., AND SALISBURY G. W.** (1947). "Morphology of spermatozoa from different levels of the reproductive tract of the bull". *J. Anim. Sci.* **6**: 154.
- BROWNING R, JR, LEITE-BROWNING M. L., NEUENDORFF D. A. AND RANDEL R. D.** (1995). "Prewaning growth of Angus- (*Bos taurus*), Brahman- (*Bos indicus*), and Tuli- (Sanga) sired calves and reproductive performance of their Brahman Dams". *J. Anim. Sci.* **73**: 2558–2563.
- CASAS E, LUNSTRA, D. CUNDIFF L. V. AND FORD J. J.** (2007). "Growth and pubertal development of F1 bulls from Hereford, Angus, Norwegian Red, Swedish Red and White, Friesian, and Wagyu sires". *J. Anim. Sci.* **85**: 2904–2909.
- CASAS E, THALLMAN, R. M. KUEHN . L. A, AND CUNDIFF. L. V.** (2010). "Postweaning growth and carcass traits in crossbred cattle from Hereford, Angus, Brangus, Beefmaster, Bonsmara, and Romosinuano maternal grandsires". *J. Anim. Sci.* **88**: 102–108.
- CHASE JR C.C., HAMMOND A. C, AND OLSON T. A.** (2000). "Effect of tropically adapted sire breeds on preweaning growth of F1 Angus calves and reproductive performance of their Angus dams". *J. Anim. Sci.* **78**: 1111–1116.
- CHASE JR C.C, CHENOWETH P. J. LARSEN ., R. E, HAMMOND A. C., OLSON T. A, WEST R. L., AND. JOHNSON. D. D** (2001) "Growth, puberty, and carcass characteristics of Brahman-, Senepol and Tuli-sired F1 Angus bulls". *J. Anim. Sci.* **79**: 2006–2015.
- CHASE JR C.C., RILEY D. G., OLSON T. A., COLEMAN AND. HAMMOND. A. C.** (2004). "Maternal and reproductive performance of Brahman × Angus, Senepol × Angus, and Tuli × Angus cows in the subtropics". *J. Anim. Sci.* **82**: 2764–2772.
- COMERFORD, JW., BENYSHEK L.L., BERTRAND J., KAND-JOHNSON. H.** (1988). "Evaluation of performance characteristic in diallel among Simmental, Limousin, Polled Hereford and Brahman beef cattle. II Carcass traits". *J. Anim. Sci.* **66**: 306–316.
- COSSINS, N. J., AND UPTON.V.** (1974). "The Borana pastoral system" in Southern Ethiopia. *Agricultural Systems* **25**: 199.
- DA SILVA , J.M.P.** (1975). *Bageticas para melhoramento animal: Planos de trabalhos para seleccao de bovinos em Mocambique.* Direccao Nacional de Pecuaria, Maputo, Macambique.
- DOTT, H.M., AND. DINGLE J.T.** (1968). "Distribution of lysosomal enzymes in the spermatozoa and cytoplasmic droplets of bull and ram" . *Exp. Cell .Res.* **52**: 523.
- FRANKE, D.E.** (1980). "Breed and heterosis effects of American Zebu cattle". *J. Anim. Sci.* **50**: 1206.
- HOLLOWAY, J.W., RANDEL R.D., WARRINGTON B.G., LONG C.R., ROCHA A.** (1998a). *Tropically adapted beef cattle: Puberty of heifers.* Texas A&M Agricultural Research & Extension Center at Uvalde. Bulletin.
- HOLLOWAY, J.W., WARRINGTON B.G., RANDEL R.D., ROUQUETTE F.M., LONG C.R.** (1998b). *Tropically adapted beef cattle: Pre-weaning performance on South Texas Rangeland.* Texas A&M Agricultural Research and Extension Center at Overton. Bulletin.
- HOLLOWAY J.W., WARRINGTON B.G., FORREST D.W. AND RANDEL R.D.** (2002) "Prewaning growth of F1 tropically adapted beef cattle breeds × Angus and reproductive performance of their Angus dams in arid rangeland". *J. Anim. Sci.* **80**: 911–918.
- JENKINS T. G. AND FERRELL C. L.** (2004). "Prewaning efficiency for mature cows of breed crosses from tropically adapted *Bos indicus* and *Bos taurus* and unadapted *Bos taurus* breeds". *J. Anim. Sci.* **82**: 1876–1881.
- KEBEDE, B.** (1983). "Review of the Ethiopian Boran breed" . In : *Indigenous Livestock of Africa. Proceedings of the Expert Committee Meeting.* P. 48 Organization of (FAO)/United Nations Environment Programme (UNEP).
- KIMENYE, D.** (1983). "Review of the Boran in Kenya". In : *Indigenous Livestock of Africa. Proceedings of the Expert Committee Meeting.* P. 40 organization of African Unity (OUA)/Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) /United Nations Environment Programme (UNEP).
- KOCH, R. M., DIKEMAN M. E. AND CROUSE J. D.** (1982). "Characterization of biological types of the cattle (Cycle III): III.Carcass composition, quality and Palatability". *J. Anim. Sci.* **54**: 35.
- LETHOLA, L.L.** (1983). "Review of Tswana breed of cattle" . In : *Indigenous Livestock of Africa. Proceedings of the expert committee e Meeting.* p. 82. Organization of African Unity (OUA)/ Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) /United Nations Environment Programme (UNEP).
- LUNSTRA, D.D., J.J. FORD AND S. ECHETERNKAMP.** (1978) ."Puberty in beef bulls: Hormone concentration, growth, Testicular development, sperm production and sexual aggressiveness in bull of different breeds". *J. Anim. Sci.* **46**: 1054.
- LUNSTRA D.D. AND CUNDIFF V.** (2003). "Growth and pubertal development in Brahman-, Boran, Tuli-, Belgian Blue-, Hereford- and Angus-sired F1 bulls". *J. Anim. Sci.* **81**: 1414–1426.
- NICHOLSON, M.J.** (1986). "The cost of productivity and the potential benefits of 2 and 3 day watering of Boran cattle". *Ilca Bulletin* **25**: 2.
- OLIVER, J.** (1983). "Beef Cattle in Zimbabwe", 1890-1981. *Zimbabwe J. Agric.Res.* **21**: 1.
- PATTERSON D. J., CORAH L.R., BRETHOUR J.R., HIGGINS J. J., KIRACOFE G.H. AND STEVENSON J. S.** (1992). "Evaluation of reproductive traits in *Bos taurus* and *Bos indicus* crossbred heifers: relationship of age at puberty to length of the postpartum interval to estrus". *J. Anim. Sci.* **70**: 1994–1999.

- RANDEL, R. D.** (1994a). "Unique reproductive traits of Brahman and Brahman based cows". In: M.J. Fields and R.S. Sand (Ed). *Factors affecting Calf Crop*. P. 23. CRC Press, Boca Raton, Fl.
- RANDEL, R.D.** (1994b). "Reproductive Characteristics of the Brahman and Brahmanbased bull". In: M. J. Fields and R.S. Sand (Ed). *Factors Affecting Calf Crop*. P. 331. CRC Press, Boca Raton, Fl.
- RAO, R.A., BLANE A. AND GUSTAFSSON B.K.** (1980). "Changes in the morphology of abnormal and impaired spermatogenesis". *Theriogenology* **14**: 1.
- RENCHAV, Y. AND KOSTRZEWSKI. M. W.** (1991). "Relative resistance of six breeds to the tick *Boophilus decoloratus* in South Africa". *Onderstepoort J. Vet. Res.* **58**: 181.
- ROCHA, A. MANDHATE F. AND MCKINNON D.** (1990). "Reproductive performance of Nguni and Afrikaner cattle in Mozambique". *J. Anim. Sci.* **68**(Suppl.1): 332 (Abstr.).
- SANDERS, J.O., PASCHAL J.C. AND THALLMAN. R.M.** (1987). "Prewaning performance of Senepol-, Angus-, and Zebu- sired calves in Texas". *International Senepol Research Symposium* **1**: 75.
- SAS.** (1989). *User's Guide: Statistics*. Cary, NC. Statistical Analysis Institute Inc.
- SCHOEMAN, S. J.** (1989). "Recent Research into the production potential of indigenous cattle with special reference to the Sanga". *S. Afr. Tydskr. Veek* **19** :55.
- SCHOLTZ, M. M.** (1988). *Selection possibilities of hardy beef breeds in Africa: The Nguni example*. Proceedings of the 3rd World Congress in Sheep and Beef cattle Breeding. P. 303. Paris.
- TRAIL, J.C.M., SACKER J.D. AND FISHER. I.L.** (1971). Crossbreeding beef cattle in Western Uganda. 1. Performance of Ankole, Boran and Zebu cows. *Animal Production* **13**: 127.
- TRAIL, J.C.M., BUCK N. G., LIGHT D., RENNIE T.W., RUTHERFORD A., MILLER M. PRATCHETT AND DCAPPER B.S.** (1977). "Productivity of Africander, Tswana, Tuli and Crossbred cattle in Botswana". *Animal Production* **24** :57.
- TURNER, J.W.** (1980). Genetic and Biological Aspects of Zebu adaptability. *J. Anim. Sci.* **50**: 1201.
- WILLIAMS, G.L.** (1989). "Modulation of luteal activity in postpartum beef cows through changes in dietary lipids". *J. Anim. Sci.* **67**: 785.
- WOLF, F.R., ALMQUIST J.O. AND HALL E. B.** (1965). "Prepuberal changes and puberal Characteristics of beef bull high nutrition allowance". *J. Anim. Sci.* **24**: 761.

Listado preliminar de las aves terrestres en el municipio de Amacueca, Jalisco, México

María Marcela Güitrón López¹ y Marlene Anaya Cruz²

¹Laboratorio Laguna de Sayula, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Guadalajara., km. 15.5 Carretera a Nogales, Las Agujas, Zapopan., Jalisco. C.P. 45110. Correo electrónico: mguitron@cucba.udg.mx, m_anayacruz@yahoo.com.mx

Resumen

Con la finalidad de obtener un listado preliminar de las especies de aves terrestres, su distribución temporal y sus preferencias de hábitat en los ecosistemas aledaños a la Laguna de Sayula, se realizaron recorridos y observaciones en la diversidad de ambientes presentes y en los caminos cercanos a la cabecera municipal de Amacueca, Jalisco, México, ubicados entre los 1400 y 1800 msnm. El periodo de investigación fue de seis meses durante la época de reproducción de especies residentes (de marzo a agosto de 2002). Los resultados arrojaron un total de 104 especies de aves terrestres, comprendidas en 11 órdenes y 29 familias; 72 especies fueron residentes, 25 visitantes de invierno, 4 residentes de verano y 3 migratorias transitorias. Cabe mencionar que tres presentaron estatus de protección especial. El orden mayormente representado fue el de los Passeriformes con 74 especies, seguido de los órdenes Falconiformes y Columbiformes con 6, y el resto de los órdenes con menos de 4 especies. Se observó una mayor riqueza de especies en áreas con bosque espinoso, seguido de zonas con cultivos, nogales y pitayeras. Estos ecosistemas ofrecen condiciones de refugio y alimento para las aves terrestres a pesar de las modificaciones antropogénicas que presentan por el cambio de uso del suelo, principalmente a zonas de cultivo.

Palabras clave: Listado, aves terrestres, Laguna de Sayula, Amacueca.

Abstract

With the purpose of obtaining a preliminary listing of birds, their seasonal distribution and habitat preferences among the ecosystems surrounding the lagoon of Sayula several tours and observations were conducted among the diversity of settings present in the area, and the roads near the municipality of Amacueca, Jalisco, Mexico; these being located between 1400 and 1800 meters above sea level. The investigation lasted 6 months during the reproduction period of resident species (march to august 2002). The results registered a total of 104 species of birds comprised of 11 orders, 29 families; 72 species were residents, 25 winter visitors, 4 summer residents, 3 transitional and 3 with special protection status. The predominant order was the Passeriforms with 74 species, followed by Falconiforms and Columbiforms with 6, and with less than 4 species the rest of the orders. A richness of species was observed in the thorny wooded areas, followed by the agricultural zones, nogales and pitaya fields. These ecosystems offer both shelter and food for the birds despite the anthropogenic modifications due to the change of soil use, principally agricultural.

Keywords: listing, terrestrial birds, lagoon of Sayula, Amacueca.

Introducción

México es un país megadiverso en donde se concentra cerca del 10% de la diversidad biológica de la tierra (Mittermeier y Goettsch Mittermeier 1997). En el caso de los animales, las cifras de nuestro país sobresalen, tanto por el número de especies, como por la proporción de estas con relación al total mundial y particularmente por cuanto representan en términos de endemismos (Arizmendi en: Gómez de Silva & Oliveras de Ita 2003).

En cuanto a aves ocupamos el décimo lugar a nivel mundial con 1,076 especies (Ceballos et al. 2000). Al-

rededor de 100 especies, esto es el 10% del total, son endémicas. Las áreas en donde se concentran estas especies son la selva baja caducifolia de la vertiente del Pacífico de México, las zonas áridas y semi-áridas del centro de México y el Eje Neovolcánico Transversal (Escalante et al. 1993; Ceballos et al. 2000). De estas especies, el 50% están catalogadas en alguna categoría de riesgo (Ceballos et al. 2000).

A pesar del hecho de que los muestreos y descripciones ornitológicas tienen un historial extenso en el país (Escalante et al. 1993), no existe información

detallada de la avifauna de cada entidad federativa. El estado de Jalisco, considerado sexto lugar por su diversidad de vertebrados mesoamericanos y séptimo por el número de endémicos estatales en México (Flores-Villela y Gerez 1988; Flores-Villela y Gerez 1994) cuenta con pocos listados completos de su fauna. Los primeros listados de la avifauna terrestre publicados para el estado de Jalisco fueron los de Amparán-Salido (1993) y Palomera et al. (1994), así como una lista en internet (Reyna-Bustos y Thomson 1988).

Para el estado de Jalisco se reportan 554 especies de aves, de 73 familias. Este es el listado con más especies reportadas a la fecha para el estado. Adicionalmente se incluyen 22 especies accidentales, ocho consideradas extirpadas y tres que se han establecido exitosamente como especies introducidas, que sumadas al valor inicial dan un total de 587. De este número, 15 son registros nuevos para el estado. El 9% lo constituyen especies endémicas a México. Las aves son principalmente de origen neártico, aunque las especies residentes son principalmente tropicales. Una tercera parte de las aves del estado son migratorias o residentes de invierno, lo que confirma la importancia de esta región para las especies migratorias neotropicales (Palomera et al. 2007).

Las primeras publicaciones “modernas” en las que se reportan listados de aves para el estado fueron las de Friedman et al. (1950), Griscom (1950), Blake (1953) y Miller et al. (1957). Sin embargo son los trabajos de Zimmerman y Harry (1951), Arellano y Rojas (1956), Selander y Giller (1959) y Schaldach (1963; Schaldach 1969) los que presentan resultados de observaciones y/o colectas en regiones específicas del estado. Por otra parte, a partir de la década de 1970, con la creación de diversas instituciones de investigación, así como el desarrollo de investigaciones, tesis y trabajos técnicos de ordenamiento territorial y manejo de recursos naturales, el conocimiento sobre la distribución, la historia natural y la ecología de la avifauna en el estado han aumentado considerablemente (Palomera et al. 2007).

Han sido pocos los trabajos realizados y publicados respecto a estudios de flora y fauna en la Laguna de Sayula y sus alrededores. Las escasas publicaciones que existen han sido trabajos de tesis como los de Buenrostro (1992), que realizó un estudio reproductivo del pato pijije utilizando cajones de anidación, Delgadillo (1995) con la identificación y censo de la avifauna migratoria y residente de la Laguna de Sayula, Jalisco, Villegas (1995) con un estudio de la vegetación de la Laguna de Sayula, Jalisco, México, así como un listado de la avifauna del vaso lacustre Laguna de Sayula, publicado en internet por Güitrón et al. (2008), y algunas publicaciones científicas como las de Huerta et al. (1999) y Munguía et al. (2005).

Este trabajo es el primero que documenta parte de la riqueza avifaunística de los ecosistemas aledaños a la Laguna de Sayula, caso del municipio de Amacueca, Jalisco.

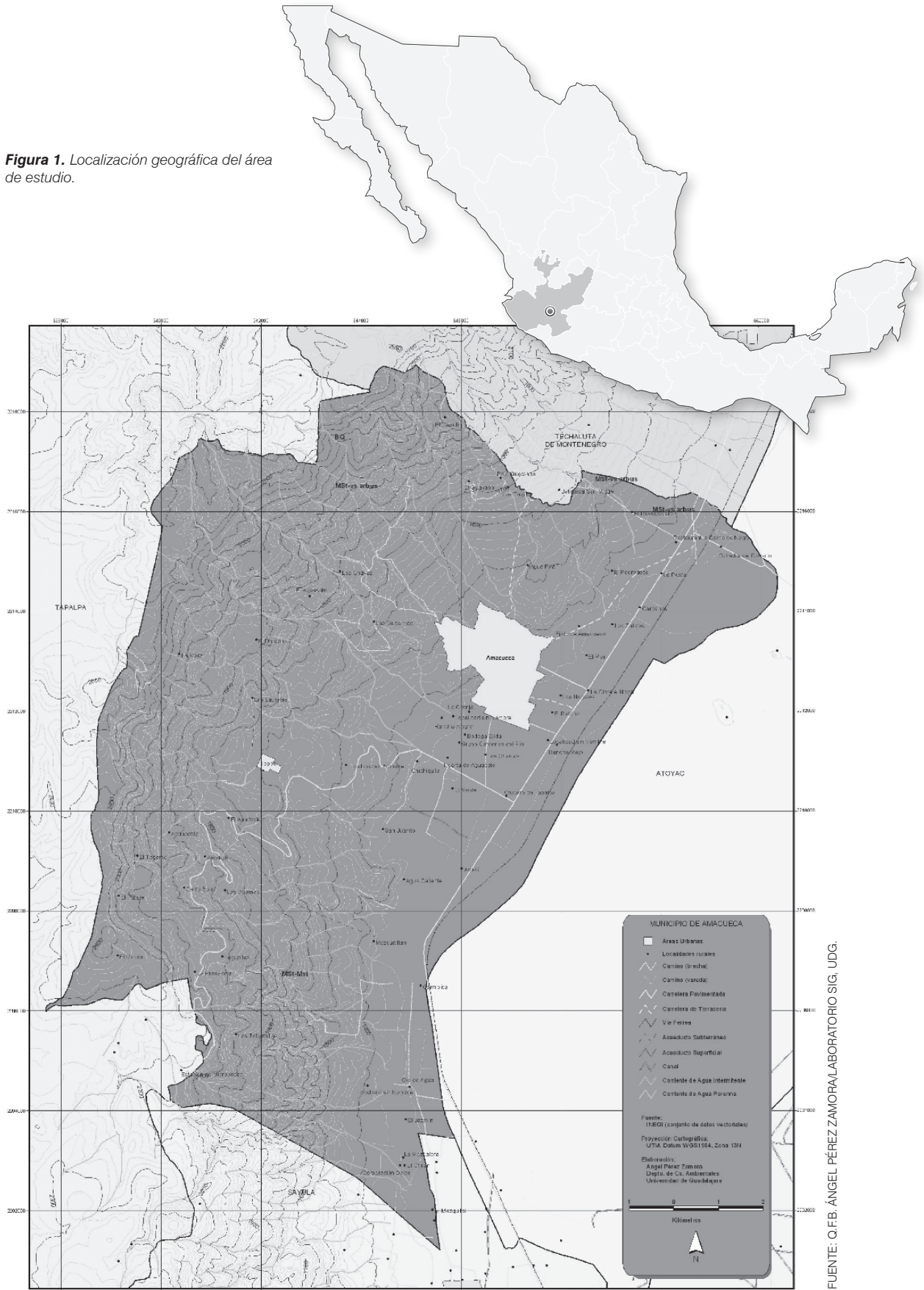
Los listados de especies de flora y fauna además de servir como medio de divulgación de la riqueza biológica de un área determinada son la primera herramienta utilizada, en muchos casos, para la toma de decisiones de conservación y manejo, así como para localizar los vacíos y necesidades de investigación existentes. Por otra parte, los listados son útiles para monitorear los cambios en la composición de la fauna y flora de un lugar como consecuencia de las modificaciones de su entorno debido a las actividades humanas (Palomera et al. 2007).

Dada la importancia de la subcuenca de Sayula como refugio de vida silvestre y a pesar de que el vaso lacustre cuenta un nombramiento internacional como sitio Ramsar por su importancia como refugio de aves acuáticas migratorias, no se cuenta con un inventario sobre la diversidad avifaunística de las zonas aledañas. El presente estudio busca contribuir al conocimiento de la avifauna del municipio de Amacueca, Jalisco, presentando un listado preliminar de la riqueza de aves terrestres en los ecosistemas aledaños a la Laguna de Sayula.

Materiales y métodos

El municipio de Amacueca (“Agua que vuelve” en Náhuatl) se localiza al sureste del estado de Jalisco entre las coordenadas 19° 56’ 15” y 20° 04’ 10” latitud norte, y 103° 32’ 30” a 103° 40’ 00” longitud oeste, y a 1,800 msnm (figura 1). Limita al norte con el municipio de Techaluta, al oriente con el de Atoyac, al poniente con el de Tapalpa y al sur con el de Sayula, y tiene una extensión territorial de 147.38 km². El perfil del municipio es, en mayor proporción, de tierras planas con alturas entre 1,750 y 1,800 msnm; las tierras semiplanas son lomas y laderas de los cerros existentes con alturas de entre 1,800 y 2,000 msnm. El clima se ha clasificado como semiseco con primavera seca y semicálida, sin estación invernal definida. Su temperatura media anual es de 28.5 °C y la precipitación media es de 578.3 milímetros, con régimen de lluvias en los meses de junio, julio y agosto. El promedio de días con heladas al año es de cuatro. Su hidrografía pertenece a la cuenca del Pacífico Centro, subcuenca Laguna de Sayula, cuenca cerrada que no tiene corrientes importantes; los principales arroyos son: La Barranca, Santiago, La Carbonera, La Alianza, y los manantiales Las Moreras, San Juan Amacueca, Las Guasimas y Agua de Santiago. La composición del suelo corresponde a los del tipo feozem háplico, asociados cambisol crómico y acrisol órtico. El área

Figura 1. Localización geográfica del área de estudio.



situada al noroeste del municipio y perteneciente a las inmediaciones de la sierra de Tapalpa se cubre generalmente de nopal, roble y pino. Las laderas están cubiertas por bosque espinoso, siendo las especies más comunes huizache, palo dulce, grangeno, nopal, mezquite y frutales. La riqueza natural con que cuenta el municipio está representada por 2,108 hectáreas de bosque donde predominan especies de nogal, encino y pino. La mayor parte del suelo es de uso agrícola, y destacan las huertas de pitaya y las pitayeras naturales. En cuanto a la tenencia de la tierra predomina, en proporción, la propiedad privada (<http://www.amacueca.jalisco.gob.mx/amacuecaFis.html>).

Para la obtención del listado preliminar de las aves del municipio de Amacueca se realizaron visitas diarias durante un periodo de seis meses (marzo a agosto del 2002), que cubrió la etapa reproductiva de las especies residentes, y el inicio del arribo de las especies migratorias invernales. Los sitios de muestreo fueron seleccionados con base en la heterogeneidad ambiental, tratando de enumerar los tipos de vegetación de la zona en las dos estaciones del año en las que se realizó el estudio (primavera- verano), desde los 1,400 hasta los 1,766 msnm. Se utilizó el método de muestreo por puntos, el cual consta de observaciones visuales en campo por caminos, carreteras, senderos preexistentes y a campo abierto. La determinación se llevó a cabo mediante el uso de binoculares 7×35 y 10×50, y con el apoyo de las guías de campo de Peterson y Chalif (1989), National Geographic Society (1999); Howell y Webb (2001); y Sibley (2001). También se consideraron los registros auditivos. La taxonomía se basó en el "Check-list" de la American Ornithologists' Union (1998). Cada especie registrada se clasificó de acuerdo con su presencia estacional en la zona con base en Howell y Webb (2001); las categorías asignadas fueron: visitante de invierno, residente de verano, migratoria transitoria y residente. El estado de conservación se obtuvo consultando la NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT 2002). Se recopiló información bibliográfica para determinar el gremio alimenticio (De Graff et al. 1985) en el cual se ubicaba cada especie.

Resultados

Se obtuvo una lista de 104 especies de aves terrestres, pertenecientes a 11 órdenes y 29 familias (cuadro 1). De las 104 especies 78 fueron residentes, 25 visitantes de invierno, 4 residentes de verano y 3 migratorias transitorias; 3 especies, del orden Falconiformes, presentaron estatus de protección de acuerdo a la NOM-059-ECOL-2001 (SEMARNAT 2002) con la categoría sujetas a protección especial (*Accipiter cooperii*, *Buteo albicaudatus* y *B. albonotatus*). El orden mayor-

mente representado fue el de los Passeriformes con 74 especies, seguido de los órdenes Falconiformes y Columbiformes con seis especies cada uno, Apodiformes y Piciformes con cuatro especies, Cathartidae, Cuculiformes y Strigiformes con dos cada uno, y Galliformes, Caprimulgiformes y Coraciiformes con una especie. En cuanto a las familias que presentaron el mayor número de especies fueron la Tyrannidae (mosqueros, papamoscas, luises y tiranos) con 13 especies, posteriormente la familia Parulidae (chipes) con 12 especies, seguido de la familia Emberizidae (semilleros, rascadores y gorriones) con 10 especies. Las especies visitantes de invierno reportaron valores bajos en riqueza ya que el estudio no comprendió la temporada de migración invernal. La curva de acumulación de especies no mostró un comportamiento asintótico, que era de esperarse, ya que el periodo de muestreo cubrió solamente la mitad del ciclo anual, por lo que se puede afirmar que el muestreo aún está incompleto y la curva indica que pueden encontrarse más especies en cada sitio.

Uso de hábitat

Las zonas donde se llevaron a cabo las observaciones correspondieron a huertas con plantaciones de nogal (nogaleras), café y árboles frutales, bosque espinoso, huertas de pitaya y pitayeras naturales, y zonas con cultivos de maíz, agave y alfalfa. Las localidades visitadas fueron el ejido de Amacueca, Agua Fría, Barranca de San Miguel, El Guayabo, Los Trujillo, Palo quemado, Las Guázimas, Los Nogales. Hubo presencia de agua en pequeñas presas y canales para riego que atraviesan las nogaleras, así como en escurrimientos naturales durante la temporada de lluvias que confluía durante el estudio.

De acuerdo a las preferencias de uso del hábitat, de las 104 especies de aves determinadas, 78 especies fueron observadas en bosque espinoso, 58 en zonas con cultivos, 39 especies se observaron en nogaleras, y 30 en pitayeras. Aproximadamente el 50% de las aves no tienen preferencia de hábitat ya que fueron observadas en diferentes ambientes. Existen especies que claramente muestran preferencia por cierto tipo de ambientes, como la Codorniz cotuí norteña (*Colinus virginianus*), Paloma perdiz común (*Leptotila verreauxi*) y el Chipe amarillo norteño (*Dendroica petechia*) que se observaron únicamente en bosque espinoso, y el Momoto coronicafé (*Momotus mexicanus*) y la Tangara aliblanca migratoria (*Piranga ludoviciana*) observados en nogaleras. Las especies que se observaron en los cuatro ambientes fueron la Tórtola colilarga, el Mosquero cardenalito, el Papamoscas copetón gorjiceno, el Luis bienteveo, el Troglodita saltapared, el Picogruaso azul, y el Bolsero cuculado.

Cuadro 1. Especies de aves registradas en el municipio de Amacueca, Jalisco. Se indica el gremio alimenticio (G.A.): C carnívora, F frugívora, G granívora, I insectívora, N nectarívora, O omnívora; su estacionalidad (E) en la zona: VI visitante de invierno, R residente, RV residente de verano, MT migratoria transitoria, sensu Howell y Webb 2001; y el hábitat donde se registró la especie: NO nogalera, BE bosque espinoso, CU cultivos, PI pitayera.

ORDEN/FAMILIA/Especie	NOMBRE COMÚN	G.A.	E	HÁBITAT
GALLIFORMES				
ODONTOPHORIDAE				
<i>Colinus virginianus</i>	Codorniz cotuí norteña	G	R	BE
CATHARTIDAE				
<i>Cathartes aura</i>	Aura común	C	R	BE, CU
<i>Coragyps atratus</i>	Carroñero común	C	R	BE, CU
FALCONIFORMES				
ACCIPITRIDAE				
<i>Elanus leucurus</i>	Milano coliblanco	C	R	BE
<i>Accipiter cooperii</i>	Gavilán pechirrufo mayor	C	VI	BE, CU, PI
<i>Buteo albicaudatus</i>	Aguililla coliblanca	C	R	BE, CU, PI
<i>Buteo albonotatus</i>	Aguililla aura	C	VI	BE, CU
<i>Buteo jamaicensis</i>	Aguililla colirrufa	C		BE, CU, PI
FALCONIDAE				
<i>Falco sparverius</i>	Cernícalo común	C	R	BE, CU
COLUMBIFORMES				
COLUMBIDAE				
<i>Columbina inca</i>	Tórtola colilarga	G	R	NO, BE, CU, PI
<i>Columbina passerina</i>	Tortolita pechipunteada	G	R	BE
<i>Columbina minuta</i>	Tortolita pechilisa	G	R	BE
<i>Zenaida asiatica</i>	Paloma aliblanca	G, F	R	BE, CU, PI
<i>Zenaida macroura</i>	Paloma huilota	G	R	CU
<i>Leptotila verreauxi</i>	Paloma perdiz común	G, F	R	BE
CUCULIFORMES				
CUCULIDAE				
<i>Geococcyx velox</i>	Correcaminos tropical	I	R	BE, CU
<i>Crotophaga sulcirostris</i>	Garrapatero pijuy	I	R	BE, CU, PI
STRIGIFORMES				
TYTONIDAE				
<i>Tyto alba</i>	Lechuza del campanario	C	R	NO, BE
STRIGIDAE				
<i>Ciccaba virgata</i>	Búho tropical	C	R	NO, BE
CAPRIMULGIFORMES				
CAPRIMULGIDAE				
<i>Chordeiles acutipennis</i>	Chotacabra halcón	C	R	NO, BE

ORDEN/FAMILIA/Especie	NOMBRE COMÚN	G.A.	E	HÁBITAT
APODIFORMES				
TROCHILIDAE				
<i>Colibri thalassinus</i>	Chupaflor orejivioleta verde	N	R	NO, BE
<i>Amazilia beryllina</i>	Amazilia alicastaña	N	R	NO, BE
<i>Amazilia violiceps</i>	Amazilia occidental	N	R	BE
<i>Selasphorus rufus</i>	Colibrí colicanelo rufo	N	VI	BE
CORACIIFORMES				
MOMOTIDAE				
<i>Momotus mexicanus</i>	Momoto coronicafé	F, G	R	BE
PICIFORMES				
PICIDAE				
<i>Melanerpes formicivorus</i>	Carpintero arlequin	I	R	NO
<i>Melanerpes uropygialis</i>	Carpintero pechileonado desértico	I	R	NO, BE, PI
<i>Melanerpes aurifrons</i>	Carpintero pechileonado común	I	R	BE, CU, PI
<i>Picoides scalaris</i>	Carpinterillo mexicano	I	R	BE, CU, PI
PASSERIFORMES				
DENDROCOLAPTIDAE				
<i>Sittasomus griseicapillus</i>	Trepador olivaceo	I	R	BE, CU, PI
TYRANNIDAE				
<i>Empidonax albigularis</i>	Empidonax gorjiblanco	I	R	BE, PI
<i>Sayornis saya</i>	Mosquero llanero	I	VI	NO
<i>Phyocephalus rubinus</i>	Mosquero cardenalito	I	R	NO
<i>Myiarchus tuberculifer</i>	Papamoscas copetón triste	I	R	NO
<i>Myiarchus cinerascens</i>	Papamoscas copetón gorjiceno	I	VI	NO
<i>Myiarchus nuttingi</i>	Papamoscas de Nutting	I	R	NO, BE
<i>Myiarchus tyrannulus</i>	Papamoscas copetón tiranillo	I	R	NO, BE
<i>Pitangus sulphuratus</i>	Luis bienteveo	O	R	NO, BE
<i>Myiodynastes luteiventris</i>	Papamoscas rayado cejiblanco	I	RV	NO, BE, PI
<i>Tyrannus melancholicus</i>	Tirano tropical común	I	R	NO, BE, CU
<i>Tyrannus vociferans</i>	Tirano gritón	I	R	NO
<i>Tyrannus verticalis</i>	Tirano pálido	I	MT	BE, PI

Cuadro 1. (Continuación) Especies de aves registradas en el municipio de Amacueca, Jalisco. Se indica el gremio alimenticio (G.A.): C carnívora, F frugívora, G granívora, I insectívora, N nectarívora, O omnívora; su estacionalidad (E) en la zona: VI visitante de invierno, R residente, RV residente de verano, MT migratoria transitoria, sensu Howell y Webb 2001; y el hábitat donde se registró la especie: NO nogalera, BE bosque espinoso, CU cultivos, PI pitayera.

ORDEN/FAMILIA/Especie	NOMBRE COMÚN	G.A.	E	HÁBITAT
<i>Pachyrampus aglaiae</i>	Mosquero cabezón piquigrueso	FG	R	BE,CU
LANIIDAE				
<i>Lanius ludovicianus</i>	Verdugo americano	C	R	NO,BE,CU,PI
VIREONIDAE				
<i>Vireo hypochryseus</i>	Vireo dorado	I	R	NO
<i>Vireo gilvus</i>	Vireo gorjeador	I	R	NO,PI
<i>Vireo flavoviridis</i>	Vireo amarillo verdoso	I	RV	NO
CORVIDAE				
<i>Corvus corax</i>	Cuervo grande ronco	G,FI	R	NO,BE,CU
HIRUNDINIDAE				
<i>Tachycineta bicolor</i>	Golondrina canadiense	I	VI	BE,CU
<i>Petrochelidon pyrrhonota</i>	Golondrina risquera	I	RV	CU
<i>Hirundo rustica</i>	Golondrina tijereta	I	R	NO,CU,PI
TROGLODYTIDAE				
<i>Catherpes mexicanus</i>	Troglodita saltapared	I	R	NO,BE,CU,PI
<i>Thryothorus sinaloa</i>	Troglodita sinaloense	I	R	BE,CU
<i>Thryomanes bewickii</i>	Troglodita colinegro	I	R	NO,BE,CU,PI
<i>Thryothorus felix</i>	Troglodita feliz	I	R	NO,BE
SYLVIIDAE				
<i>Polioptila caerulea</i>	Perlita grisilla	I	R	NO
<i>Polioptila albiloris</i>	Perlita Cejiblanca	I	T	BE,CU
TURDIDAE				
<i>Catharus aurantirostris</i>	Zorzalito piquinaranja	I,G	R	NO
<i>Turdus rufopalliatus</i>	Zorzal dorsicanelo	I,F	R	NO,BE,CU
<i>Turdus migratorius</i>	Zorzal petirrojo	I,F	R	NO,BE,CU
MIMIDAE				
<i>Mimus polyglottos</i>	Cenzontle aliblanco	G,FI	R	NO,BE,CU,PI
<i>Toxostoma curvirostre</i>	Cuitlacoche común	O	R	BE,CU,PI
<i>Melanotis caerulescens</i>	Mulato común	O	R	NO
PARULIDAE				
<i>Vermivora celata</i>	Chipe corona-naranja	I,F	VI	NO
<i>Vermivora ruficapilla</i>	Chipe de Nashville	I	VI	NO
<i>Vermivora virginiae</i>	Chipe gorrigris pechiamarillo	I	VI	BE,CU
<i>Vermivora luciae</i>	Chipe rabadillicastaño	I	VI	CU,PI
<i>Dendroica petechia</i>	Chipe amarillo norteño	I	RV	BE

ORDEN/FAMILIA/Especie	NOMBRE COMÚN	G.A.	E	HÁBITAT
<i>Dendroica coronata</i>	Chipe rabadilla amarilla	I	VI	BE,CU
<i>Dendroica nigrescens</i>	Chipe negrigrís	I	VI	BE
<i>Dendroica occidentalis</i>	Chipe negriamarillo occidental	I	VI	CU
<i>Mniotilta varia</i>	Chipe trepador	I	VI	CU
<i>Geothlypis trichas</i>	Mascarita común	I	R	BE,CU
<i>Wilsonia pusilla</i>	Chipe de Wilson	I	VI	BE,PI
<i>Icteria virens</i>	Chipe piquigrueso	I	MT	BE,PI
THRAUPIDAE				
<i>Piranga ludoviciana</i>	Tangara aliblanca migratoria	I,F	VI	NO
EMBERIZIDAE				
<i>Volatinia jacarina</i>	Semillerito brincador	G	R	CU
<i>Sporophila torqueola</i>	Semillerito collarajo	G	R	BE,CU,PI
<i>Arremonops rufivirgatus</i>	Rascadorcito cabeza rufirrayada	I,G	R	BE,CU
<i>Melospiza kieneri</i>	Rascadorcito coronirrufo	G	R	BE,PI
<i>Pipilo fuscus</i>	Rascador pardo	G	R	NO,BE,CU
<i>Diglossa baritula</i>	Mielero serrano	N	R	NO,BE,CU
<i>Aimophila ruficauda</i>	Gorrión cachetinegro tropical	I	R	BE,CU,PI
<i>Aimophila quinquestrata</i>	Zacatonero de cinco rayas	I	R	BE
<i>Chondestes grammacus</i>	Gorrión arlequín	G	VI	BE,CU
<i>Zonotrichia leucophrys</i>	Gorrión gorriflanco			BE,CU,PI
CARDINALIDAE				
<i>Pheucticus melanocephalus</i>	Colorín azul	G	VI	CU
<i>Cyanocompsa parellina</i>	Gorrión gorriflanco	O	VI	BE,CU,PI
<i>Passerina caerulea</i>	Picogrueso azul	G	VI	BE,CU,PI
<i>Passerina amoena</i>	Colirín lazulita	I	R	NO
<i>Passerina cyanea</i>	Colorín azul	I,G	VI	CU
<i>Passerina versicolor</i>	Colorín morado	O	VI	NO, BE
ICTERIDAE				
<i>Euphagus cyanocephalus</i>	Tordo ojiclaro	O	R	BE,CU
<i>Quiscalus mexicanus</i>	Zanate mexicano	G	VI	BE,CU
<i>Molothrus aeneus</i>	Tordo ojirrojo	O	R	BE,CU
<i>Molothrus ater</i>	Picogrueso pechicafé	G,I	R	NO
<i>Icterus wagleri</i>	Bolsero de Wagler	G,I	R	NO,BE

Cuadro 1. (Continuación) Especies de aves registradas en el municipio de Amacueca, Jalisco. Se indica el gremio alimenticio (G.A.): C carnívora, F frugívora, G granívora, I insectívora, N nectarívora, O omnívora; su estacionalidad (E) en la zona: VI visitante de invierno, R residente, RV residente de verano, MT migratoria transitoria, sensu Howell y Webb 2001; y el hábitat donde se registró la especie: NO nogalera, BE bosque espinoso, CU cultivos, PI pitayera.

ORDEN/FAMILIA/Especie	NOMBRE COMÚN	G.A.	E	HÁBITAT
<i>Icterus spurius</i>	Bolsero castaño	O	R	NO,BE
<i>Icterus cucullatus</i>	Bolsero cuculado	O	I	NO,BE,CU,PI
<i>Icterus pustulatus</i>	Bolsero pustulado	O	VI	BE,CU
FRINGILIDAE				
<i>Euphonia elegantissima</i>	Eufonia gorriázul	O	R	BE
<i>Carpodacus mexicanus</i>	Carpodaco doméstico	G	R	BE,CU
<i>Carduelis psaltria</i>	Jilguero dorsioscuro	G	R	BE,CU,PI
PASSERIDAE				
<i>Passer domesticus</i>	Gorrión doméstico	O	R	BE,CU

Cabe mencionar que se han observado individuos de la especie acuática *Dendrocygna autumnalis* (pato pijije aliblanco) de la familia Anatidae, anidando en los árboles de las huertas de nogal.

Se debe hacer notar que las nogaleras representan un sitio favorable para las aves presentando vegetación densa y diversidad de estratos, que aunque en estas no se registró la mayor riqueza de especies de aves, sí se observó gran actividad. El estrato más bajo de las nogaleras se conforma, entre otros arbustos, por plantas de chile y cafetos, el estrato medio por arrayanes, granados, ciruelos y cítricos, y el estrato alto por árboles de mango y nogales, entre otros.

Las pitayeras presentaron la menor riqueza de especies, lo que se supone fue por la menor complejidad estructural del medio, sin embargo en temporada de floración se observó mayor actividad de especies nectarívoras, y durante la fructificación la mayor presencia de especies frugívoras.

Gremios alimenticios

Se clasificaron las especies de aves terrestres en gremios alimenticios ubicándose en seis, de los cuales el gremio mejor representado correspondió a las especies insectívoras con 56 especies, seguido de las granívoras con 23, carnívoras y frugívoras con 13 cada uno, omnívoras con 10, y en menor cantidad las nectarívoras con cinco especies.

En los cuatro ambientes dominaron las especies insectívoras; en segundo lugar en el bosque espinoso se presentaron las granívoras seguidas de las carnívoras; en las pitayeras se observaron en mayor número,

después de las insectívoras, las especies frugívoras seguidas de las nectarívoras; en las zonas con cultivo siguieron las especies granívoras; y en las nogaleras las frugívoras seguidas de las especies granívoras.

Discusión

Los listados de especies sirven para divulgar la riqueza biológica de un área determinada y son la primera herramienta utilizada, en muchos casos, para la toma de decisiones de conservación y manejo. La riqueza de especies obtenida en este trabajo corresponde al 18.8% del total de especies reportadas para Jalisco (Palomera et al. 2007).

Del total de especies observadas tres especies presentaron estatus de protección, correspondiendo estas al orden Falconiformes, lo que enfatiza la importancia del sitio para las aves rapaces, además de que este orden fue el segundo en número de especies, después de los Passeriformes.

Las aves insectívoras fueron las que presentaron el mayor número de especies, destacando su importancia ya que cumplen una función muy importante dentro del ecosistema como controladoras de plagas, así como su mayor adaptación a variedad de hábitat.

De acuerdo a las preferencias de uso del hábitat el 75% de las especies de aves determinadas fueron observadas en bosque espinoso, el 56% en zonas de cultivos, el 37% en huertas de nogal, y el 29% en pitayeras. Lo anterior hace evidente la importancia de las áreas con bosque espinoso, ya que proporcionan refugio y representan zonas de alimentación y anidación a la mayoría de las especies de aves terrestres del área. Sin embargo, esta zona está siendo afectada por actividades antropogénicas, siendo la principal amenaza observada en este caso la desaparición del hábitat por el cambio de uso del suelo a monocultivos, principalmente por plantaciones de agave.

Indirectamente las actividades de índole antropogénico han llevado a muchas especies a la extinción o a la severa disminución de las poblaciones, siendo uno de los principales factores la destrucción de sus ambientes naturales y la fragmentación de estos (Opdam et al. 1994). Los efectos de la fragmentación sobre las poblaciones de aves se deben a la alteración de los procesos ecológicos espaciales, como la dispersión y los movimientos a través de los paisajes, y algunas veces se adiciona el efecto de la pérdida de la calidad de hábitat (Saunders et al. 1991).

Uno de los ambientes donde se registró la mayor actividad avifaunística fueron las huertas de nogal, y recalamos la importancia de conservar estas zonas como sitios de alimentación, refugio y anidación de las aves, no solo terrestres, sino de algunas especies acuáticas de hábitos arborícolas. Sin embargo a raíz

del crecimiento demográfico, los diferentes usos del suelo del municipio de Amacueca (vivienda, agropecuaria, pastizal) y el uso del agua se han diversificando, aunado a la erosión y deforestación de las partes altas del municipio, provocando que los nacimientos de agua redujeran su capacidad de producción de agua, por lo que el municipio empezó a sufrir, desde la década de los sesenta, su carencia, principalmente en la temporada de estiaje. De continuar con las tendencias, para el año 2020 a 2030, Amacueca perdería casi todas las huertas de nogal, tendría serios problemas de abastecimiento de agua y afectación de su riqueza ecológica y de su biodiversidad. Por lo que se requiere de una solución integral para resolver el problema del agua y propiciar un desarrollo sustentable (Proyecto estratégico de desarrollo rural sustentable para el municipio de Amacueca 2007).

Sin duda, la riqueza de especies en general, son criterios comúnmente utilizados para la designación de áreas prioritarias para la conservación (Arizmendi y Márquez 2000; Ceballos et al. 2002). Resaltamos la importancia de la subcuenca de Sayula como una cuenca hidrográfica en la que todos están interconectados (agua, flora, fauna, gente), de manera que las actividades llevadas a cabo aguas arriba repercuten aguas abajo, aún en lugares distantes.

Conclusiones

La importancia de la subcuenca de Sayula para la vida silvestre radica en que representa un sitio favorable para las aves, ya que ofrece condiciones de refugio, anidación, alimentación y descanso a especies de aves residentes y migratorias a pesar de presentar disturbios, principalmente por el cambio del uso de suelo a zonas de cultivo, por la retención y desvío de los escurrimientos naturales de agua y por la contaminación por descargas municipales.

Este trabajo representa una primera contribución al conocimiento de las aves en los ecosistemas aledaños a la Laguna de Sayula, la que a pesar de ser un humedal de importancia internacional había sido relativamente olvidada, y resaltamos la importancia de continuar realizando inventarios biológicos en esta región y sus alrededores que nos permitan conocer registros nuevos de la avifauna, así como el estado de conservación de sus especies, lo que proporcionará un panorama mucho más completo para conservar la biodiversidad de esta porción del estado de Jalisco.

Agradecimientos

Agradecemos al Q.F.B. Ángel Pérez Zamora, del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agrope-

cuarias, de la Universidad de Guadalajara por proporcionarnos los mapas para este trabajo.✉

Referencias

- AMERICAN ORNITHOLOGISTS' UNION (1998). *Check-list of North American birds*. 7th. edition. American Ornithologists' Union, Washington, D.C.
- AMPARÁN-SALIDO, R. (1993). Fauna Silvestre. p. 53-69 en: *Los Recursos Naturales de Jalisco. Plan Estatal de Protección al Ambiente*. Gobierno del Estado de Jalisco, Comisión Estatal de Ecología. Guadalajara, Jalisco, México.
- ARELLANO, M. Y ROJAS, P. (1956). *Aves acuáticas migratorias en México*. Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables, A.C. México, D.F.
- ARIZMENDI, M. C. (2003). Estableciendo prioridades para la conservación de las aves. p. 133-149 en: H. Gómez de Silva. y A. Oliveras de Ita. (eds). *Conservación de aves. Experiencias en México*. CIPAMEX, National Fish and Wildlife Foundation, CONABIO. México. 408 p.
- ARIZMENDI, M. C. Y MÁRQUEZ, L. V. (EDS.). (2000). *Áreas de importancia para la conservación de las aves de México*. CONABIO, México, D.F. 440 p.
- BUENROSTRO, L.M.A. (1992). *Contribución al estudio reproductivo del pato pijije aliblanco (Dendrocygna autumnalis), Familia Anatidae*. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco.
- BLAKE, E. R. (1953). *Birds of Mexico: a guide for field identification*. The University of Chicago Press. Chicago, USA.
- CEBALLOS, G., ARIZMENDI, M. C. Y MÁRQUEZ-VALDELMAR, L. (2000). La diversidad y Conservación de las Aves de México. p 23-68 en: (G. Ceballos y L. Márquez, coords.). *Las aves de México en peligro de extinción*. Instituto de Ecología - CONABIO - Fondo de Cultura Económica. México, D.F.
- CEBALLOS, G. H., GÓMEZ DE SILVA Y ARIZMENDI, M. C. (2002). Áreas prioritarias para la conservación de las aves de México. *Biodiversitas* 6: 2-7.
- DE GRAFF, R.M., TILCHMAN, N. G. Y ANDERSON S. H. (1985). "Foraging guilds of North American Birds". *Environmental Management* 9(6): 493-536.
- DELGADILLO, V. A. (1995). *Identificación y censo de la avifauna migratoria y residente de la Laguna de Sayula, Jalisco*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de Guadalajara. México.
- ESCALANTE, P., NAVARRO A. G. Y PETERSON A. T. (1993). A geographic, historical and ecological analysis of avian diversity in Mexico. P 281-307 en: T. P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa. (eds.) *The biological diversity of Mexico: origins and distribution*. Oxford University Press, New York.

- FLORES-VILLELA, O. Y P. GEREZ. (1988). *Conservación en México: síntesis sobre vertebrados terrestres, vegetación y uso del suelo*. INIREB-Conservación Internacional, Xalapa, Veracruz.
- FLORES-VILLELA, O. Y P. GEREZ. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. CONABIO-UNAM. México, D.F.
- FRIEDMANN, H., GRISCOM L., Y MOORE R. T. (1950). "Distributional check-list of the birds of Mexico". Part I. *Pacific Coast Avifauna* 29: 1–202.
- GRISCOM, L. (1950). "Distribution and origin of the birds of Mexico". *Bull. Mus. Comp. Zool.* 103: 341–382.
- GÜITRÓN, L. M. Y BARBA, C. G., BÁEZ, M. O., ESTRADA, S. Y., VÁZQUEZ, R. C. (2008). *Aves de la Laguna de Sayula*. Página electrónica del Laboratorio Laguna se Sayula. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Universidad de Guadalajara. http://www.cucba.udg.mx/sitiosinteres/sayula/jpg/listado_2008.pdf. Fecha de consulta: 23 de febrero del 2009.
- HOWELL, S.N.G. Y S. WEBB. (2001). *A Guide to the Birds of Mexico and Northern Central America*. Oxford University Press, New York. 851 p.
- HUERTA, M. F. M., GARCÍA, M. E., FLORES, F. J. L. Y PIMIENTA, B. E. (1999). "Ordenación de las poblaciones silvestres de pitayo y cardón en la Cuenca de Sayula, Jalisco". *Bol. Soc. Bot. Mex.* 64: 11–24.
- MILLER, A. H., FRIEDMANN H., GRISCOM L. Y MOORE, R. T. (1957). "Distributional check-list of the birds of Mexico". Part 2. *Pacific Coast Avifauna* 33: 1–436.
- MITTERMEIER, R. Y GOETTSCHE MITTERMEIER, C. (1997). *Megadiversidad. Los países biológicamente más ricos del mundo*. CEMEX. México. D.F.
- MUNGUÍA, P., LÓPEZ, P. Y FORTES, I. (2005). "Seasonal changes in waterbird habitat and occurrence in Laguna de Sayula, western Mexico". *The Southwestern Naturalist* 50(3): 318–322.
- NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY. (1999). *Field guide to the birds of North America*. National Geographic Society. Tercera Edición. Washington, D.C. USA
- OPDAM, P., FOPPEN, R., REIJENEN, R. Y SCHOTMAN, A. (1994). "Landscape ecological approach in bird conservation: integrating the metapopulations concept in to spatial planning". *Ibis* 137: 139–146.
- PALOMERA-GARCÍA, C., SANTANA, C. E. Y AMPARÁN-SALIDO, R. (1994). "Patrones de distribución de la avifauna en tres estados del occidente de México". *Anales del Instituto de Biología. Universidad Autónoma de México. Serie Zool.* 65: 137–175.
- PALOMERA-GARCÍA, C., SANTANA, C. E., CONTRERAS-MARTÍNEZ, S. Y AMPARÁN-SALIDO, R. (2007). Jalisco. En Ortiz-Pulido, R., Navarro-Singuenza, A., Gómez de Silva, H., Rojas-Soto, O. y Peterson. T.A. (eds.) *Avifaunas Estatales de México*. CIPAMEX. Pachuca, Hidalgo, México. p. 1–48.
- PETERSON, R.T. Y CHALIF, E. L. (1989). *Aves de México, Guía de Campo*. Ed. Diana, México, D.F.
- PROYECTO ESTRATÉGICO DE DESARROLLO RURAL SUSTENTABLE PARA EL MUNICIPIO DE AMACUECA, AGUA QUE VUELVE. (2007). Gran Alianza por Jalisco. Ayuntamientos de Amacueca, Techaluta de Montenegro, Tapalpa, Jalisco, SEMADES, SAGARPA, SEMARNAT, CONAFOR, CNA, SEDER, CEAS, CUSUR, Asociación de Silvicultores Sursureste, A.C., Coordinación de la Gran Alianza por Jalisco. Amacueca, Jalisco, México.
- REYNA-BUSTOS O. Y THOMSON, A.G. (1988). *Aves de Jalisco. Estudio de Ordenamiento Ecológico Territorial de Jalisco*. ACUDE. <http://www.acude.udg.mx/jalisciencia/diagnostico/biotico/faunajalisco/aves/diagnosticoave.html>. Fecha de consulta: 9 de febrero del 2009.
- SAUNDERS, D.A., HOBBS, R. J. Y MARGULES, C.R. (1991). "Biological consequences of ecosystems fragmentations: a review". *Conservation Biology* 5: 18–32.
- SCHALDACH, W.J. JR. (1963). "The avifauna of Colima and adjacent Jalisco, Mexico". *Proceedings Western Foundation Vertebrate Zoology* 1: 1–100.
- SCHALDACH, W.J. JR. (1969). "Further notes on the avifauna of Colima and adjacent Jalisco, Mexico". *An. Inst. Biol. Universidad Nacional Autónoma de México, Ser. Zool.* 40: 229–316.
- SELANDER, R.K. Y GILLER, D.R. (1959). "The avifauna of the Barranca de Oblatos, Jalisco, Mexico". *Condor* 61: 210–222.
- SEMARNAT (SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES). (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 mayo del 2002.
- SIBLEY, D.A. (2001). *The Sibley Guide to Birds*. National Audubon Society. Alfred A. Knopf, New York. 545 p.
- VILLEGAS, F. E. (1995). *Vegetación de la Laguna de Sayula, Jalisco, México*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. Universidad de Guadalajara. México.
- ZIMMERMAN, D.A. Y HARRY, G. B. (1951). "Summer birds of Autlán, Jalisco". *Wilson Bull.* 63: 302–314.

Evaluación del vermicompost producido del contenido ruminal de los rastros municipales como sustrato de cultivo en pepino y jitomate en invernadero

Gilberto Vázquez Gálvez y Rebeca Flores Magallón

Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Michoacán (CIIDIR-IPN-Michoacán).
Instituto Politécnico Nacional. Justo Sierra 28. Jiquilpan, Mich., CP 59510.
Correo electrónico: gvazquez43@hotmail.com

Resumen

En los rastros municipales de México es difícil observar que se aplique un control en la producción y destino de los residuos sólidos generados ya que por lo general estos se destinan a los tiraderos municipales. Por ello el objetivo de este trabajo fue hacer una evaluación agronómica del vermicompost elaborado con el contenido ruminal de bovinos a fin de contribuir en su utilización y aprovechamiento. Se evaluó el efecto del vermicompost, fibra de coco y las mezclas 1:1 de vermicompost-arena, y fibra de coco-arena sobre el rendimiento de jitomate y pepino. Los resultados indican que el vermicompost y su mezcla con arena tuvieron un efecto significativo ($P \leq 0.05$) sobre el rendimiento de jitomate y pepino. Estos sustratos fueron superiores en rendimiento de fruto en un 32 y 100% en jitomate y pepino, respectivamente en comparación con los sustratos a base de fibra de coco.

Palabras clave: Rastro municipal, contenido ruminal de bovinos, vermicompost, sustrato de cultivo.

Abstract

It is difficult to see if a control is applied in the production and disposal of solid waste generated in the municipal slaughterhouses in Mexico. It is because usually these are for municipal landfills. Thus, the aim of this work was to make an agronomic evaluation of vermicompost made from the rumen contents of cattle to help in its use and exploitation. The effect of vermicompost, coir and 1:1 mixtures of vermicompost-sand, and coconut fiber-sand on the yield of tomato and cucumber. The results indicate that the vermicompost and sand mixture had a significant effect ($P \leq 0.05$) on the yield of tomato and cucumber. These substrates were higher in fruit yield by 32 and 100% in tomato and cucumber, respectively, compared with coconut fiber-based substrates.

Keywords: Municipal slaughterhouses, rumen contents of cattle, vermicompost, growing media.

Introducción

El vermicompost es un producto de la biodegradación y estabilización de materiales orgánicos por la interacción de lombrices y microorganismos. Es un material parecido a la turba, con alta porosidad, aireación, drenaje, capacidad de almacenamiento de agua y actividad microbiológica, lo cual lo hace un excelente mejorador de suelos (Atiyeh et al. 2001). La adición de vermicompost de diferentes fuentes como estiércol de vaca, estiércol de cerdo, desperdicios de alimentos, etcétera, incrementa la tasa de germinación, el crecimiento y el rendimiento de muchos cultivos de alto valor económico (Atiyeh et al. 2000). El vermicompost contiene reguladores de crecimiento vegetal tales como ácidos húmicos y auxinas, gibberelinas y citocininas (Atiyeh et al. 2002; Canellas et al. 2002; Quaggiotti et al. 2004; Zandonadi et al. 2007), los cuales son responsables del incremento en el cre-

cimiento de las plantas y el rendimiento de muchos cultivos (Atiyeh et al. 2002; Arancon et al. 2006). Esos reguladores de crecimiento son producidos por la acción de microorganismos tales como hongos, bacterias, actinomicetes y las lombrices. El vermicompost proporciona una gran superficie de micrositios para la actividad microbiana y para la retención de nutrientes. Como resultado, muchos nutrientes como nitratos, fosfatos, calcio y potasio intercambiables, están más disponibles para las plantas. Además, la aplicación de vermicompost suprime el crecimiento de muchos hongos como *Pythium*, *Rhizoctonia* y *Verticillium*, como resultado, muchas enfermedades de plantas son inhibidas cuando el vermicompost es aplicado en una gran cantidad en el suelo (Hoitink et al. 1998). Algunas veces el vermicompost también controla la población de nemátodos parásitos de

plantas (Arancon et al. 2006). Por lo tanto el vermicompost exhibe similares efectos sobre el crecimiento y rendimiento de plantas como el mostrado por fertilizantes inorgánicos aplicados al suelo o reguladores del crecimiento de plantas (Muscolo et al. 1999). En los rastros municipales de México es difícil observar que se aplique un control en la producción y destino de los residuos sólidos generados ya que por lo general estos residuos se destinan a los tiraderos municipales. Por ello el objetivo de este trabajo fue hacer una evaluación agronómica del vermicompost del contenido ruminal de bovinos de los rastros municipales a fin de contribuir en su utilización y aprovechamiento.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en un invernadero de la localidad de Jiquilpan, Michoacán, ubicado a una altitud de 1 550 msnm, y delimitada por los paralelos 20° 03' 02" y 19° 52' 54" de latitud norte y los meridianos 102° 39' 33" y 102° 56' 16" de longitud Oeste. Se evaluó el efecto del vermicompost el cual se estabilizó durante 60 días con lombrices de la especie *Eisenia foetida* Sav. Además se utilizó la fibra de coco, las

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del vermicompost y fibra de coco evaluados en los ensayos de crecimiento vegetal.

Determinaciones	Vermicompost	Vermicompost + Arena	Fibra de coco
pH (Potenciométrica)	4.786 (1:2)	6.944 (1:2)	4.107 (1:5)
Conductividad eléctrica (Potenciométrica)	6.20 mS/cm (1:5)	2.33 mS/cm (1:5)	4.43 mS/cm
Densidad aparente (Método de la probeta)	0.571 g/cm ³	1.043 g/cm ³	0.117 g/cm ³
Densidad real (Picnómetro)	1.149 g/cm ³	2.184 g/cm ³	0.774 g/cm ³
Porosidad (Cálculo)	50.30%	52.24 %	84.88%
Retención de humedad (Gravimétrico a 105 °C)	119.62%	37.86 2%	780.20%
Fósforo (Vanadomolibdato)	0.118 %		0.156%
Calcio (Absorción atómica)	1.11%		0.378%
Hierro (Absorción atómica)	17340.3 mg/kg		3330.7 mg/kg
Potasio (Absorción atómica)	0.324 %		0.355%
Nitrógeno (Macro-Kjeldahl)	1.597 %		1.005 %
Humedad (Gravimétrica a 105 °C)	24.51 %		12.60 %

mezclas 1:1 de vermicompost-arena, y fibra de coco-arena, cuyas características se presentan en el cuadro 1. Las especies vegetales utilizadas fueron jitomate tipo saladet de hábito indeterminado (*Lycopersicon esculentum* cv. Trópica), y pepino (*Cucumis sativus* L cv. Vlasstar). El jitomate se sembró directamente y tuvo un ciclo de 159 días, del 13 de septiembre del 2004 al 23 de febrero del 2005, y el pepino, también con siembra directa, tuvo un ciclo de 80 días, entre el 6 marzo y el 21 de junio del 2005. Las plantas se colocaron en bolsas de plástico de color negro con capacidad de 18 litros y se utilizó un sistema hidropónico abierto. Junto con el agua se aplicó la solución nutritiva de Steiner (1961) conteniendo 12.0, 1.0, 1.0, 5.0, 6.0 y 3.0 me l⁻¹ de NO₃, H₂PO₄²⁻, SO₄²⁻, K⁺, Ca²⁺ y Mg²⁺, respectivamente, la cual se ajustó a un pH de 6.5 y una conductividad eléctrica de 2.5 mS/cm.

Las necesidades de riego del cultivo, se estimaron mediante el empleo de la fórmula de evaporación del tanque tipo "A", método que calcula primero la evapotranspiración de referencia del cultivo (ET_o), el cual se integra a la fórmula $ET_c = K_c \cdot ET_o$ para calcular la evapotranspiración del cultivo (Allen et al. 1998). Se programaron 4 riegos diarios con una duración entre 5 y 10 minutos en cada turno de riego, aplicándose en el inicio del cultivo alrededor de 300 ml por planta por día, posteriormente se aumentó a 700 ml cuando las plantas tenían un mes de plantadas y se aumentó a 1,000 ml al finalizar el cultivo. El agua se hizo llegar a las plantas por bombeo a través de mangueras y goteros autocompensantes con un gasto de 2 litros por hora colocados cerca de la raíz de la planta.

Los ensayos se probaron bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres y cuatro repeticiones para el jitomate y pepino, respectivamente, y utilizando como variables respuesta el peso, número y peso medio de fruto. Se hizo un análisis de varianza para el diseño estadístico utilizado, y una comparación de promedios con la prueba de Tukey a un nivel de significancia estadística de 0.5.

Resultados y discusión

La potencialidad de un sustrato de cultivo para producir una planta en condiciones óptimas es el resultado de la interacción entre distintos factores. Por ello su calidad solo puede ser evaluada finalmente mediante la realización de ensayos de crecimiento vegetal. En el cuadro 2 se presentan el peso, número y tamaño de fruto de jitomate obtenido en seis plantas con el vermicompost y otros sustratos de cultivo a base de fibra de coco. Se observa que hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) en el peso y tamaño de fruto por efecto de los sustratos evaluados. El vermicompost junto con el vermicompost más arena fueron estadística-

Cuadro 2. Peso, número y tamaño de fruto de jitomate cultivar *Trópica* en diferentes sustratos de cultivo.

Sustrato	Peso de frutos ¹ (g)	Número de frutos ¹	Tamaño de frutos ¹ (g)
Vermicompost	16267 a*	338 a	48.6 a
Vermicompost + arena	16183 a	331 a	48.9 ab
Fibra de coco	12457 b	276 a	45.2 ab
Fibra de coco + arena	12081 b	273 a	44.3 ab
CV	9.7	11.28	5.9
DMSH	29.87	75.31	6.20

* Cifras seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey ≤ 0.5).

¹Peso, número y tamaño de frutos producidos en una parcela de 6 plantas.

mente superiores en el peso de fruto. En promedio, el rendimiento de fruto de estos dos sustratos fue 32% superior al resto de los sustratos. El tamaño de fruto registrado en los tratamientos a base de vermicompost, fue además superior numéricamente al obtenido en los sustratos a base de fibra de coco. En el cuadro 3 se presentan el peso y número de fruto de pepino obtenido en diez plantas con el vermicompost y otros sustratos de cultivo. Se observa que hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre los sustratos considerando estas variables. El vermicompost fue superior numéricamente en la producción de frutos que todos los sustratos, pero estadísticamente igual a la mezcla de vermicompost y arena. La fibra de coco, estadísticamente produjo menos peso y número de frutos. Este sustrato rindió en promedio tres veces menos frutos que el vermicompost y que la mezcla vermicompost más arena. Diferentes investigaciones han demostrado también los efectos positivos que tiene el vermicompost sobre el crecimiento y rendimiento de varias especies hortícolas y ornamentales, al ser mezclado con un sustrato de cultivo para mejorar sus propiedades. Arancón et al. (2008) reportan incrementos significativos en la germinación, número de flores y crecimiento de petunias al sustituir con vermicompost hasta un 40% un sustrato de cultivo comercial. Asimismo al sustituir con vermicompost de 30 a 40% el sustrato de cultivo, se reportan incrementos significativos en el rendimiento y crecimiento de otros cultivos como margaritas (Atiyeh et al. 2002), chile (Arancon et al. 2004), jitomate (Bachman y Metzger 2008). Los mecanismos reportados que favorecen este efecto estimulador de las sustancias húmicas son numerosos, lo más convincente es por un lado un mecanismo directo debido a la acción hormonal, el cual se suma a un efecto indirecto relacionado con el metabolismo de microorganismos del suelo que afectan la dinámica de absorción nutrimental que a su vez afectan el crecimiento de la planta (Arancon et

Cuadro 3. Peso y número de frutos de pepino cultivar *Vlasstar* en diferentes sustratos de cultivo.

Sustrato	Peso de frutos ¹ (g)	Número de frutos ¹
Vermicompost	16653 a*	127 a
Vermicompost + Arena	13066 ab	106 ab
Fibra de coco + Arena	10143 b	92 b
Fibra de coco	4324 c	39 c
CV	16.57	13.73
DMSH	3885	27.28

* Cifras seguidas por la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey ≤ 0.5).

¹Peso y número de frutos producidos en una parcela de 10 plantas.

al. 2006). Esas sustancias promotoras del crecimiento, indican Canellas et al. (2002) y Zandonadi et al. (2007), incrementan la emergencia de raíces laterales en plantas de maíz, elongación radicular y la actividad de la enzima ATPasa. Por su parte Quaggiotti et al. (2004) muestran evidencia de que las sustancias húmicas del vermicompost, estimulan la absorción de nitratos por la raíz y la acumulación de este anión en las hojas. Estas sustancias ejercen un efecto directo sobre los mecanismos de transcripción genética que codifican genes relacionados con la absorción de este anión tales como la activación y promoción de la enzima ATPasa de la membrana plasmática, la cual juega un papel central en la fisiología de las plantas ya que el gradiente de H^+ generado por esta enzima controla dos procesos básicos, el pH intra y extracelular y la absorción activa de nutrientes como nitratos, fosfatos y sulfatos a través del plasmalema, los cuales a su vez son responsables del crecimiento celular.

Conclusiones

La superioridad mostrada del vermicompost solo o mezclado con arena es una clara evidencia del potencial que este material tiene como sustrato de cultivo de hortalizas. De esta manera, los residuos sólidos generados en el rastro por concepto de contenidos ruminales pueden manejarse adecuadamente sometiéndolos a un proceso de composteo con lombrices para ser utilizados posteriormente como un sustrato en la producción de hortalizas como jitomate y pepino. El vermicompost además, es un sustrato de fácil elaboración y su costo en el mercado es de alrededor de seis veces menor al de la fibra de coco, lo que lo puede hacer un material de mejor preferencia tanto en cultivos de invernadero como en cultivos tradicionales. Como otros cultivos hortícolas, los pepinos y los jitomates son usualmente manejados con prácticas agrícolas donde se utilizan grandes cantidades de fertilizantes inorgánicos y pesticidas. Sin embargo, cada vez hay una mayor conciencia de algunos de los

perjuicios económicos y ambientales del impacto de estos agroquímicos en la producción agrícola. Por ello la utilización de fertilizantes orgánicos como el vermicompost en la producción de cultivos cada vez es de mayor importancia. ☞

Referencias

- ALLEN, R. G., L. S. PEREIRA, D. RAES Y M. SMITH. (1998). "Eva-potranspiración del cultivo". *Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Estudio FAO Riego y Drenaje. Publicación 56.
- ARANCON, N. Q., C. A. EDWARDS, R. M. ATIYEH Y J. D. METZGER. (2004). "Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers". *Bioresource Technology* **93**: 139–144.
- ARANCON, N. Q., C. A. EDWARDS Y P. BIERMAN. (2006). "Influences of vermicomposts on field strawberries: effects on soil microbial and chemical properties". *Bioresource Technology* **97**: 831–840.
- ARANCON, N. Q., C. A. EDWARDS, A. BABENKO, J. CANNON, P. GALVIS Y J. D. METZGER. (2008). "Influences of vermicomposts produced by earthworms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination growth and flowering of petunias in the greenhouse". *Applied Soil Ecology* **39**: 91–99.
- ATIYEH, R. M., C. A. EDWARDS, S. SUBLER Y J. D. METZGER. (2000). "Earthworm-processed organic waste as components of horticultural potting media for growing marigold and vegetable seedlings". *Compost Science and Utilization* **3**: 215–253.
- ATIYEH, R. M., C. A. EDWARDS, S. SUBLER Y J. D. METZGER. (2001). "Pig manure as a component of a horticultural bedding plant medium: effect on physiochemical properties and plant growth". *Bioresource Technology* **78**: 11–20.
- ATIYEH, R. M., S. S. LEE, C. A. EDWARDS, N. Q. ARANCON Y J. D. METZGER. (2002). "The influence of earthworm-processed pig manure on the growth and productivity of marigolds". *Bioresource Technology* **81**: 103–108.
- ATIYEH, R. M., S. S. LEE, C. A. EDWARDS, N. Q. ARANCON Y J. D. METZGER. (2002). "The influence of humic acid derived from earthworm-processed organic waste on plant growth". *Bioresource Technology* **84**: 7–14.
- BACHMAN, G. R. Y J. D. METZGER. (2008) "Growth of bedding plants in commercial potting substrate amended with vermicompost". *Bioresource Technology* **99**: 3155–3161.
- CANELLAS, L. P., F. L. OLIVARES, A. L. OKOROKOVA-FAÇANHA Y A. R. FAÇANHA. (2002). "Humic acids isolated from earthworm compost enhanceroot elongation, lateral root emergence, and plasmamembrane H⁺-ATPase activity in maize roots". *Plant Physiol* **130**: 951–1957.
- HOITINK, H. A. J., A. G. STONE Y D. Y. HAN. (1998). "Supresión de enfermedades de plantas mediante compost". *Agronomía Costarricense* **21**: 25–33.
- MUSCOLO, A. S., CUTRUPPI Y S. NARDI. (1999). "IAA detection in humic substances". *Soil Biol Biochem* **30**: 1199–1201.
- QUAGGIOTTI S., B. RUPERTI, D. PIZZEGHELLO, O. FRANCIOSO, V. TUGNOLI Y S. NARDI. (2004). "Effect of low molecular size humic substances on nitrate uptake and expression of genes involved in nitrate transport in maize (*Zea mays* L.)". *J. Exp Bot* **55**: 803–813.
- STEINER, A. A. (1961) "A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition". *Plant and soil* **2**: 134–154.
- ZANDONADI, D. B., L. P. CANELLAS Y A. R. FAÇANHA. (2007). "Indolacetic and humic acids induce lateral root development through a concerted plasmalemma and tonoplast H⁺ pumps activation". *Planta* **225**: 1583–1595.

Relacion entre Indice Temperatura Humedad (ITH) con incidencia de *Escherichia coli* causante de mastitis ambiental en bovinos en los Altos y centro de Jalisco

Juan Manuel Moreno-Martínez¹, Luis Alfonso Guerrero-Quiroz², Hugo Castañeda-Vázquez¹, Juan Jesús Roa-Vidal¹, Jacinto Bañuelos-Pineda¹, Salvador Mireles-Flores² y Eligio Rafael Moreno-Gómez²

¹Departamento de Medicina Veterinaria. ²Departamento de Producción Animal. Universidad de Guadalajara, Apdo. Postal 1-139, Zapopan, Jal., 45101, México.
Correo electrónico: mmj04691@cucba.udg.mx

Resumen

Con el objeto de conocer la susceptibilidad de desarrollo de *Escherichia coli* se realizó un muestreo aleatorio de 1,119 bovinos lecheros, 144 en la zona Altos Norte, 275 en la zona Altos Sur y 700 en la zona Centro del estado de Jalisco entre septiembre de 2001 y julio de 2003. Se encontró mayor incidencia de mastitis en la región Centro que en los Altos, aunque la diferencia no fue significativa. La temperatura no presentó diferencias. En la humedad relativa, las diferencias fueron en el verano y otoño de 2002, siendo mayor en la región Centro que en los Altos. En el ITH, hubo diferencia en invierno de 2003 siendo mayor en la región de los Altos. En la relación ITH con la incidencia de *E. coli*, evaluada por meses, se encontró correlación pero no fue significativa. Analizada por estaciones del año, la correlación en la región de los Altos fue positiva, altamente significativa en primavera, verano e invierno del 2002 y en primavera e invierno de 2003, negativa significativa en otoño de 2001 y negativa altamente significativa en otoño de 2002. Mientras que en la región Centro fue positiva altamente significativa en primavera, verano e invierno de 2002, positiva significativa en primavera de 2003, negativa altamente significativa en otoño de 2001 e invierno de 2003 y negativa significativa en otoño de 2002.

Palabras clave: mastitis, mastitis ambiental, confort animal, vacas lecheras, *Escherichia coli*.

Abstract

In order to study the susceptibility of *Escherichia coli*, a random sampling of 1,119 dairy cattle, 144 in the North Highlands area, 275 in the Southern Highlands area and 700 in the central state of Jalisco between September 2001 and July 2003 was made. We found a higher incidence of mastitis in the central region than in the Highlands, although the difference was not significant. There were no differences in the temperature values. In the relative humidity, the differences were registered in summer and autumn of 2002, being higher in the Center region than in the Highlands. In the ITH, difference in the winter of 2003 was detected, being higher in the Highlands region. In the relationship between ITH and incidence of *E. coli*, measured by months, a non-significant correlation was found. Analyzed by seasons, a positive correlation in the Highlands region was seen when the analysis was made by seasons, being highly significant in spring, summer and winter in 2002 and spring and winter in 2003. It was significantly negative in fall of 2001 and very negative in autumn of 2002. While in the central region was positive highly significant in the spring, summer and winter of 2002, it was significantly positive in spring of 2003, significantly negative in autumn of 2001 and winter of 2003 and significantly negative in autumn of 2002.

Keywords: mastitis, environmental mastitis, animal comfort, cows, *Escherichia coli*.

Introducción

Las condiciones climáticas en determinadas regiones del país presentan una diversidad tal, que en múltiples ocasiones pueden ser la causa de variaciones en el comportamiento productivo, económico o sanitario de los animales en explotaciones dedicadas a una actividad determinada. Así, podemos observar que de acuerdo a las precipitaciones, los cultivos son de temporal o de riego, mientras que en cuanto a la

actividad pecuaria, la rusticidad de algunas especies o de algunas razas, facilitan y hacen viable económicamente su uso zootécnico con fines de desarrollo regional o de competitividad en los mercados de algunas regiones que han sabido aprovechar esos beneficios que les aporta el medioambiente (INEGI 2002). Estas diferencias se evidencian en varias regiones del país, aún en lugares que se encuentran muy cercanos en-

tre sí, pero que tienen áreas montañosas o selváticas cerca de la costa con climas que presentan una gran humedad y calor, cercanos a climas húmedos y frescos de áreas arboladas boscosas o a climas que son muy secos, casi desérticos, con muy poca humedad (POET 1998; INEGI 2002). En el estado de Jalisco se tiene que sus climas varían desde el semicálido subhúmedo con lluvias en verano abarcando el 46% de su superficie, pasando por el cálido subhúmedo también con lluvias en verano con el 25%, hasta el semiseco templado con el 4% de la superficie y aún el clima semiseco muy cálido con el 3% del área total del estado (INEGI 2002). De acuerdo a los monitoreos realizados por las estaciones meteorológicas de la Comisión Nacional del Agua (CNA 2002), se han registrado temperaturas medias anuales que marcan diferencias en regiones dedicadas a actividades pecuarias como la producción de leche, en las que se observa que mientras en la región de los Altos tenemos una media anual de 17 °C, la región Centro presenta una media anual de 21 °C (CNA 2002). La altitud sobre el nivel del mar, factor que influye también sobre el clima y la disponibilidad de oxígeno atmosférico, presenta variaciones desde lugares costeros con 5 metros sobre el nivel del mar (msnm), hasta regiones como los Altos con 1,942 msnm o Tapalpa con 1,950 msnm. (INEGI 2002). Por lo que respecta a la precipitación pluvial, que determina en gran parte la humedad relativa de un sitio, los datos a lo largo de varias décadas muestran que mientras la región de los Altos ha tenido precipitaciones que han alcanzado los 609 mm, la región Centro ha llegado a los 983 mm. Esto viene a representar los valores más bajos y altos en todo el estado (CNA 2002), en la región Centro del estado, el clima es semicálido subhúmedo con lluvia en verano, que es el más común, ocupando un 46% de la superficie, con temperaturas medias mensuales que van de los 17 °C a los 25 °C y una media de 21 °C, su precipitación pluvial está entre los 615 mm hasta 1,349 mm con una media de 983 mm. Por su parte, la región de los Altos tiene clima templado subhúmedo con lluvia en verano, ocupando una superficie estatal del 16%, su temperatura media mensual varía entre 10 °C a 25 °C con una media de 17 °C y su precipitación pluvial está entre 336 mm y 979 mm con una media anual promedio de 609 mm (INEGI 2002). Por otro lado, Jalisco es el estado con mayor producción de leche en el país, en el año 2001 aportó el 17% del volumen nacional (1,691 millones de litros) (SAGARPA 2000). La región de los Altos comprende 19 municipios y su producción alcanzó los 1,036 millones de litros, mientras que la región Centro, donde se incluye la zona metropolitana, produjo 182 millones de litros, el resto, 473 millones de litros, lo producen las demás regiones del estado (INEGI 2002; INEGI 2003). Por otro lado los

sistemas de producción lechera en Jalisco están caracterizados por un nivel de tecnificación significativa en el 30% de los casos, los cuales pertenecen a los grandes productores, el 70% restante tiene un nivel de tecnificación mínimo o insignificante con pequeños productores en establos de entre 5 y 25 animales en producción (Ferrer 1993). La mastitis, enfermedad que por mucho es la más común en el ganado lechero, tiene una importancia económica significativa en las regiones lecheras de Jalisco, aparece con una variabilidad notable a lo largo del año, lo cual sugiere que se debe implementar un método de rastreo que se realice por regiones (POET 1998), con el fin de observar la frecuencia (Organización Mundial de la Salud Animal 2001), en mayor o menor medida de los agentes microbianos causantes de mastitis (Wolter et al. 1999), en diferentes épocas del año y por las características de manejo de los sistemas de producción. Por tanto el objetivo de este trabajo fue establecer la relación del Índice Temperatura Humedad (ITH) con la incidencia de *Escherichia coli* en casos de mastitis ambiental en el ganado lechero en dos regiones del estado de Jalisco.

Materiales y métodos

El presente trabajo se desarrolló en dos regiones del estado de Jalisco, la región Altos subdividida en Norte y Sur y la zona Centro. Se muestrearon al azar las siguientes poblaciones en la región Norte: Encarnación de Díaz, Lagos de Moreno, San Juan de los Lagos y San Miguel el Alto; en la región Sur: Valle de Guadalupe, Pegueros y Tepatitlán; y en la zona Centro: Guadalajara, Zapopan, Tonalá Acatlán de Juárez y Zapotlanejo con base al Proyecto de Ordenamiento Ecológico Territorial del estado (POET 1998), para ver la distribución de los sistemas en cada región. El procesamiento de las muestras se realizó en el Laboratorio de Mastitis y Diagnóstico Molecular perteneciente al Departamento de Medicina Veterinaria del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara.

Animales

Se realizó un muestreo al azar de 1,135 bovinos lecheros sospechosos de mastitis que representan el 0.2% de la población de ganado lechero en el estado de Jalisco de una población total de 589,332 animales con 292,876 en la zona Altos Norte, 200,713 en la zona Altos Sur y 95,743 en la zona Centro (INEGI 2002). Se obtuvieron muestras de 426 animales en la región de los Altos, con 144 en la zona Altos Norte y 275 en la zona Altos Sur encontrándose 28 cuartos ciegos (equivalente a 7 animales). En la zona Centro las mues-

tras se obtuvieron de 709 animales, encontrándose 36 cuartos ciegos (equivale a 9 animales), dando un equivalente total de 1,119 ubres muestreadas.

Manejo

Se anotaron los datos de las rutinas de manejo tanto de los corrales como de los animales para conocer la frecuencia de limpieza de los corrales a lo largo del año, orden de las vacas para ordeñar, sistema utilizado, limpieza y desinfección de la ubre, uso de preselladores y selladores, número de lactancia y enfermedades anteriores. Posteriormente se seleccionaron algunos de estos establos para registrar sus valores de temperatura y humedad relativa mediante el uso de un higrómetro para determinar su ITH. La temperatura se mide en °C y la humedad relativa en valor decimal. Los medidores de temperatura y humedad relativa se colocaron a una altura de 1.20 metros, en la nave del ganado, a la altura donde se encuentran las vacas, con objeto de medir los parámetros en los lugares y condiciones donde se aloja el ganado (Mujika 2005).

Se obtuvieron muestras de leche para procesarlas en el momento, colocándolas en las paletas usadas para la prueba de California para la detección de mastitis, utilizando el método propuesto por (Saran y Chaffer 2000; Medina y Montaldo 2003; Gutiérrez y De la Vara 2003) anotando el resultado preliminar para ser usado en la identificación de grados de mastitis, en base a la presentación de grumos, moco y/o sangre en la leche al entrar en contacto con el reactivo especial de la prueba CMT.

Muestras biológicas

De acuerdo al método estandarizado propuesto por el BAM (2001), se tomaron muestras de 1,676 cuartos de la ubre en vacas de la zona de los Altos con 576 en la región Altos Norte y 1,100 en la región Altos Sur mientras que en la zona Centro se muestrearon 2,800 cuartos, siendo un total de 4,476 cuartos de las ubres analizadas con muestras de leche. De los bovinos de estos establos se obtuvieron muestras de leche en un tubo de ensayo de 5 ml para procesarlas, la toma de muestra se realizó en forma aséptica, especialmente con lavado y desinfección de las tetas de las vacas con etanol al 70%, posteriormente se realizó el lavado de los pezones para retirar la suciedad, únicamente si los pezones presentaban visible suciedad se lavaron usando una solución desinfectante con 12% de yodo disponible, se eliminó el exceso de alcohol y se secó el pezón sin tocar el orificio, al coleccionar la muestra de la leche se presionó ligeramente el pezón y de preferencia con un solo apretón, el final del pezón no tocó el

borde del tubo, el cual no se llenó a más de dos tercios de su capacidad, se evitó el escurrimiento de agua que pudiera contaminar el conducto del pezón o el tubo de ensayo, además se desinfectaron también las manos del técnico por inmersión en el desinfectante con 12% de yodo disponible, antes de manipular la ubre, se abrió el tubo de muestreo, manteniendo el tapón boca abajo en la misma mano que el tubo, el cual se mantuvo tan cerrado como fuera posible para minimizar la entrada de polvo, se procedió posteriormente al secado de la ubre y se taparon los tubos para su transporte. Los tubos de las muestras se transportaron hacia el laboratorio de diagnóstico molecular de mastitis en el Depto. de Medicina Veterinaria del CUCBA en un tiempo no mayor de seis horas, en una hielera con gradilla en su interior con termómetro para mantenerlas a 4 °C aproximadamente, agregando hielo o un refrigerante para evitar el exceso de calor y que se alterara la muestra. El procesado de las muestras y análisis, se realizó inmediatamente después de la llegada de las mismas al laboratorio, evitando un almacenamiento no mayor de 24 hrs y manteniéndolas a una temperatura entre 4 y 5 °C.

Técnicas

SIEMBRA DE MUESTRAS: Con el método propuesto por Gutiérrez y de la Vara (2003) se procedió al sembrado de muestras en medio de cultivo a base de agar sangre previamente preparado en cajas de petri esterilizadas y colocadas en refrigeración, que luego fueron homogeneizadas en un vórtex, debido a que las bacterias se concentran en la capa de grasa de la leche, en caso de que algunas de las muestras hayan sido refrigeradas, antes de mezclarlas se sometieron a baño maría a una temperatura de 17 °C (± 1 °C).

PREPARACIÓN DE MEDIOS DE CULTIVO: Se realizó la preparación de agar sangre utilizando 5% de sangre de ovino 24 horas previas a la toma de las muestras. Se colocaron las cajas conteniendo el medio de cultivo en paquetes de 5 cajas c/u, envueltas en papel estraza y sujetas con cinta "masking tape" y se colocaron en el autoclave para su esterilización. Posteriormente se dividió la superficie del medio de cultivo en cuatro partes correspondiendo una para cada cuarto de la ubre, correspondiendo el número uno al cuarto delantero derecho, el dos el cuarto delantero izquierdo, el tres al cuarto trasero izquierdo y el cuatro al cuarto trasero derecho, después de esto se colocaron en refrigeración a 4 °C hasta su utilización en la siembra. Una vez que las muestras fueron colectadas se colocaron en gradillas en orden de acuerdo al número de vaca o por nombres en orden alfabético. Para la siembra de la muestra de leche en la caja de petri, se colocaron dos

mecheros encendidos, y en la parte media de ambos, se abrió el tubo que contenía la muestra y se introdujo en ella una pipeta volumétrica de 1 ml, para tomar sólo 0.05 ml de leche por extensión de superficie dispersándola después con una varilla de vidrio en forma de L en toda la placa de agar sangre para distinguir fácilmente entre los espacios las colonias de microorganismos, cerrando bien la caja de petri al terminar y se colocó en una estufa bacteriológica de cultivo. Después de 24 horas se sacaron las cajas y nuevamente en la cercanía de un mechero encendido se abrieron para la identificación de las bacterias presentes, examinándolas morfológicamente, por su color, diámetro y producción de hemólisis (BAM 2001) se identificaron las colonias de coliformes y de *E. coli* por su apariencia (colonias pequeñas, mas o menos de 1 mm de diámetro, grises redondas), separándolas de las demás cajas que tuvieron crecimiento de otras bacterias, se hicieron las anotaciones correspondientes de la tapa de las cajas, con el número de vaca, número de cuarto y resultado de colonias bacterianas identificadas, para proceder a realizar la resiembra en otras cajas de petri con agar sangre para colocarlas en la estufa bacteriológica para su incubación durante otras 24 a 36 horas. Después de este proceso, al observar de manera selectiva el crecimiento de bacterias posiblemente coliformes, se hicieron las siembras específicas en las placas para petrifilm® de acuerdo a la metodología propuesta por la empresa fabricante (3M de México, 2005) que ha sido usada en diversos trabajos anteriores (Broquet et al. 2007; Molina et al. 2007; Morillo et al. 2007; Casillas et al. 2007) y que nos ayuda a identificar de forma rápida y efectiva tanto coliformes como *E. coli*. Las placas petrifilm® Recuento de Aerobios constituyen un sistema listo para usar que contiene los elementos nutritivos del agar para recuento (PCA), un agente gelificante soluble en agua, y un indicador de tetrazolio que facilita la enumeración de las colonias. Este método es reconocido por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC) para el recuento bacteriano y de coliformes en leche (Amer et al. 2000) y el recuento de aerobios en alimentos (Amer et al. 2000). Después de su cultivo específico, se hizo la identificación de las colonias redondas, pequeñas de color azul, característico de la *E. coli* en este medio del petrifilm y se anotaron los resultados para utilizarlos en los datos estadísticos. El registro de los parámetros ambientales de temperatura y humedad relativa se realizó mediante la colocación de un higrómetro Radio Shack®, el cual permaneció una semana en el establo para anotar las variables diarias en tres periodos de tiempo a las 8:00, 14:00 y 19:00 hrs. Posteriormente se contrastaron con los datos obtenidos del INEGI en base al registro de las estaciones meteorológicas de la zona metropolitana y de la Unión

de San Antonio en el estado de Jalisco. Se anotaron los resultados finales y posteriormente se estableció la relación del ITH (Índice Temperatura-Humedad) que predomina en cada lugar en las diferentes épocas del año, con la frecuencia de *E. coli* en casos de mastitis del ganado lechero de la zona de los Altos Norte, Altos Sur y la región Centro del estado de Jalisco.

Análisis estadístico

El método estadístico que se utilizó fue un camino del análisis de varianza (Anova), para comparar la prevalencia de bacterias presentes en mastitis de las diferentes regiones y la correlación para la determinación de ITH con la prevalencia de *E. coli* en la región de los Altos y Centro del Estado de Jalisco con el programa Excel (Microsoft®), las diferencias con $p < 0.05$ fueron consideradas estadísticamente significativas con un 95% de nivel de confianza. Los resultados se graficaron conforme a la media y error estándar de la media Steel et al. 1997).

Resultados

En la prueba de California resultaron positivos a mastitis 2,659 cuartos totales de la población muestreada, de ellos en la zona Altos Norte fueron 345 cuartos con un porcentaje de 60%, en la zona Altos Sur 631 cuartos con 57% y en la zona Centro 1683 cuartos con 60%.

Los resultados obtenidos muestran mayor incidencia de mastitis en la zona Centro que en las zonas Altos Norte y Altos Sur, sin embargo en el análisis de varianza (Anova) no se encontraron diferencias significativas entre las zonas por lo que podemos decir que su comportamiento fue muy similar. En la región de los Altos se tomaron 1,676 muestras de leche de ubres con problemas de mastitis y 2,800 muestras en la zona Centro del estado de Jalisco, con lo que resultaron positivas a *E. coli* 105 muestras en la zona de los Altos y 198 muestras en la zona Centro.

Cuadro 1. Resultados totales de bovinos lecheros y ubres muestreadas así como el porcentaje de incidencia de mastitis con prueba de California en las zonas Altos Norte, Altos Sur y Centro del estado de Jalisco.

Zonas de Jalisco	Ubres muestreadas	Cuartos de la ubre	Cuartos +	Cuartos -	% +	%-
Altos Norte	144	576	345	231	59.90	40.10
Altos Sur	275	1100	631	469	57.36	42.64
Centro	700	2800	1683	1117	60.11	39.89
n	1119	4476	2659	1817	59.41	40.59

En el porcentaje total de incidencia de *E. coli* en el lapso de septiembre del 2001 a junio de 2003 no se encontraron diferencias significativas, ya que la zona de los Altos obtuvo un porcentaje de incidencia total de $6.35\% \pm 0.97$ mientras que la zona Centro obtuvo $7.05\% \pm 1.53$ con un valor en el análisis de varianza de $p= 0.702$. Se agruparon los meses por estaciones dependiendo de la cantidad mayor de días de cada mes que involucra cada estación del año. La primera estación fue la de otoño de 2001 (meses de octubre, noviembre y diciembre), seguido por el invierno de 2002 (enero, febrero y marzo), primavera de 2002 (abril, mayo y junio), verano de 2002 (julio, agosto y septiembre), otoño de 2002 (octubre, noviembre y diciembre), invierno de 2003 (enero, febrero y marzo) y primavera de 2003 (abril, mayo y junio). En la comparación de la incidencia de *Escherichia coli* por estaciones del año tampoco encontramos diferencias significativas en el análisis de varianza entre la zona de los Altos y la zona Centro del estado de Jalisco. Por otro lado se tomaron los indicadores de temperatura y humedad relativa así como el Índice de Temperatura Humedad (ITH) por zonas de septiembre de 2001 a mayo de 2003.

Por otro lado se realizó un análisis de correlación para determinar el efecto del medio ambiente (ITH) sobre la incidencia de *E. coli* en las ubres con mastitis

en la zona de los Altos y Centro del estado de Jalisco de septiembre de 2001 a junio de 2003, donde se encontró una correlación positiva en ambas zonas existiendo una correlación mayor en la zona de los Altos aunque debido a sus valores se consideran no significativas, donde se demuestra que entre mayor sea el ITH mayor será el porcentaje de incidencia de *E.coli*. También se realizó un análisis de correlación para determinar el efecto del medio ambiente (ITH) sobre la incidencia de *E. coli* en las ubres con mastitis en la zona de los Altos y Centro del estado de Jalisco por estaciones del año, donde se encontró una correlación positiva altamente significativa en la zona de los Altos en las estaciones de invierno de 2002, primavera de 2002, verano de 2002, invierno de 2003 y primavera de 2003 donde se demuestra que preferentemente en invierno y primavera al aumentar una variable aumenta la otra, mientras que por otro lado existió una correlación negativa significativa en el otoño del 2001 y una correlación negativa altamente significativa en el otoño del 2002 donde se demuestra que preferentemente en otoño al aumentar una variable la otra disminuye. En la zona Centro el comportamiento fue muy similar ya que en el invierno del 2002, la primavera del 2002, verano del 2002 se encontró una correlación positiva altamente significativa y fue significativa en la primavera del 2003, mientras que en

Cuadro 2. Valores de temperatura, humedad relativa e ITH con su análisis de varianza por estaciones del año.

Estaciones	Indicadores	Zona Altos	Zona Centro	Anova p=	Dif. Sig.
otoño 2001	Temperatura	19.13 \pm 0.82	18.80 \pm 1.15	0.826	
	Humedad	68.33 \pm 3.48	66.67 \pm 2.91	0.732	
	ITH	65.03 \pm 0.88	65.77 \pm 1.12	0.634	
invierno 2002	Temperatura	18.05 \pm 6.15	18.95 \pm 1.15	0.899	
	Humedad	55.50 \pm 1.50	44.50 \pm 6.50	0.241	
	ITH	62.45 \pm 7.75	62.65 \pm 0.75	0.982	
primavera 2002	Temperatura	24.80 \pm 0.35	24.23 \pm 0.59	0.457	
	Humedad	63.33 \pm 2.85	53.67 \pm 6.57	0.248	
	ITH	72.20 \pm 0.21	70.37 \pm 0.92	0.124	
verano 2002	Temperatura	21.25 \pm 0.35	21.90 \pm 0.40	0.346	
	Humedad	67.00 \pm 1.00	77.00 \pm 2.00	0.047	p<0.05
	ITH	66.50 \pm 1.60	68.40 \pm 0.40	0.368	
otoño 2002	Temperatura	19.13 \pm 0.82	19.43 \pm 0.93	0.821	
	Humedad	58.00 \pm 2.08	77.00 \pm 1.00	0.001	p<0.001
	ITH	64.43 \pm 1.34	62.27 \pm 2.37	0.471	
invierno 2003	Temperatura	17.80 \pm 2.14	19.33 \pm 0.90	0.544	
	Humedad	56.33 \pm 4.18	52.33 \pm 2.60	0.462	
	ITH	68.10 \pm 0.26	63.93 \pm 1.01	0.016	p<0.05
primavera 2003	Temperatura	23.77 \pm 1.16	23.53 \pm 2.56	0.938	
	Humedad	52.67 \pm 1.76	52.00 \pm 2.31	0.830	
	ITH	64.90 \pm 1.05	69.93 \pm 3.30	0.220	

Cuadro 3. Valores de ITH y porcentajes de muestras positivas a *E. coli* en zona centro y altos con su coeficiente de correlación.

Estaciones del año	ZONA DE LOS ALTOS			ZONA CENTRO		
	% <i>E.coli</i>	ITH	Coefficiente de correlación	% <i>E.coli</i>	ITH	Coefficiente de correlación
otoño 2001	3.23	66.2	-0.59870	4.72	68.0	-0.96085
	4.17	63.3		1.19	64.8	
	4.26	65.6		1.82	64.5	
invierno 2002	4.48	54.7	1.0	1.67	61.9	1.0
	10.87	70.2		14.58	63.4	
primavera 2002	4.88	72.3	0.89522	11.43	69.3	0.96444
	9.35	72.5		20.95	72.2	
	2.90	71.8		9.29	69.6	
verano 2002	19.57	68.1	1.0	25.0	68.8	1.0
	3.95	64.9		0	68.0	
otoño 2002	1.59	67.0	-0.91658	1.49	66.8	-0.40553
	6.17	62.5		5.83	61.2	
	3.19	63.8		2.36	58.8	
invierno 2003	7.22	68.2	0.82721	7.0	62.0	-0.77721
	14.29	68.5		5.88	64.4	
	6.19	67.6		6.31	65.4	
primavera 2003	3.98	65.8	0.77608	6.76	70.9	0.50107
	6.19	66.1		2.52	75.1	
	3.09	62.8		0	63.8	

el otoño del 2001 y el invierno del 2003 la correlación fue negativa altamente significativa y fue negativa significativa en el otoño del 2002, demostrando con esto que en ambas zonas el comportamiento es similar.

Discusión

Tomando en cuenta que el estado de Jalisco tiene su temporada de lluvias dependiendo de la temporada de ciclones, que comienza a mediados o fines de mayo y termina en noviembre, conduce a que en tiempo de estiaje la limpieza de corrales se realice 1 o 2 veces por semana ya que en épocas de lluvias no se realiza sino esporádicamente, sólo en casos de demasiada acumulación de agua y estiércol en corrales, como lo pudimos observar en este estudio (INEGI 2002). Las heces fecales en exceso y la humedad hace que se forme un medio de crecimiento excelente para algunos microorganismos como *E. coli* que puede diseminarse más fácilmente causando mayor número de casos de mastitis (Wolter et al. 2004). Según Wolter et al. (2004) el 26.5% de las vacas lecheras sacrificadas en el continente americano se debe a trastornos ocasionados por la mastitis, en el caso de Hesse, Alemania los problemas de mastitis son la segunda causa más común de eliminación de las vacas lecheras (19%).

Comparando los porcentajes obtenidos en el presente estudio (58%) estos resultaron ser mayores a los citados anteriormente lo cual determina una alerta sobre los riesgos potenciales en la salud pública veterinaria. A pesar de que la mastitis por organismos contagiosos ha sido controlada por el mejoramiento en el manejo, la enfermedad puede permanecer porque los organismos causales no pueden ser erradicados totalmente del medio ambiente de las vacas lecheras. (Field, T.R. et al. 2003; Nash, D.L. et al. 2003). Los factores medio ambientales se representan principalmente por la medición de la temperatura, humedad relativa. Existe un índice compuesto que relaciona la temperatura ambiental y la humedad relativa del aire, denominado ITH (Hahn 1999), que nos indica cuándo se produce el estrés calórico en función de los parámetros ya mencionados, a partir de los 25 °C se pueden apreciar los efectos del calor en la producción lechera de las vacas. No obstante hay que tener en cuenta también la humedad relativa del aire. Conforme se combinan la temperatura con la humedad relativa más alta se incrementa el estrés calórico en el ganado; altas humedades relativas dificultan la evaporación del sudor de los animales y por lo tanto su refrigeración. En la comparación de los ITH por zonas dentro del período registrado no se encontraron dife-


rencias significativas por lo que podemos señalar que los Índices de Temperatura-Humedad son muy similares entre ellos quizá porque se encuentran muy cercanos geográficamente (INEGI 2002). En la medición del coeficiente de correlación entre ITH y prevalencia de *E. coli* en las zonas altos y centro se encontró una alta correlación que determina el efecto de cambio de temperatura y humedad sobre la incidencia directa de mastitis provocada por *E. coli*. En estudios realizados se ha demostrado que los cambios de temperatura y humedad provocan un estado de estrés del organismo que trae como consecuencia una inmunosupresión provocando que bacterias oportunistas como *E. coli* se presenten con mayor frecuencia (Wolter et al. 2004). Como vemos este índice relaciona la temperatura con la humedad relativa y está relacionado con la forma de eliminar calor de las vacas. La temperatura confort para las vacas está entre 7 y 28 grados centígrados, si la humedad no supera el 60%, este límite parece ser muy bajo pero por encima de esta temperatura ambiente, más el calor producido por la propia combustión corporal hace que la habilidad de la vaca para eliminar el calor sea cada vez menor. Las condiciones de temperatura en que las vacas lecheras Holstein muestran mejor comportamiento es cuando se encuentran entre 6.6 a 10.5 °C como ZTN óptima para productividad y salud y entre 10.6 y 20 °C está dentro de la ZTN. Por debajo de los 2 °C que es el límite de temperatura crítica más baja se induce estrés por el frío, mientras que por encima de los 25 °C que es el límite de la temperatura crítica más alta se inicia el estrés calórico. En referencia a los rangos de humedad relativa los valores de 30% hasta 80% no afectan los mecanismos de intercambio calórico y no producen desgaste energético, excepto si las temperaturas se acercan al límite crítico alto o bajo (Morais, M. 1983). Los periodos críticos encontrados en este estudio coinciden con lo mencionado anteriormente ya que fue la estación de primavera la más problemática mostrando un ITH mayor.

Según datos registrados por algunos autores mencionan que el confort en el ganado lechero se mantiene con un ITH de 61-67, por lo que los animales son susceptibles a estresarse con los cambios de ITH mayores, trayendo como consecuencia un aumento significativo de susceptibilidad de adquirir microorganismos patógenos que trae como consecuencia problemas en la glándula mamaria desarrollando mastitis por estrés calórico o estrés al frío.

Conclusiones

1. La mayor incidencia de mastitis se localizó en la zona Centro del estado de Jalisco con relación a

la zona de los Altos, aunque esta diferencia no fue significativa.

2. No se evidenciaron diferencias significativas en cuanto a temperatura, humedad relativa y el ITH en ambas zonas, ya que se encuentran muy cercanos geográficamente.
3. Existió mayor humedad relativa en la zona Centro en el verano 2002 y otoño 2002, mientras que el ITH fue mayor en la zona de los Altos en invierno del 2003.
4. En los datos generales del estudio la correlación entre ITH e incidencia de mastitis por *E. coli* si se mostró, pero no de manera significativa
5. Al revisar de manera detallada por regiones y contrastarla, en la región de los Altos esta relación entre ITH y la presencia de *E. coli*, demostró una correlación positiva altamente significativa en las estaciones de invierno 2002, primavera 2002, verano 2002, invierno 2003 y primavera 2003, una correlación negativa altamente significativa en el otoño 2002 y finalmente una correlación negativa significativa en el otoño 2001.
6. En la zona Centro se evidenció una correlación positiva altamente significativa en las estaciones de invierno 2002, primavera 2002, verano 2002, una correlación positiva significativa en la primavera 2003 y una correlación negativa altamente significativa en el otoño 2001 e invierno 2003, finalmente una correlación negativa significativa en otoño 2002. 

Referencias

- AMER, L., DE BATTISTA, G., MEDVEDEFF, M. Y BARGARDI, S. (2000). "Evaluación del método petrifilm para la determinación del recuento de microorganismos aerobios mesófilos totales, en drogas vegetales". *Ars Pharmaceutica* 41: 4,383-386.
- BAM. BACTERIOLOGICAL ANALYTICAL MANUAL. (2001). Online. January. 2,03-12.
- BROQUET, I., ISUNZA, R. G. Y GALLEGOS, S. F. (2007). "Evaluación del sistema Tempo® vs. Norma Oficial Mexicana y petrifilm™ *E.coli*-coliformes para la enumeración de bacterias aerobias, coliformes y *E.coli* en muestras de carne y productos cárnicos. Métodos analíticos y de detección". Congreso Internacional de Inocuidad alimentaria 2007. Facultad de Ciencias Químicas. Chihuahua, Chih. 89.
- CASILLAS, B. R., HEREDIA, R. N., GARCÍA, A. J. Y MARTÍNEZ, R. (2007). "Desarrollo y validación de un método alternativo rápido para la detección de *Bacillus Sporo-thermodurans* y *G.estearothermophilus* en leche grado UHT". Laboratorio de bioquímica y genética de microorganismos. Facultad de Ciencias Biológi-

- cas, Universidad Autónoma de Nuevo León y 3M de México. Chihuahua, Chih. 94.
- CNA.** (2002). "Boletín informativo". Comisión Nacional del Agua. México.
- FERRER, A.** (1993). "Nuevos paradigmas tecnológicos y desarrollo sostenible: Perspectiva latinoamericana". *Comercio Exterior* Vol. 43, No. 9, 807–813.
- FIELD, T. R., WARD, P. N. Y PEDERSEN, L. H.** (2003). "The Hyaluronic Acid capsule of streptococcus uberis is not required for the development of infection and clinical mastitis". *Infection and Immunity* **71**(1): 132–139.
- GUTIÉRREZ, P. H. Y DE LA VARA, Z. R.** (2003). "Análisis y diseño de experimentos". Mc Graw Hill. Cap 5-6, 246-276.
- HAHN G. L.** (1999). "Dynamic responses of cattle to thermal heat loads". *J. Anim. Sci.* **77**: 10–20.
- INEGI.** (2002). "Anuario estadístico del estado de Jalisco". Gobierno del estado de Jalisco. Edición 2002.
- INEGI.** (2003). "Anuario estadístico. Producción de Leche por región y municipio". Gobierno del estado de Jalisco. Tomo II. Edición 2003.
- MEDINA, M. C. Y MONTALDO, V. H.** (2003). "El uso de la prueba de la conductividad eléctrica y su relación con la prueba de california para mastitis CNM". V Congreso Nacional de Control de Mastitis. Aguascalientes, Ags. México. 29–31 de mayo.
- MOLINA, N., BALLESTER, L., RODRÍGUEZ, C., ARAQUE, J., ANDUEZA, F.** (2007). "Evaluación del método petrifilm™ para la detección de bacterias coliformes en agua mineral emvasada. Congreso Internacional de Inocuidad alimentaria". Facultad de Farmacia y Bioanálisis. Universidad de los Andes. Venezuela. pp.91.
- MORAIS, M.** (1983). "Efecto de la temperatura ambiental y humedad relativa sobre la temperatura rectal y frecuencia respiratoria en vacas F1 (Holstein × cebú cubano)". *Rev. Salud Animal* **5**: 615–662. Cuba.
- MORILLO, A., RODRÍGUEZ, R., BALLESTER, L., ARAQUE, J. Y ANDUEZA, F.** (2007). "Evaluación del método petrifilm™ de bacterias aerobias mesófilas en agua mineral emvasada. Congreso Internacional de Inocuidad alimentaria 2007". Facultad de Farmacia y Bioanálisis. Universidad de los Andes. Venezuela. 92.
- MUJICA, A. I.** (2005). "El estrés calórico, efecto en las vacas lecheras". Área de asistencia técnica en vacuno de leche. ITGG. <http://www.navarraagraria.com.n.150> pp.39–40.
- NASH, D. L., ROGERS, G.W., COOPER, J. B., HARGROVE, G. L. Y KEOWN, J. F.** (2003). "Relationship among severity and duration of clinical mastitis and sire transmitting abilities for somatic cell score, udder type traits productive life and clinical mastitis and sire transmitting abilities for somatic cell score, udder type traits, productive life and protein yield". *J. Dairy Science* **85**: 1273–1284.
- 3M DE MEXICO.** 2005. "Placas Petrifilm de 3M(3M) para Cuenta de E. coli y Coliformes es un medio de cultivo en formato listo para usar, para el monitoreo microbiológico de alimentos, ambientes y superficies vivas e inertes". http://www3.3m.com/catalog/mx/es003/healthcare//node_GSPD8C24JFgs/root_LWWC5GZSGWgv/vroot_VS645F3J10ge/bgel_H8KRQ4Z2TMbl/gvel_W6GCDR6PVRgl/theme_mx_es_healthcare_3_0/command_LongDescOutlinkHandler/output_html.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE SALUD ANIMAL.** (2001). *Código Zoonosario Internacional. Cap. 1.1.1. Definiciones Generales.* Oficina Internacional de Epizootias (OIE). OMSA 2001.
- POET. PROYECTO DE ORDENAMIENTO ECOLÓGICO TERRITORIAL DEL ESTADO DE JALISCO.** (1998). *Subsistema productivo. Grupo Pecuario. Descripción y diagnóstico de la actividad pecuaria en Jalisco.* U de G. UAG, SEDER, INIFAP.
- SAGARPA.** (2000). *Boletín informativo.* Delegación Jalisco. Subdelegación de Planeación.
- SARAN, A., CHAFFER, M.** (2000). "Mastitis y calidad de la leche". *Intermédica* **194**: 18–21. Buenos Aires. Argentina.
- STEEL, R.G.D., TORRIE, J.H. Y DICKEY, M.** (1997). "Principles and Procedures of Statistics". *A Biometrical Approach.* MacGraw-Hill Book Company In Company (second edition). New York.
- WOLTER, W., KLOPPERT, B., ZSCHÖCK, M. Y CASTAÑEDA, H.** (1999). "La Mastitis de los bovinos". *Memorias del curso México-Alemania de Mastitis en Bovinos.* Centro de estudios en zoonosis y epidemiología. Dpto. Salud Pública. CUCBA. U.de G.
- WOLTER, W., CASTAÑEDA, H., KLOPPERT, B. Y ZSCHÖCK, M.** (2004). "Mastitis bovina, Prevención, diagnóstico y tratamiento". 1ª. Edición. Editorial Universitaria. Universidad de Guadalajara. México. 146–153.

Análisis de la estructura dimensional de un bosque tropical en Jalisco, México

Gerardo Alberto González-Cueva¹, Agustín Gallegos Rodríguez¹, José Javier Corral Rivas² y Efrén Hernández Álvarez¹

¹Departamento de Producción Forestal, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara, Km. 15.5 Carretera Guadalajara – Nogales, Las Agujas, Zapopan, Jalisco.

²Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango, Río Papaloapan y Blvd. Durango s/n, Col. Valle del Sur, Durango, México.

Resumen

El presente trabajo es una caracterización de la estructura dimensional del estrato arbóreo en el bosque tropical subcaducifolio en la cuenca La Quebrada, Jalisco, México, empleando índices cuantitativos que permiten reproducir la condición del bosque en diferentes momentos, obteniendo un monitoreo de su evolución a través del tiempo. En tres parcelas experimentales de 2 500 m² cada una, ubicadas en la unidad ecológica con mayor superficie de La Quebrada, se registraron todos los árboles con $d_{1.3} > 10$ cm, identificando la especie, diámetro y su ubicación espacial sobre el terreno. Se consideraron grupos de cinco árboles para aplicar el Índice de Diferenciación Diamétrica *TDi* y de Dominancia *Ui*. Los resultados mostraron que se trata de un bosque denso con un promedio de 35.33 m² ha⁻¹ de área basal, se registraron un total de veinticinco especies, siendo las más abundantes *Brosimum alicastrum*, *Couepia polyandra* y *Hura polyandra*. Los valores medios de *TDi* permiten inferir que en la P_1 y P_2 la diferenciación dimensional es muy alta y en la P_3 es alta. Los valores medios de *Ui* indican que la mayoría de los árboles son codominantes en las tres parcelas, pero analizando las frecuencias de los grupos estructurales en la P_1 y P_2 la mayor parte de los árboles son muy dominantes y en la P_3 casi la mitad son codominantes.

Palabras clave: estructura dimensional, bosque tropical, índices cuantitativos.

Abstract

In this work is presented the characterization of dimensional structure of a semi evergreen tropical forest at La Quebrada, Jalisco, Mexico, by means of quantitative index that allow to see forest conditions throughout the time to obtain a monitoring. Three experimental plots of 2 500 m² in the biggest ecology unit were established. Diameter_{1.3} > 10 cm, specie and spatial location were the variables measured for every tree. Several neighborhood-based indices were used via the so-called “structural group of five trees” sampling method. The *TDi* diametric differentiation and *Ui* dominance indexes were applied. The results indicate that this forest is dense with a basal area average of 35.33 m²·ha⁻¹. Twenty five species were found, being the most abundant *Brosimum alicastrum*, *Couepia poyandra* and *Hura polyandra*. The medium values of *TDi* showed that the dimensional differentiation in the P_1 and P_2 was very high and in the P_3 was just high. The medium values of *Ui* indicate that the majority of trees are codominants in the three plots, but analyzing the frequency of structural group of five trees in the P_1 and P_2 show that majority of trees are very dominants while in the P_3 almost half are codominants.

Keywords: dimensional structure, tropical forest, quantitative index.

Introducción

Los bosques tropicales son ecosistemas de gran diversidad biológica, importantes en el mantenimiento de condiciones climáticas e hidrológicas a nivel local y global; proveen de bienes y servicios a sus poseedores; sin embargo, se distribuyen en países donde el nivel tecnológico aplicado en su manejo es deficiente y la presión demográfica sobre ellos es grande.

Lamprecht (1990) menciona que las grandes diferencias de clima y suelos que existen en las latitudes

bajas, originan una multitud extraordinaria de tipos de bosque, según su composición, estructura y valor económico. Debido a esto, los sistemas de clasificación existentes permiten la asignación de un determinado bosque a una u otra formación forestal mayor, que da una idea general respecto a su estructura, composición y condiciones del ambiente. Sin embargo, no son suficientes como base para la planificación silvicultural local, ni para la ejecución de ésta, más bien se requiere información exacta sobre las especies arbóreas

locales, su proporción, distribución, las masas en pie, desarrollo de los vuelos, etcétera, el sistema debe proporcionar datos dasonómico-silviculturales amplios, unívocos y objetivos.

El bosque tropical subcaducifolio, según la definición de Rzedowski (1978) es un tipo de vegetación que se caracteriza porque más de la mitad de los árboles pierden por completo sus hojas en la temporada de sequía. Sus equivalencias con otros sistemas de clasificación para tipos de vegetación son: selva alta subdecidua (Miranda 1952), selva alta o mediana subcaducifolia (Miranda y Hernández X. 1963), bosque deciuo semihúmedo (Lauer 1968) y selva mediana subcaducifolia o selva mediana subperennifolia (Flores 1971).

Este tipo de vegetación alberga especies maderables como *Cedrela odorata*, *Bursera simaruba*, *Swietenia humilis* y *Enterolobium cyclocarpum* (Pennington y Sarukhán 2005). Además, en la región también son especies maderables importantes *Brosimum alicastrum*, *Hura polyandra*, *Tabebuia donell-smithii*, *Tabebuia rosea* y *Dalbergia congestiflora* (Mora 2006, com. pers.). Por tanto, este tipo de vegetación tiene importancia desde el punto de vista ecológico, económico y ambiental.

Sin embargo, no sólo existe un interés en estos bosques por su potencial para el aprovechamiento maderable, la diversidad biológica que albergan es un recurso potencialmente útil para las localidades y la región.

Sánchez-Azoefa et al. (2005) consideran como una prioridad de investigación en los bosques secos neotropicales establecer estudios sobre la composición, estructura, fenología, grupos funcionales y procesos de regeneración natural en un gradiente latitudinal. Si se considera la riqueza florística y la complejidad estructural de los bosques tropicales, es de suma importancia conocer con detalle las características estructurales de cada tipo de bosque en particular.

Gadow y Hui (2002) mencionan que la caracterización de la estructura del estrato arbóreo de los ecosistemas forestales debe basarse en índices cuantitativos que permitan analizar objetivamente influencias antropogénicas o procesos de sucesión natural. El atributo estructura de un ecosistema se define básicamente por el tipo, número, ordenamiento espacial y ordenamiento temporal de los elementos que lo constituyen.

Aguirre et al. (2003) afirman que los índices para la caracterización de la estructura de los ecosistemas permiten una mejor reproducción de la condición de los mismos en un momento determinado y de su evolución en el tiempo. Tales índices deben considerarse adicionalmente a las variables empleadas de manera convencional (diámetro y altura media, área basal,

volumen, edad, densidad, etcétera), a fin de lograr una mejor descripción de los bosques.

Así mismo, la diferenciación de tamaños en la estructura vertical y horizontal determinan la variación espacial, condiciones microclimáticas, disponibilidad de recursos y variedad de nichos, afectando de manera directa e indirecta la diversidad biológica (Spies 1998; Brokaw y Lent 1999).

Por lo anterior se hace necesario implementar investigaciones dirigidas al análisis estructural de ecosistemas forestales tropicales, obteniendo información cuantitativa que apoye la toma de decisiones en el manejo forestal sustentable.

El objetivo del presente trabajo es contribuir al conocimiento sobre la estructura del estrato arbóreo del bosque tropical subcaducifolio de la cuenca La Quebrada, en la región Costa de Jalisco, México.

Objetivos

- Caracterizar la diferenciación dimensional a través del índice de diferenciación diamétrica *TDi*.
- Caracterizar la dominancia de las especies a través del índice de dominancia *Ui*.

Materiales y métodos

Localización del área de estudio

El estudio se realizó en la microcuenca La Quebrada, municipio de Tomatlán, Jal. (figura 1) localizada aproximadamente a 70 km al sur de Puerto Vallarta y a 450 km de Guadalajara, Jalisco; ubicada entre los paralelos 105° 05' longitud W y 19° 55' latitud N con una superficie aproximada de 4,462 ha (SPP 1973).

Se localiza en la provincia fisiográfica de la Sierra Madre del Sur, su rango altitudinal oscila de 100 a 760 msnm; el clima es cálido subhúmedo con lluvias en verano; precipitación promedio anual de 1,408 mm y temperatura media anual de 25.8 °C. Se presentan asociaciones de unidades de suelo como: regosol eútrico, cambisol eútrico, cambisol crómico, feozem háplico, litosol. La clase textural es gruesa. Los elementos del estrato superior comúnmente tienen fustes rectos y esbeltos que no se ramifican en la parte inferior de la planta y el diámetro de la copa suele ser mucho menor que la altura total del árbol. Los diámetros de los fustes pocas veces sobrepasan 1 m y de ordinario oscilan entre 30 y 80 cm. En Jalisco la especie dominante del bosque tropical subcaducifolio es *Brosimum alicastrum* Capomo, otros árboles altos presentes frecuentemente son *Astronium graveolens* Culebro, *Bursera simaruba* Papelillo, *Enterolobium cyclocarpum* Parota, *Ficus* sp. Higueras, *Hura polyandra* Habilidad, *Roseodendron donell-smithii* Prima-



Figura 1. Localización del área de estudio.

vera, *Swietenia humilis* Caoba y *Tabebuia rosea* Rosa morada (Rzedowski 1978) (figura 2).

El tipo de vegetación existente alberga especies maderables de interés comercial, por lo que se han realizado aprovechamientos mediante el sistema silvícola Plan Costa de Jalisco desde hace 20 años aproximadamente. Los tratamientos aplicados son cortas de selección, lo que hace difícil conocer puntualmente las áreas de corta. Además se practica la ganadería extensiva en toda la zona de estudio.

Información de campo

Se seleccionaron tres parcelas de muestreo de forma cuadrada, cuyas dimensiones son de 50 × 50 m, con una superficie de 2,500 m² cada una. Se tomó la ubicación de las parcelas con un geoposicionador. Para la elección de las parcelas se consideró la rodalización ecológica aplicada por Hernández et al. (2005), la cual consiste en definir unidades homogéneas en función del sustrato geológico, tipo de suelo, rango altitudinal y tipo de vegetación; se eligió entonces la unidad ecológica de mayor superficie con un 48.19% del total de la microcuenca La Quebrada, para ubicar las tres parcelas de muestreo.

Dentro de cada parcela se registraron todos los árboles con $d_{1.3} > 10$ cm, identificando a qué especie corresponde cada individuo y su ubicación espacial sobre el terreno, al obtener sus distancias en ejes coordenados. Cabe señalar que se contó con guías de campo de la localidad que identificaron la especie de acuerdo a su nombre común y después se verificaron con listados florísticos para obtener el nombre científico. En el caso de especies no conocidas se colectaron



Figura 2. Bosque tropical subcaducifolio La Quebrada, Jalisco, México.

ejemplares de herbario para su correcta identificación.

Índice de diferenciación dimensional

Los índices de diferenciación dimensional describen la relación entre un árbol i y su vecino próximo j y se definen por el cociente entre una variable dimensional del árbol más pequeño y la correspondiente del árbol mayor, sustraído de 1 (Füldner y Gadov 1994). La diferenciación diamétrica TDi , por ejemplo, se obtiene mediante la función:

$$TDi = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n tdij$$

Donde:

$tdij$ se deriva de la relación de los diámetros normales de árboles vecinos sustraída de 1:

$$td_{ij} = 1 - \frac{\text{menor}(d_{1,3i}, d_{1,3j})}{\text{mayor}(d_{1,3i}, d_{1,3j})}$$

El valor medio de diferenciación diamétrica es:

$$TD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N TD_i$$

N = número de árboles del rodal.

Un valor $TD_i = 0$ significa que ambos árboles tienen el mismo diámetro normal. Conforme la diferencia de los diámetros incrementa, crece también el valor de TD_i .

Índice de dominancia

La dominancia se define por las dimensiones que una especie alcanza y está dada por las características genéticas de cada especie, pero sobre todo por el uso que hace cada especie de los recursos disponibles y se relaciona además con las dimensiones de los individuos que están en competencia dentro del ecosistema.

La dominancia de un árbol de referencia i (U_i) se define como la proporción de los cuatro vecinos que son más grandes que dicho árbol (Gadow y Hui 2002). Los valores de esta variable van de 0 a 1: $U_i = 0.00$ si los cuatro vecinos son más grandes que el árbol de

referencia i (suprimido); $U_i = 0.25$ si tres de los vecinos son más grandes que el árbol de referencia i (intermedio); $U_i = 0.50$ si dos de los vecinos son más grandes que el árbol de referencia i (codominante); $U_i = 0.75$ si uno de los cuatro vecinos es más grande que el árbol de referencia i (dominante) y $U_i = 1$ si ninguno de los árboles es más grande que el árbol de referencia i (muy dominante). Los cinco valores de U_i corresponden a las clases sociales desarrolladas por Kraft (1884).

La función de la dominancia media para la parcela puede conocerse con la siguiente función:

$$\bar{U}_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_j$$

Donde:

N = Número de árboles en la parcela

v_j = valores que oscilan entre 0.00 y 1 de acuerdo a la categoría de dominancia del árbol i .

Resultados

Características dasométricas

Las parcelas evaluadas en este bosque tropical presentaron diferentes características dasométricas (cua-

Cuadro 1. Datos correspondientes a la P_1 . N =número de árboles; G =área basal; S =Desviación estándar.

ESPECIE	N/ha		G/ha (m ²)		Diámetro (cm)			
	Absoluto	Relativo	Absoluta	Relativa	Máximo	Mínimo	Promedio	S
<i>Luehea speciosa</i>	16	5.3	0.2	0.5	14	11.5	12.5	1.2
<i>Jacaratia mexicana</i>	16	5.3	0.5	1.4	28	12	19.8	7.9
<i>Brosimum alicastrum</i>	56	18.4	23.3	58.5	128.5	12.5	61.7	40.2
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	28	9.2	1.2	2.9	30	15.5	22.6	4.7
<i>Swietenia humilis</i>	4	1.3	0.1	0.3	19	19	19.0	0.0
<i>Astronium graveolens</i>	16	5.3	1.1	2.8	34	25.5	29.9	3.7
<i>Hura polyandra</i>	56	18.4	5.5	13.8	53.5	11	34.4	13.3
<i>Tremula micrantha</i>	8	2.6	0.1	0.3	15	12	13.5	2.1
<i>Acacia hindsii</i>	4	1.3	0.1	0.1	13	13	13.0	0.0
<i>Sapium pedicellatum</i>	4	1.3	0.0	0.1	10	10	10.0	0.0
<i>Bursera simaruba</i>	24	7.9	1.0	2.5	38	14.5	21.6	8.8
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	4	1.3	0.0	0.1	10	10	10.0	0.0
<i>Poeppigia procera</i>	8	2.6	0.1	0.3	17.5	11	14.3	4.6
<i>Cupania dentata</i>	8	2.6	0.2	0.4	18	15.5	16.8	1.8
<i>Cnidocolus</i> sp.	20	6.6	0.5	1.3	30	13	12.0	17.0
<i>Tabebuia rosea</i>	20	6.6	1.5	3.8	56.5	12	12.0	26.6
<i>Dalbergia congestiflora</i>	4	1.3	0.2	0.6	27	27	27.0	0.0
<i>Ficus cotinifolia</i>	4	1.3	4.0	10.1	113	113	113.0	0.0
<i>Zanthoxylon</i> sp.	4	1.3	0.1	0.1	13.5	13.5	13.5	0.0
TOTAL	304	100.00	39.8	100.00				

Cuadro 2. Datos correspondientes a la P₂. N=número de árboles; G=área basal; S=Desviación estándar.

ESPECIE	N/ha		G/ha (m ²)		Diámetro (cm)			
	Absoluto	Relativo	Absoluta	Relativa	Máximo	Mínimo	Promedio	S
<i>Luehea speciosa</i>	24	10.7	0.9	2.6	33	13	21.0	7.7
<i>Brosimum alicastrum</i>	28	12.5	15.1	41.9	100	64	81.6	14.8
<i>Pseudobombax ellipticum</i>	12	5.4	1.3	3.7	56	20	34.0	19.3
<i>Sapium pedicellatum</i>	8	3.6	0.3	0.7	21	20	20.5	0.7
<i>Astronium graveolens</i>	4	1.8	0.4	1.2	37	37	37.0	0.0
<i>Tremula micrantha</i>	4	1.8	0.1	0.2	16	16	16.0	0.0
<i>Bursera simaruba</i>	4	1.8	0.1	0.2	13	13	13.0	0.0
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	4	1.8	0.1	0.4	20	20	20.0	0.0
<i>Cupania dentata</i>	40	17.9	1.1	3.1	24	13	18.5	3.7
<i>Cnidocolus</i> sp.	20	8.9	0.3	0.9	18	12	14.0	2.4
<i>Couepia polyandra</i>	76	33.9	16.2	45.2	78	14	48.1	20.6
TOTAL	224	100.00	35.93	100.00				

Cuadro 3. Datos correspondientes a la P₃. N=número de árboles; G=área basal; S=Desviación estándar.

ESPECIE	N/ha		G/ha (m ²)		Diámetro (cm)			
	Absoluto	Relativo	Absoluta	Relativa	Máximo	Mínimo	Promedio	S
<i>Vitex pyramidata</i>	4	2.1	0.6	1.8	42	42	42.0	0.0
<i>Luehea speciosa</i>	8	4.3	0.3	1.2	28	18	23.0	7.1
<i>Jacaratia mexicana</i>	4	2.1	0.1	0.3	16	16	16.0	0.0
<i>Brosimum alicastrum</i>	52	27.7	19.7	65.1	105	23	65.2	25.0
<i>Bursera excelsa</i>	4	2.1	0.1	0.2	15.5	15.5	15.5	0.0
<i>Platymiscium lasiocarpum</i>	4	2.1	0.1	0.4	20	20	20.0	0.0
<i>Halimium glomeratum</i>	4	2.1	0.0	0.1	12	12	12.0	0.0
<i>Oreopanax</i> sp.	4	2.1	0.6	2.0	44	44	44.0	0.0
<i>Bursera simaruba</i>	8	4.3	0.3	0.9	25	16	20.5	6.4
<i>Cupania dentata</i>	16	8.5	0.4	1.4	21	15	18.1	2.7
<i>Cnidocolus</i> sp.	16	8.5	0.2	0.7	14.5	13	13.4	0.8
<i>Tabebuia rosea</i>	4	2.1	0.0	0.1	12	12	12.0	0.0
<i>Couepia polyandra</i>	60	31.9	7.8	25.6	70	17	36.9	17.4
TOTAL	188	100.00	30.26	100.00				

dros 1, 2 y 3). Se obtuvo una densidad de 304 árboles ha⁻¹ en la P₁, 224 árboles ha⁻¹ en la P₂ y 188 árboles ha⁻¹ en la P₃. Respecto al área basal que Wadsworth (2000) define como una medida de la densidad del bosque que refleja la cantidad de árboles y su tamaño, se obtuvieron 39.8 m² ha⁻¹ en la P₁, 35.93 m² ha⁻¹ en la P₂ y 30.26 m² ha⁻¹ en la P₃, puede observarse que hay una alta variación en el número de árboles por hectárea, no así en el valor de área basal. El área basal es superior a la de bosques similares, por ejemplo Killen et al. (1998) reportan 27.6 m² ha⁻¹ en bosques tropicales nativos de Bolivia; Quigley y Platt (2003) reportan 31.6 m² ha⁻¹ en Palo Verde, Costa Rica, lo cual sugiere

que este bosque tropical tiene una densidad correspondiente a la condición de un bosque nativo.

La riqueza de especies fue de 19 en la P₁, 11 en la P₂ y 13 en la P₃, con un total de 25 especies, de las cuales sólo 5 son comunes a las tres parcelas. En el nivel de familias se registraron en la P₁ 11, P₂ 10 y P₃ 11, de las cuales sólo 4 están representadas en las tres parcelas, siendo las más importantes por el número de especies Leguminosae, Euphorbiaceae y Moraceae.

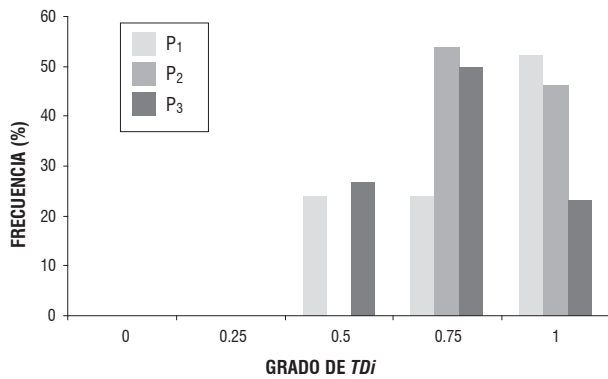


Figura 3. Distribución del valor del índice de diferenciación diamétrica para tres parcelas experimentales en el bosque tropical subcaducifolio de La Quebrada, Jalisco, México.

Diferenciación dimensional

La diferenciación dimensional muestra una alta heterogeneidad para las tres parcelas. Los valores medios de la diferenciación diamétrica fueron $TDi_1 = 0.83$, $TDi_2 = 0.87$ y $TDi_3 = 0.75$. Analizando la representación gráfica (figura 3) puede observarse que en la P_1 más del 50% de los árboles se diferencian en diámetro de sus cuatro vecinos más próximos; en la P_2 más del 50% de los árboles se diferencian en diámetro con tres de sus cuatro vecinos más cercanos y en la P_3 el 50% de los árboles se diferencian en su dimensión diamétrica con tres de sus cuatro vecinos más próximos.

Índice de dominancia

El U_i promedio fue en la $P_1=0.47$, $P_2=0.50$ y $P_3=0.51$, lo cual indica que la mayoría de los árboles tienen una posición social codominante. Puede apreciarse la distribución de frecuencias de la dominancia para los grupos estructurales de cinco árboles (figura 4) y muestra el detalle de cómo en la P_1 el 70% de los individuos arbóreos son muy dominantes y el resto tienen la categoría de dominantes. La P_2 a su vez indica que el 65% de los árboles son muy dominantes, un 20% son codominantes y el 15% restante está en la categoría de intermedios. En la P_3 la tendencia es distinta y se observa que el 38% de los árboles son codominantes, 26% son muy dominantes, 23% son dominantes y el 12% restante está en la categoría de intermedios.

A continuación se detalla (figura 5) el U_i para la especie *Brosimum alicastrum*, donde puede apreciarse que en la P_1 y P_2 los árboles son dominantes y muy dominantes y en la P_3 hay árboles intermedios, codominantes, dominantes y muy dominantes.

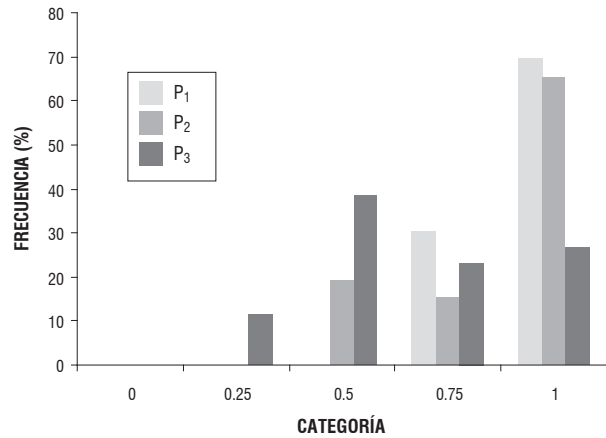


Figura 4. Distribución del valor del índice de dominancia para tres parcelas experimentales en el bosque tropical subcaducifolio de La Quebrada, Jalisco, México.

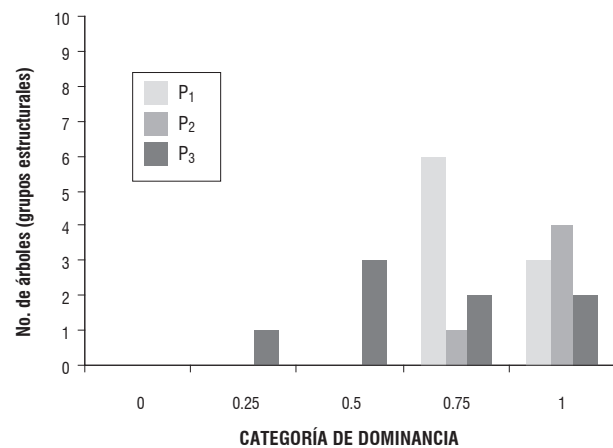


Figura 5. Índice de Dominancia para *Brosimum alicastrum*.


Conclusiones

Los índices aplicados para la caracterización de la estructura dimensional permitieron describir de manera eficiente el estrato arbóreo en las parcelas evaluadas.

Las características dasométricas de las tres parcelas permiten concluir que este bosque es denso, las especies más abundantes y dominantes son *Brosimum alicastrum*, *Couepia polyandra* y *Hura polyandra*.

La diferenciación diamétrica encontrada en los grupos estructurales de cinco árboles es muy alta, como consecuencia del aprovechamiento selectivo aplicado.

La dominancia de los árboles es alta, teniendo la mayor parte de los grupos estructurales de cinco árboles con el árbol de referencia en una posición dominante.

La estructura dimensional del estrato arbóreo en las tres parcelas, es evidencia de la alta competencia ente individuos. 

Referencias

- AGUIRRE, C. O. A., HUI G., VON GADOW K. AND JIMÉNEZ P. J. (2003). "An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables". *Forest Ecology and Management* **183**: 137–145.
- BROKAW, N. V. L. AND LENT, R. A. (1999). "Vertical structure" In Hunter, M.L., Jr. (ed.). *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*. Cambridge Uni. Press, Cambridge, United Kingdom. pp 373–399.
- FLORES M., JIMÉNEZ L., MADRIGAL S., MONCAYO R. Y TAKAKI T. (1971). "Memoria del mapa de tipos de vegetación de la República Mexicana". Secretaría de Recursos Hidráulicos. México D. F. 59 pp.
- FÜLDNER, K., GADOW, K. v. (1994). "How to Define a Thinning in a Mixed Deciduous Beech Forest. Mixed Stands. Research Plots. Measurements and Results Models". *Proceedings from the Symposium of the IUFRO Working Groups S4.01-03 S4-01-04 in Lousã/Coimbra. Portugal*. pp: 31–42.
- GADOW, K. v. y HUI, G. (2002). "Characterizing forest spatial structure and diversity" Manuscript prepared for the "Sustainable Forestry in Temperate Regions" Organized by SUFOR, University of Lund, Sweden, 7–6 April 2002.
- HERNÁNDEZ, A. E., RODRÍGUEZ F. C., GALLEGOS R. A., MORA S. A. Y ABUNDIO R. E. (2005). "El modelo ecológico para definir Unidades de Manejo en Bosques Tropicales de la Costa de Jalisco, México" *Memorias del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. Universidad Autónoma de Chihuahua.
- KILLEN, T. J., JARDIM A., MAMANI F. Y ROJAS N. (1998). "Diversity, composition and structure of a tropical semideciduous forest in the Chiquitanía. Region of Santa Cruz, Bolivia" *Journal of Tropical Ecology* **14**: 803–827.
- KRAFT, G. (1884). "Beiträge zur lehre von den durchforstungen, schlagstellungen und lichtungshieben". Verla Keindworth, Hannover. 147 p.
- LAMPRECHT, H. (1990). "Silvicultura en los trópicos". Traducción de Antonio Carrillo. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Alemania. 202 p.
- LAUER, W. (1968). "Problemas de la división fitogeográfica en América Central. In: *Geoecología de las regiones montañosas de las Américas Tropicales*" F. Duemmlers Verlag. Bonn. pp. 139–156.
- MIRANDA, F. (1952). "La vegetación de Chiapas". Ediciones del Gobierno del Estado, Tuxtla Gutiérrez. 2 vols.
- MIRANDA, F. Y HERNANDEZ X. (1963). "Los tipos de vegetación de México y su clasificación". *Bol. Soc. Bot. Méx.* **28**: 29–179.
- MORA, S. A. 2006. *Comunicación personal*.
- PENNINGTON, T. D. Y SARUKHÁN J. (2005). "Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies". Ediciones Científicas Universitarias, FCE y UNAM. 523 pp.
- QUIGLEY, M. I., PLATT, W. J. (2003). "Composition and structure of seasonally deciduous forests in the Americas". *Ecological Monographs* **73**(1): 87–106.
- RZEDOWSKI, J. (1978). "Vegetación de México". Ed. LIMUSA. México. 432 p.
- SÁNCHEZ-AZOFEIFA, G. A., QUESADA M., RODRÍGUEZ J. P., NASSAR J. M., STONER K. E., CASTILLO A., GARVIN T., ZENT E. L., CALVO-ALVARADO J. C., KALACSKA M. E. R., FAJARDO L., GAMON J. A., CUEVAS-REYES P. (2005). "Research priorities for Neotropical Dry Forests". *Biotropica* **37**(4): 477–485.
- SPP (SECRETARÍA DE PROGRAMACIÓN Y PRESUPUESTO). (1973). *Tomatlán. Carta Topográfica*. E13 A19. Escala 1:50,000.
- SPIES, T. A. (1998). "Forest Structure: A key to the ecosystem" *Northwest Sci.* **72**, special issue No. 2: 34–39.
- WADSWORTH, F. H. (2000). "Producción Forestal para América Tropical". IUFRO-SPDC (Text book Project No. 3) Servicio Forestal, Departamento de Agricultura 710-S. 563 pp.

Implementación de buenas prácticas de higiene para la leche cruda entera con la que se elabora el queso Cotija

Rebeca Flores Magallón y Gilberto Vázquez Gálvez

Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) IPN
Unidad Michoacán. Justo Sierra N° 28., C.P. 59510, Tel/Fax: 01 353 53 3 0218. Jiquilpan, Michoacán.
Correo electrónico: rbk_fm@hotmail.com

Resumen

Con el propósito de mejorar la calidad de la leche que se utiliza en la elaboración del queso Cotija, mediante la aplicación de las Buenas Prácticas de Higiene (BPH), se realizaron estudios en 20 explotaciones lecheras del municipio de Cotija, Michoacán, en el periodo comprendido de julio 2008 a noviembre 2009. Se realizaron muestreos mensuales en dos etapas: la primera antes de la aplicación del programa BPH; y la segunda, después de aplicarlo. Se encontró que antes de la implementación de las BPH los recuentos bacterianos fluctuaron entre $5.39 \log_{10}$ UFC/ml y $6.90 \log_{10}$ UFC/ml, ubicándose el 9.11% para BMA, en el caso de OCT el 73.52% registro valores entre 4.56 y $5.56 \log_{10}$ UFC/ml, el cual supera el valor sugerido por el NXM-F-700-SCFI-2004. Para la segunda etapa, sólo siete muestras superaron el límite de referencia con un promedio de 6.75, valores que se atribuyen a la implementación de las BPH. Por lo tanto, se puede concluir que en función de los indicadores antes señalados las explotaciones bovinas lecheras se encuentran en un proceso de mejoramiento continuo de la calidad de la leche.

Abstract

In order to improve the quality of milk used in the Cotija cheese making through application of Good Hygienic Practices (GHP), studies were conducted in 20 dairy farms in the town of Cotija, Michoacán, in the period understood from July 2008 to November 2009. Samples were collected monthly in two stages: the first before the implementation of BPH program implementation and the second, after applying. It was found that before the implementation of GHP bacterial counts ranged from $5.39 \log_{10}$ CFU / ml and $6.90 \log_{10}$ CFU / ml, reaching the 9.11% for BMA, in the case of the 73.52% record OCT values between 4.56 and $5.56 \log_{10}$ CFU / ml, which exceeds the value suggested by NXM-F-700-SCFI-2004. For the second stage, only 7 samples exceeded the reference limit with an average of 6.75, values attributed to the implementation of BPH. Therefore, one can conclude that based on the aforementioned indicators dairy cattle farms are in a process of continuous improvement of milk quality.

Introducción

La calidad de leche producida en las granjas lecheras es afectada por factores de contaminación como: equipo de ordeño, agua, utensilios, la vaca, el mismo ordeñador, que pueden aportar bacterias cuando no se lleva un control adecuado de la temperatura de almacenamiento de la leche (Abu et al. 2001), ocasionando que el producto pueda deteriorarse, provocando pérdidas económicas para el productor (Dracley et al. 2000).

En algunos países cuando la leche no cumple con los límites de los parámetros establecidos por la industria, esto se ve reflejado en el pago (Abu et al. 2001).

Existen normas microbianas las cuales permiten apreciar el nivel de higiene con el cual un alimento ha sido obtenido, procesado y almacenado (Evers et al. 2000).

Con el propósito de establecer criterios y evaluar la calidad microbiológica de la leche se hace necesario trabajar con programas que garanticen mejorar la inocuidad del producto, una opción es la implementación de las BPH que son una herramienta definida como las etapas y procedimientos generales que mantienen bajo control las condiciones operacionales dentro del proceso de un establecimiento y que permite condiciones favorables para la producción de alimentos inocuos (Caballero 2000).

El queso Cotija, originario de la región del mismo nombre en el estado de Michoacán, posee gran aceptación en el mercado mexicano por sus características organolépticas y su consumo va en aumento, incluso en el extranjero, donde ha llegado a recibir reconocimientos por su sabor característico. Este queso es un producto artesanal que se obtiene a partir de la leche cruda de vaca, presenta una textura frágil, es de sa-

bor fuerte y posee un alto contenido de sal. Es uno de los pocos quesos maduros que se consumen en el país (Barragán y Chávez 1998), sin embargo, las condiciones higiénicas del proceso de extracción de la leche son deficientes. Por lo tanto el objetivo fue mejorar la calidad de la leche, a través de la implementación de un programa de BPH que permita reducir las cargas bacterianas en la leche que se emplea para la elaboración de este queso, así como la de mejorar procedimientos de limpieza y desinfección del equipo, utensilios y superficies que se emplean durante el proceso de extracción.

Métodos

Se realizaron 10 muestreos mensuales durante la etapa de ordeño (julio–noviembre) 2008–2009, en 20 explotaciones bovinas del poblado La Troja del estado de Michoacán, México. Los criterios de inclusión fueron productores con características similares en cuanto a instalaciones de ordeño, número de vacas y que estuvieran dispuestos a mejorar la calidad de la leche. Para realizar mejoras al proceso de extracción de la leche, se estableció un diagnóstico actual de la calidad y posteriormente se implementó un programa de BPH, los cuales se enfocaron a instalaciones físicas, sanitarias, equipo, limpieza y desinfección, control de las operaciones, transporte y capacitación. Los muestreos fueron divididos en dos etapas: la primera, previa a mejorar las condiciones sanitarias de las explotaciones y una segunda etapa después de una serie de mejoras.

Toma de muestras

Para la recolección de las muestras se tomaron 100 ml de leche en frascos de vidrio estériles. Cabe mencionar que cada una de las etapas se realizó durante dos meses y el resto de los meses se establecieron mejoras y cursos de capacitación.

Análisis microbiológico

Las determinaciones microbiológicas fueron: Bacterias Mesófilas Aerobias (BMA) y Coliformes Totales (CT), tanto en leche cruda entera como en equipo, superficies y utensilios. El método aplicado para cada determinación fue el propuesto por la NOM-092–SSA1-1994 para BMA y la NOM-113–SSA1-1994 para CT.

En un lapso no mayor de dos horas de obtenidas las muestras, se procesaron en el laboratorio de Microbiología de los Alimentos del CIIDIR-Michoacán.

Diseño experimental

Para las variables Bacterias Mesófilas Aerobias y Coliformes Totales se utilizó un diseño experimental de muestras apareadas, donde las observaciones de los dos tratamientos (antes y después de la aplicación de las Buenas Prácticas de Higiene) en leche se compararon aplicando la prueba de t student a un nivel de significancia del 0.05 (Wayne 1990).

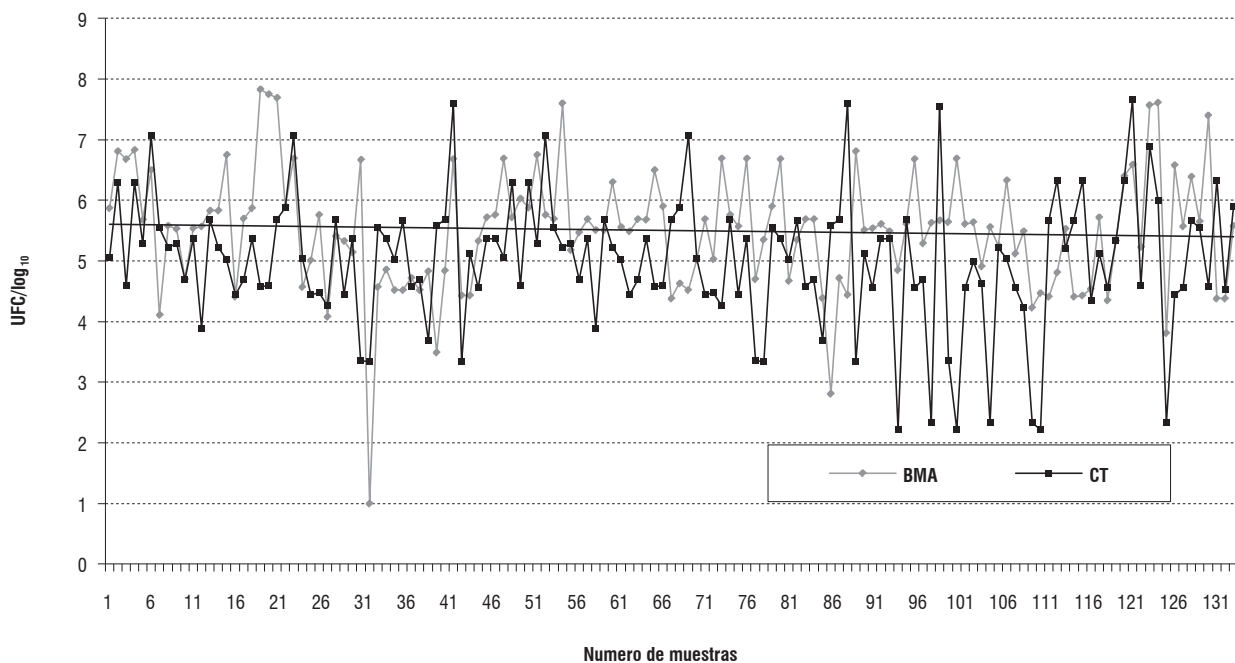


Figura 1. Dispersión de la carga bacteriana en explotaciones bovinas lecheras primer etapa.

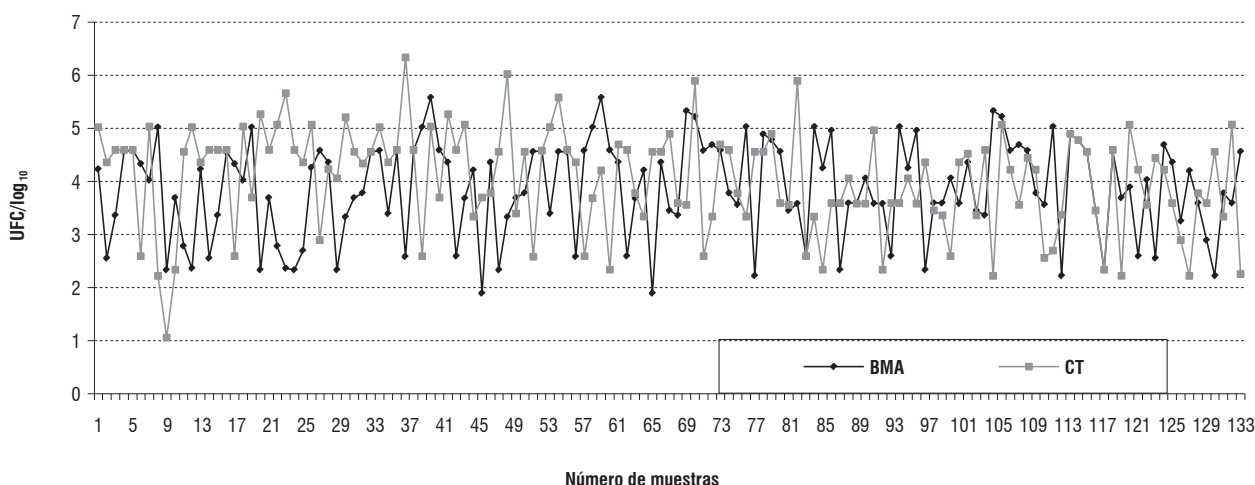


Figura 2. Dispersión de la carga bacteriana en explotaciones bovinas segunda etapa.

Resultados y discusión

En los análisis obtenidos de la etapa I, las explotaciones lecheras se evidenciaban por un deficiente estado tanto en instalaciones como en el aspecto de sanidad. En la figura 1, se observa que el 69.11% para BMA, se ubicó entre 4.93–5.90 \log_{10} UFC/ml, el 23 % correspondió a intervalos entre 6.70–7.50 \log_{10} UFC/ml, valores que superan el límite establecido por la NMX-F-700-SCFI-2004., la cual establece como límite de referencia 10^6 UFC/ml.

Este valor es muy amplio si se compara con lo que establecen otras organizaciones internacionales como aceptable 10^5 UFC/ml, sin embargo, estas organizaciones mencionan que para estas explotaciones con poca infraestructura es muy probable que no se puedan aplicar estos controles, por razones financieras y de recursos humanos, la falta de personal especializado, infraestructura adecuada u otras razones importantes (oct 2003).

Referente a CT, el 74% registró valores entre 4.45 y 5.56 \log_{10} UFC/ml, el 13 % se ubicó entre 6.58–7.33 \log_{10} UFC/ml. Sin embargo, en el país no existe un valor de referencia en el que se pueda establecer un límite para este grupo indicador.

Existe un reglamento de control sanitario que incluye especificaciones para leche cruda como la manera en que debe ser transportada, la venta prohibida en vía pública, los envases de leche, características de la leche destinada para consumo humano directo y se emplee como materia prima para la elaboración y para la obtención de productos (Gallardo y Rafaela 2003).

Algunas veces los compradores establecen el precio e incentivos para la leche con una cuenta baja de bacterias (Howhual y Vindal 2003).

En trabajos realizados sobre el ordeño manual se ha demostrado la importancia en la preparación de la mama y puede consistir en un simple masaje o una fricción con un paño con agua caliente a 60 °C, así se excitara la secreción de la oxitocina por el calor aplicado, que es transportada por la sangre hasta la mama, donde se da la eyección (Gallardo y Rafaela 2003). Por lo general los primeros chorros de leche arrastran microorganismos, por ello es preciso recolectarlos aparte para no contaminar el resto de la leche (Evers et al. 2000).

Los factores que pueden influir en el crecimiento de los microorganismos son: la salud e higiene del animal, y el medio ambiente en el que las vacas se encuentran y son ordeñadas (Murphy y Boor 2000).

Para la segunda etapa de muestreo después de haber iniciado un programa de mejoras higiénicas y operativas en el proceso de obtención de la leche, el 78% de los resultados de BMA se ubicaron entre 2.57 y 3.55 \log_{10} UFC/ml, comparado con los que se obtuvieron en la primera etapa la diferencia es altamente significativa, así mismo estos datos se encontrarían dentro de lo estipulado por la NMX-F-700-SCFI-2004, el 16% correspondió a recuentos obtenidos de 4.71 \log_{10} UFC/ml, solamente el 5% de las muestras superaron los límites referenciados.

La Subsecretaría de Regulación y Fomento Sanitario maneja como límite máximo de BMA para leche cruda grado A 5 \log_{10} UFC/ml. Este mismo es el utilizado por la FDA. El 77% de las muestras analizadas en este estudio se ubicó dentro de este límite.

En Estados Unidos como límite de calidad en BMA para la leche cruda $\leq 4 \log_{10}$ UFC/ml a diferencia por el límite regulatorio por industria lecheras $\leq 5 \log_{10}$ UFC/ml (Murphy y Boor 2000).

Los CT registraron el 67% de las muestras entre 3.55 y 4.24 log₁₀ UFC/ml, valores que aun se encuentran superiores al de la NOM-F-700-SCFI-2004, sin embargo los resultados que se obtuvieron de la primera etapa fueron superiores a esta, y en la segunda etapa se logro disminuir un logaritmo (figura 2).

Al realizar el análisis estadístico para determinar la diferencia entre las medias obtenidas a partir de las muestras de leche, se empleó la prueba de comparaciones por pares (distribución de t) del programa estadístico STATS, obteniéndose los siguientes valores:

Estadístico en leche (Bacterias Mesófilas Aerobias)

	Antes BPH	Después BPH
Nº de Muestras	133	133
x (Media) log UFC/ml	5.52 b	3.69 a **
Desviación estándar	0.92	0.72
Dispersión (log UFC/ml)	5.04	3.4

**=Altamente significativo p< 0.005

Estadístico en leche (Coliformes Totales)

	Antes BPH	Después BPH
Nº de Muestras	133	133
x (Media) UFC/ml	4.22 b	2.00 a **
Desviación estándar	1.08	0.96
Dispersión (log UFC/ml)	5.65	4.78

**=Altamente significativo p< 0.005

De acuerdo al análisis estadístico existen diferencias altamente significativas (p<0.005) antes de los cursos de capacitación y diversas mejoras al proceso (etapa I) y después de la implementación de las BPH (etapa II), reduciéndose la extensión de la distribución de 5.04 a 3.4 log₁₀ UFC/ml para BMA; con diferencias significativas de 5.65 a 4.78 log₁₀ UFC/ml para CT, lo cual corrobora lo señalado por Lasta et al. 1992, en el sentido de que al implementar en un establecimiento las BPH, se reduce la carga bacteriana en explotaciones lecheras.

La implementación de programas sanitarios en este tipo de explotaciones lecheras ayuda a disminuir la carga bacteriana (Flores 2001), quienes reportaron cargas bacterianas de 3.0×10⁵ UFC/ml de BMA antes de la implementación de buenas prácticas de manejo. Tal como sucedió en esta investigación, donde se implemento el despunte de cada una de las vacas, presellado y sellado de pezones, limpieza de la ubre, diagnostico de mastitis, elaboración de Procedimientos Operativos de Saneamiento (SOP) referente a la desinfección de equipo, superficie y utensilios.

Cabe señalar que este programa se ha implementado también en ganado caprino (Dracley et al. 2000), donde al inicio del trabajo tuvo del 80-100% fuera de

los límites, al implementar el programa la reducción fue del 38–82%.

Por otro lado el recuento de BMA es una determinación importante para evaluar la calidad microbiológica de los alimentos, lo que permite análisis comparativos. Los recuentos elevados de BMA en productos crudos no necesariamente indican un riesgo a la salud del consumidor, sin embargo, cuando falta información sobre las condiciones de higienización y control relativos a la producción, un recuento de la microbiota aerobia mesófila puede constituir una referencia valiosa (Dracley et al. 2000; Howhual y Vindal et al. 2001).

Implementación de buenas prácticas de higiene

INSTALACIONES FÍSICAS

Después de la implementación del programa se obtuvo un incremento en las explotaciones que cuentan ahora con separaciones definidas y áreas de alimentación y ordeña mejoradas, al igual que un mayor y mejor almacenamiento de la pastura para los animales. De la misma manera puertas, ventanas y techos fueron reparados.

PERSONAL

Una vez capacitados, los trabajadores tuvieron el cuidado de mejorar en su vestimenta, ya que fue frecuente el uso de botas y ropa limpia, así como el uso de overol y cofia. Hoy en día los trabajadores se encuentran en un proceso de capacitación continua para mejorar en cuanto a no ingerir alimentos y no fumar durante el proceso de extracción de la leche. En algunas explotaciones ya se cuenta con letreros que evitan la entrada al área de ordeño durante la jornada de extracción.

INSTALACIONES SANITARIAS

En esta área se está trabajando para que se cuente con instalaciones sanitarias, puesto que la mayoría de las explotaciones están alejadas y no disponen de un lugar apropiado para éstas.

EQUIPAMIENTO

Después de la aplicación de las BPH el equipo se lava y se desinfecta antes de utilizarlo. Las ordeñadoras, en el caso donde se utilizan, son lavadas cada que se cambia de vaca y se colocan en un lugar limpio y seguro, no en el suelo.

PROCESO DE EXTRACCIÓN

Una vez aplicadas las BPH en el proceso de extracción de la leche, éste se realiza con mejores condiciones higiénicas tanto en las explotaciones donde las ma-

nos del trabajador son higienizadas, como en aquellas donde utilizan las máquinas ordeñadoras. El personal se lava las manos antes de la ordeña, lavan las ubres de las vacas, realizan el presellado y sellado de pezones. Las máquinas ordeñadoras son lavadas y desinfectadas antes y después de ser utilizadas, se lavan para cada cambio de vaca.

CONTROL DE PLAGAS

Con la implementación de BPH las plagas como las moscas se redujeron en las instalaciones aun sin utilizar algún producto, debido a la limpieza que se lleva a cabo tanto en las instalaciones como en el equipo de ordeño.

LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN


Con las BPH puestas en prácticas, ahora el equipo utilizado como cántaras, tambos o pezoneras de las máquinas ordeñadoras es lavado con agua limpia y jabón, y en su mayoría son desinfectadas. Los desinfectantes empleados fueron sales cuaternarias de amonio (doble cadena) y de primera generación, un producto que cuenta con registro de la EPA N° 47371, aprobado por la USDA y FDA y que está declarado para el uso de equipos y utensilios. Se realiza la limpieza de las instalaciones y áreas de ordeño, es decir, se retira el estiércol de los animales.

La implementación de las BPH sigue en proceso, pues aún faltan rubros que se tienen que mejorar.

CAPACITACIÓN

Uno de los puntos más importantes y fundamentales para la implementación de las BPH, es la capacitación constante con los trabajadores y productores de leche, ya que ellos son parte fundamental para que se lleve a cabo la implementación de estas, en las pláticas que se tuvieron con ellos se les habló de la importancia de mantener limpias las salas de ordeño, así como la higiene de ellos mismos, además de que se les comentó la importancia de no comer ni fumar durante la jornada de trabajo, así como el uso de overoles y presentarse limpios a trabajar.

Conclusiones

1. Al aplicar las BPH mejoró la calidad microbiológica de la leche en las 20 explotaciones bovinas
2. Se comprobó que la determinación de microorganismos indicadores como BMA y CT fue útil para predecir la el grado de contaminación. 

Referencias

- ABU, G. A. A., SHINGOETHE, D. J AND HIPPEN, R. (2001). "Conjugated linoleic acid and others beneficial fatt y acids in milk fat from cow fed soybean meal, fish meal, or both". *J. Dairy Sci.* **84**:1845–1850.
- BARRAGÁN, L. E. Y CHÁVEZ, T. M. (1998). El queso Cotija se nos va de las manos en: OIKIÓN, Verónica (Coord) *Manufacturas de Michoacán. México*. El Colegio de Michoacán/Gobierno del Estado. pp 67.
- CABALLERO, T. A. (2001). *El reto de cumplir las Buenas Prácticas de Manufactura*. Instituto de Nutrición e Higiene de los Alimentos de Cuba.
- DRACLEY, J. K. A. D., BEAULIEU AND ELLIOT, J. P. (2000). "Responses of milk fat composition to dietary fat or nonstructural carbohydrates in holstein and jersey cows". *V. Dairy Sci.* **84**: 1231–1237.
- EVERS, J. M., WIGHTMAN, L. M., CRAWFORD, R. A., CONTARINI, G., COORS, D. C., FARRINGTON, J., MOLKENTIN AND NICOLAS. (2000). *Properties of Milk*. New Zealand Dairy Research Insittute. Palmerston North, New Zealand.
- FLORES, M. R. (2001). "Diagnóstico de mastitis y evaluación de la calidad de la leche en explotaciones bovinas del noroeste de Michoacán". CIIDIR-IPN Unidad Michoacán. Jiquilpan, Mich.
- GALLARDO, M. E. E., RAFAELA A. (2003). *Alimentación y composición química de la leche*. Disponible en: <http://www.inta.gov.ar/rafaela/info/documentos/mercolactea2003/alimentacionycomposicionquimicaleche.pdf>.
- HOWHUAL, S. AND VINDAL, V. K. (2001). "Simple test for rapid assessment to Quality of raw milk". *V food Prot.* **64**: 1996–2000.
- LASTA, J. A. R., RODRÍGUEZ, M., ZANELLIAND, C. A. (1992). "Bacterial count from bovine carcasses as an indicator of hygiene at slaughtering places: A proposal for sampling". *Journal of Food protection* **55**(4): 271–278.
- MURPHY, S. C., BOOR, K. J. (2000). "Trouble-Shooting Source and causes of high bacteria counts in raw". Dairy Food and Environmental Sanitation.
- NMX-F-700-SCFI. (2004). *Sistema producto leche-alimento-lácteo-leche cruda de vaca-especificaciones físico-químicas, sanitarias y métodos de prueba*.
- NOM-092-SSA1. (1994). *Bienes y servicios. Método para la cuenta de Bacterias Aerobias en placa*.
- NOM-113-SSA1. (1994). *Bienes y servicios. Método para la cuenta de microorganismos coliformes en placa*.
- OFICINA DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA (OCT). (2003). *Producción higiénica de la leche cruda*. Derechos reservados. Organización de los Estados Unidos Mexicanos.
- WAYNE, W.D. 1990. *Bioestadística*. Noriega eds. pp 305.

Notas del lector

Notas del lector



DIRECTORIO DE LA UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

Marco Antonio Cortés Guardado

RECTOR GENERAL

Miguel Ángel Navarro Navarro

VICERRECTOR EJECUTIVO

José Alfredo Peña Ramos

SECRETARIO GENERAL

Salvador Mena Munguía

*RECTOR DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y
AGROPECUARIAS (CUCBA)*

Enrique Pimienta Barrios

SECRETARIO ACADÉMICO DEL CUCBA

José Rizo Ayala

SECRETARIO ADMINISTRATIVO DEL CUCBA

Alfredo Ignacio Feria Velasco

COORDINADOR DE INVESTIGACIÓN DEL CUCBA

CERTIFICADO DE RESERVA DE DERECHOS AL USO EXCLUSIVO NÚMERO: 04-2003-101714124100-102

La opinión que se expresa en los artículos es responsabilidad de los autores. Se autoriza la reproducción total o parcial de los trabajos, siempre y cuando se cite la fuente y no sea con fines de lucro.

Auxiliar en la edición

M. EN C. YOLANDA FERIA CUEVAS.
Jefa de la Unidad Editorial
Coordinación de Investigación CUCBA,
Universidad de Guadalajara.

Diseño e impresión

ORGÁNICA DISEÑO EDITORIAL
Saulo Cortés | José Manuel Sánchez
Enrique Díaz de León 514-2b
Guadalajara 44170, Jalisco.
TEL. (33) 3825-8528 FAX (33) 3825-8545
tagit@idex.mx | tagit.idex.mx



ORGÁNICA
DISEÑO EDITORIAL

Contenido *(continuación)*

Evaluación del vermicompost producido del contenido ruminal de los rastros municipales como sustrato de cultivo en pepino y jitomate en invernadero

Gilberto Vázquez Gálvez y Rebeca Flores Magallón **69**

Relacion entre Índice Temperatura Humedad (ITH) con incidencia de Escherichia coli causante de mastitis ambiental en bovinos en los Altos y centro de Jalisco

Juan Manuel Moreno-Martínez, Luis Alfonso Guerrero-Quiroz, Hugo Castañeda-Vázquez, Juan Jesús Roa-Vidal, Jacinto Bañuelos-Pineda, Salvador Mireles-Flores y Eligio Rafael Moreno-Gómez **73**

Análisis de la estructura dimensional de un bosque tropical en Jalisco, México

Gerardo Alberto González-Cueva, Agustín Gallegos Rodríguez, José Javier Corral Rivas y Efrén Hernández Álvarez **81**

Implementación de buenas prácticas de higiene para la leche cruda entera con la que se elabora el queso Cotija

Rebeca Flores Magallón y Gilberto Vázquez Gálvez **89**

ISSN 1665-8493



Consulte esta y otras publicaciones vía internet en
<http://www.cucba.udg.mx/publicaciones1/>