

ISSN 0186-8063



# Agraria

Revista Científica

Volumen 9 · Número 3 · Septiembre – Diciembre, 2012



Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro  
México

# Agraria

Revista de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Volumen 9 · Número 3

Septiembre- Diciembre, 2012

Dr. Eladio Heriberto Cornejo Oviedo, **Rector**; Ing. Lorenzo Castro Gómez, **Secretario General**; Dr. Raúl Villegas Vizcaino, **Director General Académico**; M. C. Alfredo Sánchez López, **Director de Investigación**; Dr. Alfredo de la Rosa Loera, **Subdirector de Programación y Evaluación**; M. C. José A. Nájera Castro, **Subdirector de Operación de Proyectos**. Dr. Armando Espinoza Banda, **Subdirector de Investigación** en la Unidad Laguna.

## Comité Editorial

**Miguel A. Capó Arteaga**  
Editor en Jefe

**Jesús Valdés Reyna**  
Editor Ejecutivo

**José Hugo Rancaño Arrijoa**  
Editor Asociado

### Editores Técnicos

**José L. Puente Manríquez**  
Fitomejoramiento, Unidad Laguna

**Raúl Rodríguez García**  
Riego y Drenaje

**Jesús M. Fuentes Rodríguez**  
Producción Animal

**Redacción Científica en Inglés**  
Erika Patricia Carrizales Ruiz

**Diseño y Formación**  
Sandra de la Cruz González

**Apoyo**  
Alma Rosa Ortiz Gámez



**Portada:** Vacas lecheras de la raza Holstein en el establo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coah., México.  
Fotografía: José Hugo Rancaño Arrijoa.

*Agraria* está indizada, desde 2006, en Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal); en la base de datos PERIÓDICA (de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México D. F.); y en 2007 fue incluida en la base de datos del Centro Internacional de Investigación Científica (CIRS).

*Dirección de Investigación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Colonia Buenavista, 25315, Saltillo, Coahuila, México.*

*[http://www.uaaan.mx/DirInv/portal\\_agraria/portal.htm](http://www.uaaan.mx/DirInv/portal_agraria/portal.htm)*

*Correo-e: [agraria\\_ne@uaaan.mx](mailto:agraria_ne@uaaan.mx)*

*Tel (844) 411-02-00, Ext. 2404 · Fax 411-02-11*



**Centéotl, deidad azteca de la agricultura, es una advocación de Chicomecóatl, diosa del maíz.** La Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en su afán de rescatar los valores del pasado histórico de México, la ha adoptado como logotipo de su revista científica, como símbolo que evoca y reafirma nuestras raíces culturales.

**Agraria** es una publicación cuatrimestral de la *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*, creada para difundir resultados de investigación nacionales e internacionales, originales e inéditos, escritos en español e inglés, sobre temas relacionados con las ciencias agrícolas, pecuarias y forestales, incluyendo las áreas de ingeniería, agroindustria, biotecnología y socioeconómicas. Estos materiales pueden ser artículos científicos, notas de investigación o ensayos científicos. Los materiales que se envíen para su publicación deberán ceñirse a las normas editoriales y *estarán sujetos a estricta revisión por pares*, como requisito previo a su publicación.



## Contenido

Volumen 9

Septiembre - Diciembre, 2012

Número 3

<b>Artículos</b>	<b>Págs.</b>
Respuesta de Cuatro Genotipos de Maíz Tropical al Achaparramiento Ocasionado por <i>Spiroplasma kunkelli</i> ✱ Response of Four Genotypes of Tropical Corn to the Stunt Caused for <i>Spiroplasma kunkelli</i> Reynol <b>Fernández-Aguilar</b> , Arnoldo <b>Oyervides-García</b> , Alfonso <b>López-Benítez</b> , José <b>Espinoza-Velázquez</b> , Sergio <b>Rodríguez-Herrera</b>	81
Estimación de Aptitud Combinatoria General y Aptitud Combinatoria Específica en Siete Líneas de Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) ✱ Estimation of General Combining Ability and Specific Combining Ability in Seven Tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) Lines Alfonso <b>López-Benítez</b> , Fernando <b>Borrego-Escalante</b> , Víctor M. <b>Zamora-Villa</b> y Luis <b>Guerra-Zitlalapa</b>	87
Thysanoptera (Trips) del Área Protegida de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México ✱ Thysanoptera (Thrips) of Protected Area of Cuatro Cienegas, Coahuila, Mexico José Antonio <b>Zúñiga-Sámamo</b> , Roberto Miguel <b>Johansen-Naime</b> , Oswaldo <b>García-Martínez</b> , Axel Pedro <b>Retana-Salazar</b> , Víctor M. <b>Sánchez-Valdez</b>	95
Factores que Afectan la Producción de Leche de Vacas Holstein Inducidas Hormonalmente a la Lactancia ✱ Factors Affecting Milk Yield of Holstein Cows Hormonally Induced to Lactation Antonio <b>Chirino-Enoel</b> , Francisco Gerardo <b>Véliz-Deras</b> , Cesar Alberto <b>Meza-Herrera</b> , Oscar <b>Ángel-García</b> , Edgar <b>Sepúlveda-González</b> , Miguel <b>Mellado-Bosque</b>	103
Una Implementación de Orden Cuadrático del Algoritmo de Innovaciones en Series de Tiempo ✱ An Implementation of Quadratic Order of the Algorithm of Innovations in Series of Time Nadia Yadhira <b>Martínez-Martínez</b>	113



# Respuesta de Cuatro Genotipos de Maíz Tropical al Achaparramiento Ocasionado por *Spiroplasma kunkelli*



## Response of Four Genotypes of Tropical Corn to the Stunt Caused for *Spiroplasma kunkelli*

Reynol Fernández-Aguilar<sup>1\*</sup>, Arnoldo Oyervides-García<sup>2</sup>, Alfonso López-Benítez<sup>2</sup>, José Espinoza-Velázquez<sup>2</sup>, Sergio Rodríguez-Herrera<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento, <sup>2</sup>Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Colonia Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México.  
Correo-e: reynolfernandez@hotmail.com (\*Autor responsable).

### RESUMEN

El achaparramiento del maíz o corn stunt spiroplasma (CSS), causado por *Spiroplasma kunkelli*, es una de las enfermedades más destructivas del cultivo del maíz en el trópico húmedo del continente americano. En México, esta enfermedad ocasiona grandes pérdidas económicas y grave deterioro en los índices de productividad del maíz. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de cuatro genotipos de maíz al complejo del achaparramiento (*S. kunkelli*) transmitido por *Dalbulus maydis* y su relación con el rendimiento, niveles de resistencia -mediante área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE)- y la tasa aparente de infección (r). El experimento se desarrolló en Úrsulo Galván, Ver., México. Se utilizaron los genotipos de maíz AN-543 y AN-543R, y los testigos comerciales A-7575 y VS-536. Se probaron doce fechas de siembra bajo condiciones de riego y secano y se realizaron tres muestreos por fecha de siembra, con intervalos de quince días (60, 75 y 90 d). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar. Los resultados indicaron que los genotipos AN-543 y AN-543R son más resistentes al achaparramiento del maíz que los testigos. Los genotipos con mayor ABCPE, presentaron mayor tasa de infección en las fechas de siembra de marzo, abril y mayo. Se observó una baja correlación entre rendimiento y ABCPE. El grado de asociación entre ABCPE y la tasa r es más estrecha, al nivel del 45 %, indicando que los materiales más susceptibles tienden a presentar mayor avance de la enfermedad.

**Palabras clave:** *Zea mays*, *Spiroplasma kunkelli*, tasa aparente de infección, área bajo la curva.

### ABSTRACT

The corn stunt spiroplasma (CSS), caused by *Spiroplasma kunkelli*, is one of the most destructive diseases of maize in the humid tropics of the Americas. In Mexico, this disease causes huge economic losses and serious deterioration in maize productivity rates. The aim of this study was to evaluate the response of four genotypes of maize to stunt complex (*S. kunkelli*) transmitted by *Dalbulus maydis* and its relationship to performance, resistance levels -by area under the disease progress curve (AUDPC)- and the apparent infection rate (r). The experiment was conducted in Ursulo Galvan, Ver., Mexico. The maize genotypes AN-543 and AN-543R, and the commercial controls A-7575 and VS-536 were evaluated. Twelve sowing dates under irrigated and rainfed conditions were tested and three samples by planting date were carried out at fifteen days intervals (60, 75 and 90 d). The experimental design was a randomized complete block. The results indicated that the genotypes AN-543 and AN-543R are more resistant to corn stunt than the controls. Genotypes with greater AUDPC had a higher infection rate in planting dates of March, April and May. There was a low correlation between performance and AUDPC. The degree of association between AUDPC and rate r is narrower at 45 % level, indicating that the most susceptible materials tend to have a greater disease progression.

**Key words:** *Zea mays*, *Spiroplasma kunkelli*, apparent infection rate, area under the disease-progress curve.

Recibido: Febrero, 2010.

Aceptado: Junio, 2012.

## INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo agrícola más importante en México; la producción total de este cereal ha aumentado en los últimos quince años, al pasar de 18.04 millones de toneladas, en la segunda mitad de los años 90, a 22.29 en el año 2008 (CONAPO, 2009).

El achaparramiento del maíz o corn stunt Spiroplasma (CSS), causado por *Spiroplasma kunkelli*, es una de las enfermedades más destructivas del cultivo del maíz en el trópico húmedo del continente americano, particularmente, cuando las condiciones climáticas como son: escasez de lluvias, altas temperaturas y baja humedad relativa favorecen el desarrollo del cicadélido *Dalbulus maydis*, vector de esta enfermedad.

Mendoza *et al.* (2002) demostraron que es un par de genes, el que gobierna la resistencia a la enfermedad achaparramiento causada por *S. kunkelli*, por lo tanto, es recomendable un programa de retrocruzamiento para incorporar ese gen dominante a un híbrido, en su caso, también es viable formar poblaciones a través de selección recíproca recurrente, no tanto para selección recurrente intrapoblacional, ya que el avance genético a la resistencia es más lento.

Sin embargo, es difícil reconocer las formas de resistencia poligénicas para un carácter dado, si está presente la resistencia específica, además puede haber incompatibilidad entre la alta resistencia a las enfermedades y el buen rendimiento en grano. Así mismo, Varón De Agudelo *et al.* (2001) mencionan que el achaparramiento del maíz es transmitido por el saltahojas *D. maydis* en todos los estados del insecto -ninfas y adultos- que son capaces de adquirir y transmitir la enfermedad; y que las ninfas son las más eficientes.

Castañón *et al.* (2000), evaluaron líneas  $S_1$  de maíz y sus progenitores para estudiar su respuesta al achaparramiento y encontraron que los efectos aditivos (ACG), fueron más importantes que los no-aditivos (ACE), y también observaron que los mejores cruzamientos para rendimiento de grano, fueron aquellos donde participaron una línea resistente y una susceptible.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de cuatro genotipos de maíz al complejo del achaparramiento (*S. kunkelli*) transmitido por *D. maydis* y su relación con el rendimiento, niveles de resistencia mediante área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) y la tasa aparente de infección ( $r$ ).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

Este trabajo de investigación se realizó en el Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 17 de Villa Úrsulo Galván, Ver., México, situada en la zona central Costera del estado de Veracruz, limita con los municipios de Actopan, Puente Nacional, José Cardel, La Antigua y el Golfo de México. La ubicación es de 19° 24' 17" LN, 102° 46' 28" LO y con una altitud de 8 m, su precipitación media anual es de 1296 mm y una temperatura media anual de 32.5 °C, característicos del trópico húmedo.

### Material genético

El experimento se estableció bajo condiciones de riego y secano; inició en julio de 2006 y terminó en junio de 2007. Los genotipos de maíz utilizados para este trabajo fueron las variedades sintéticas del programa de mejoramiento genético de maíz tropical de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro: AN-543 y AN-543R; y los materiales comerciales de la región: híbrido A-7573 y la variedad VS-536 se utilizaron como testigos.

### Trabajo de campo

Las variables evaluadas fueron: índice de achaparramiento y rendimiento. Para la determinación del índice de achaparramiento en campo, se usó la metodología descrita por Grogan y Rosenkranz (1968): 1) sin síntomas; 2) síntoma visible en las hojas, en el 25 % de la planta, achaparramiento no evidente; 3) síntomas en las hojas, en la mitad de la planta, acompañado de moderado achaparramiento; 4) síntomas en las hojas, en el 75 % de la planta, acompañado de severo achaparramiento; 5) más del 75 % de la planta con síntomas en las hojas y severo achaparramiento.

Para determinar el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE) se usó la siguiente ecuación (Shaner y Fitney, 1977).

$$ABCPE = \sum_{i=1}^n \left[ (x_{(i+1)} + x_i) / 2 \right] (t_{(i+1)} - t_i)$$

Donde:  $x_i$  es la proporción de la enfermedad en la  $i$ -ésima observación;  $t_{(i+1)} - t_i$  es el tiempo entre dos lecturas;  $i$  es el número de observaciones, y  $n$  es el número de valuaciones.

La tasa de infección ( $r$ ), se determinó con la ecuación propuesto por Van der Plank (1986).

$$r = \frac{2.3}{t_2 - t_1} \log_{10} \frac{x_2 (1 - x_1)}{x_1 (1 - x_2)}$$

Donde:  $t_2 - t_1$  es número de días;  $x_1$  es la cantidad de enfermedad en el tiempo  $t_1$ ;  $x_2$  es la cantidad de enfermedad en el tiempo  $t_2$ ;  $r$  es la tasa de infección.

### Diseño experimental

Para llevar a cabo esta investigación se utilizó un diseño de bloques completos al azar, donde se evaluaron cuatro genotipos de maíz, diez repeticiones cada una y doce fechas de siembra en una sola localidad (Úrsulo Galván, Ver., México) bajo condiciones de riego y secano.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las fuentes de variación: fechas de siembra, genotipos y la interacción de ambas, para las variables: índice de enfermedad, rendimiento y ABCPE, mostraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ), esto se debió a la variación en los niveles de enfermedad —por las condiciones climáticas de humedad relativa y temperatura— (Cuadro 1). Hernández *et al.* (2008) reportan que en la interacción de fechas de siembra por genotipos, al menos en una fecha de siembra, no siempre se tuvo la mayor incidencia al achaparramiento. En trabajos realizados en líneas  $S_3$  de maíz para resistencia al achaparramiento causado por *S. kunkelli* en el estado de Veracruz, se encontraron diferencias entre fechas y genotipos, pero no para la interacción entre éstas, lo que indicó ausencia de genes mayores para resistencia y diferentes niveles de susceptibilidad entre las líneas (Mendoza-Elos *et al.*, 2002).

**Cuadro 1.** Análisis de varianza de tres variables evaluadas en cuatro genotipos de maíz en respuesta al complejo del achaparramiento (*Spiroplasma kunkelli*) transmitido por *Dalbulus maydis*.

FV	GL	IEA			Rendimiento ABCPE	
		60 d	75 d	90 d	(ton ha <sup>-1</sup> )	(% día)
Repeticiones	9	0.0057	0.029	0.0305	1.207	17.551
Fechas	11	3.971**	25.77 **	46.920 **	156.268**	18968.532**
Genotipos	3	1.487**	11.05 **	19.55 **	48.764**	8485.127**
Fechas x Genotipos	33	0.305**	1.23**	2.236**	18.568**	917.887**
Error	423	0.0065	0.0269	0.0318	1.472	16.941
CV	-	18.57	17.09	14.157	17.863	15.174
Media	-	0.435	0.96	1.259	6.792	27.123

IEA: Índice de enfermedad achaparramiento; **ABCPE**=Área bajo la curva de progreso de la enfermedad. Las evaluaciones se hicieron cada 15 d. \*\*Diferencia altamente significativa.

Los genotipos que sufrieron más daño por el achaparramiento fueron los testigos comerciales (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Respuesta de cuatro genotipos de maíz al complejo del achaparramiento (*Spiroplasma kunkelli*) transmitido por *Dalbulus maydis*, en tres evaluaciones por ciclo de siembra.

Genotipos de Maíz	Índice de Enfermedad		
	60 d	75 d	90d
A-7573	0.5371 a	1.25 a	1.66 a
VS-536	0.520 a	1.157 b	1.503 b
AN-543	0.379 b	0.847 b	1.098 c
AN-543R	0.306 c	0.586 d	0.770 d

Valores seguidos de una misma letra en cada columna no difieren estadísticamente. Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ).

La mayor tasa de infección y ABCDPE se manifestó en los materiales comerciales, los cuales fueron estadísticamente diferentes (Cuadro 3). Díaz *et al.* (2005), mencionan que el comportamiento de los

diferentes genotipos en las distintas fechas de siembra se comparó a través de áreas bajo la curva, y se encontró una respuesta diferente, debido a la interacción significativa entre genotipos y fechas de siembra.

**Cuadro 3.** Comparación de medias de tasa r y área bajo la curva de progreso de la enfermedad en tres evaluaciones para cuatro genotipos de maíz en respuesta al complejo del achaparramiento (*Spiroplasma kunkelli*) transmitido por *Dalbulus maydis*.

Genotipos de Maíz	Tasa r	ABCPE (% día)
A-7573	5.7636784 a	764.11 a
VS-536	4.4405986 c	748.84 b
AN-543	3.9879617 b	492.36 c
AN-543R	4.9952646 b	439.56 d

**ABCDPE:** Área bajo la curva de progreso de la enfermedad. Valores seguidos de una misma letra en cada columna no difieren estadísticamente. Prueba de Duncan ( $\alpha=0.05$ ).

La correlación del rendimiento con el ABCDPE, indicó que se encuentran asociados en forma directa en una manera muy débil, es decir, hay materiales que con índices muy altos de progreso de la enfermedad, obtuvieron rendimientos excelentes. La correlación de ambos fue afectada por la influencia de los factores abióticos, como son temperatura, agua, nutrientes y humedad relativa, ya que bajo condiciones favorables existe un mayor desarrollo del patógeno, lo que conlleva a que los materiales de mayor resistencia genética

poligénica, soporten la invasión de la enfermedad en los tejidos de la planta.

Para la correlación del rendimiento con tasas de infección, se observó una correlación negativa, es decir, los rendimientos fueron afectados a medida que aumentaron las tasas de infección; tal fue el caso de los genotipos AN-543 y AN-543R quienes inhibieron los procesos infecciosos.

La correlación entre ABCPE y tasa r, fue 0.4484, es decir, se encontraron asociadas, en un 45 % en



forma directa con el rendimiento. En este sentido, Mendoza *et al.* (2005) reportan que actualmente la resistencia horizontal se mide utilizando la tasa aparente de infección ( $r$ ) de las enfermedades en el campo, y que esta, ya se ha aplicado en varias especies. Los dos métodos analizados anteriormente: área bajo la curva de progreso de la enfermedad y tasas de infección, se usan para determinar niveles de

resistencia relacionadas con el rendimiento; de tal forma, que el mejor método para detectar niveles de resistencia en este trabajo, fue el análisis de correlación con tasas de infección ( $r$ ). Se deduce que el rendimiento disminuye en materiales con mayor tasa  $r$ , logrando detectar los mejores materiales, resistentes para el achaparramiento del maíz ocasionada por *S. kunkelli* (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Análisis de correlación entre rendimiento, área bajo la curva de progreso de la enfermedad y Tasa  $r$  de cuatro genotipos de maíz en respuesta al complejo del achaparramiento (*Spiroplasma kunkelli*) transmitido por *Dalbulus maydis*.

	Rendimiento	ABCPE	Tasa $r$
Rendimiento	1	0.00849	-0.2825
ABCPE	0.00849	1	0.44845
Tasa $r$	-0.28248	0.44845	1

**ABCDPE:** Área bajo la curva de progreso de la enfermedad

Los genotipos AN-543 y AN 543R son superiores y más estables que los testigos comerciales A-7573 y VS-536, los cuales producen rendimientos muy bajos y manifiestan una alta severidad de achaparramiento del maíz. Los genotipos mostraron diferente respuesta al daño por la enfermedad; los testigos comerciales presentaron las más altas tasas de infección, y área bajo la curva de progreso de la enfermedad. La tasa de infección ( $r$ ) y el rendimiento presentaron una correlación negativa, mientras que para el área bajo la curva de progreso de la enfermedad, esta fue positiva. El mejor método de detectar niveles de resistencia horizontal, es el análisis de correlación con tasas de infección ( $r$ ). El mayor rendimiento de grano de los genotipos AN-543 y AN-543R se obtuvo en enero, marzo, julio y agosto; mientras que el del híbrido comercial A-7573 fue en enero.

#### LITERATURA CITADA

Castañon, G., D. Jeffers y H. Hidalgo. 2000. Aptitud combinatoria de líneas de maíz tropical con diferente capacidad para tolerar el achaparramiento. *Agron. Mesoam.* 11(1): 78-81.

Consejo Nacional de Población (CONAPO). 2009. De la población de México 2005-2050. URL: [http://conapo.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=123&Itemid=192](http://conapo.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=123&Itemid=192).

Díaz, C.G., L.D. Ploper, M.R. Gálvez, V. González, M.A. Zamorano, H.E. Jaldo, C., López y J.C. Ramallo. 2005.

Efecto de las enfermedades de fin de ciclo en el crecimiento de distintos genotipos de soya relacionado a la fecha de siembra. *Agrociencia* 21(1): 1-7

Grogan, C.O., E. Rosenkranz. 1968. Genetic of host reaction to corn stunt virus. *Crop Sci.* 8: 252-254.

Hernández Pardo, C.J., A., Sánchez Arizpe, A., Oyervides García, A., Cárdenas Elizondo y E. Padrón Corral, 2008. Comportamiento del achaparramiento del maíz (*Spiroplasma kunkelli*) en Ursulo Galván, Ver., México. Tesis de maestría. Banco de tesis. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México.

Mendoza-Elos, M., A., López-Benítez, S.A., Rodríguez-Herrera, A., Oyervides-García, C. De León, y D.P. Jeffers. 2002. Acción génica de la resistencia al achaparramiento del maíz causado por spiroplasma, fitoplasmas y virus. *Rev. Mex. Fitopatol.* 20:13-17.

Mendoza, E.M., E.E., Andrio, B.A., López, G.R., Rodríguez, M.L., Latourniere y S.A. Rodríguez, H. 2005. Tasa de infección de la pudrición del tallo en maíz causada por *Fusarium moniliforme*. *Agron. Mesoam.* 17 (1): 19-24.

Shaner, G. and R.E. Finney. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathol.* 67: 1051-1056.

Varón De Agudelo, F.G.P. Castillo, C. Huertas, C. de León, H. Vanegas. 2001, Achaparramiento del Maíz *Zea mays* en El Valle Del Cauca. *Fitopatol. Colomb.* 25(2): 88-91.

Van der Plank, J.E. 1986. *Disease Resistance in Plants.* Academic Press, N.Y. London, San Francisco. 194 p.





# Estimación de Aptitud Combinatoria General y Aptitud Combinatoria Específica en Siete Líneas de Tomate (*Solanum lycopersicum* L.)



## Estimation of General Combining Ability and Specific Combining Ability in Seven Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Lines

Alfonso López-Benítez<sup>2\*</sup>, Fernando Borrego-Escalante<sup>2</sup>, Víctor M. Zamora-Villa<sup>2</sup> y Luis Guerra-Zitlalapa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Maestría en Ciencias en Fitomejoramiento, <sup>2</sup>Departamento de Fitomejoramiento. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Colonia Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México. Tel.: (844) 411 0296 ext. 98. Correo-e: alobe42@hotmail.com (\*Autor responsable).

### RESUMEN

Actualmente existe una demanda creciente de tomate, tanto para consumo fresco como para procesos industriales. Sin embargo, en México los rendimientos de esta hortaliza, tanto en campo abierto como en invernadero son muy bajos. Para incrementar la producción de tomate es necesario, entre otras acciones, realizar evaluaciones de híbridos y variedades, respecto a la habilidad combinatoria general y específica. Los objetivos de este estudio fueron estimar la aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) de siete líneas de tomate saladette (*Solanum lycopersicum* L.) y de sus cruces, determinar las características agronómicas importantes en rendimiento y estimar los efectos de heterosis promedio, varietal y específica. Los híbridos F<sub>1</sub> se produjeron en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el ciclo PV 2009 y se evaluaron en un lote experimental de la misma universidad en el ciclo PV 2010. Las variables evaluadas fueron: rendimiento (REND), número total de frutos (NTF), peso de fruto (PF), longitud de fruto (LF), diámetro de fruto (DF) y días a inicio de floración (DIF). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Se encontraron diferencias altamente significativas para los efectos de ACG para todos los caracteres a excepción de DIF que presentó diferencias significativas y DF que no presentó diferencias estadísticas para ninguna fuente de variación. Para los efectos de ACE no se presentaron diferencias estadísticas para ninguna fuente de variación. Los híbridos IR24xIR8, IR17xIR13 y IR14xIR9 presentaron altos efectos de ACE para rendimiento y por consecuencia los más altos rendimientos, aunque no superaron al de sus progenitores. Las líneas que mostraron el mayor efecto de ACG y el mayor rendimiento en la comparación de medias, podrían ser usadas en un programa de mejoramiento genético diseñado para explotar la acción génica aditiva en forma exitosa.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum* L., efectos genéticos, cruzamientos dialélicos, híbridos, rendimiento, saladette.

### ABSTRACT

There is a growing demand for both fresh consumption and industrial processes of tomato. However, the yields of this crop in open-field and greenhouse in Mexico are very low. To increase the tomato production it is necessary, among other actions, to conduct evaluations of hybrids and varieties with regard to the general and specific combining ability. The objectives of this study were to estimate the general combining ability (GCA) and specific combining ability (SCA) in seven lines of saladette tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and their crosses, to determine the important agronomic characteristics and estimate the effects of average, varietal and specific heterosis. F<sub>1</sub> hybrids were produced in a greenhouse of the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro in the 2009 spring-summer crop cycle and were evaluated in an experimental plot of the same university in the 2010 spring-summer agricultural cycle. The variables evaluated were: yield (Y), total number of fruits (TNF), fruit weight (FW), fruit length (FL), fruit diameter (FD) and days to first flower (DFF). A randomized complete block experimental design with four replications was used. Highly significant differences were found for GCA effects for all characters except that significant differences DIF and DF did not show statistical differences for any source of variation. For purposes of SCA there were not statistical differences for any source of variation. Hybrids IR24xIR8, IR17xIR13 and IR14xIR9 had high SCA effects for yield and consequently the highest yields, though they did not exceed that of their parents. The lines that showed the greatest effect of GCA and the highest performance in the comparison of means, could be used in a breeding program designed to exploit the additive gene action successfully.

**Key words:** *Solanum lycopersicum* L., genetic effects, diallel crosses, hybrid, yield, saladette.

Recibido: Noviembre, 2010.

Aceptado: Junio, 2012.

## INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es el segundo cultivo hortícola más importante del mundo, después de la papa, la producción total a nivel mundial en 2009, fue de 152.9 millones de toneladas con un valor de \$ 74, 685 millones de dólares. En el mismo año, en México se produjeron 2, 591, 400 ton, con un valor de \$ 1, 150 millones de dólares (FAOSTAT, 2009).

En México, los rendimientos a campo abierto han aumentado de 23, a 28 y 39 t ha<sup>-1</sup> en 1990, 2000 y 2010, respectivamente, sin embargo, estos rendimientos son inferiores a las 45 t ha<sup>-1</sup> que se obtienen en algunas regiones de los EE.UU.

El cultivo en invernadero produce rendimientos mucho más altos, pero, también requiere mayor inversión de capital, e insumos más caros de mano de obra, fertilizantes y pesticidas. El rendimiento en invernadero en México generalmente es de alrededor de 150 a 200 t ha<sup>-1</sup>, mientras que en los EE.UU. y Canadá se alcanzan rendimientos de hasta 450 t ha<sup>-1</sup>, lo que indica un potencial de aumento significativo en la productividad mexicana.

Existe una demanda creciente de tomate, a nivel mundial, tanto para consumo fresco como para procesos industriales. Para lograr un incremento en la producción de tomate en México, entre otras acciones, se deben realizar evaluaciones de híbridos y variedades, respecto a la habilidad combinatoria general y específica para los caracteres agronómicos más importantes (De la Rosa *et al.*, 2006).

El análisis de la habilidad combinatoria es una metodología utilizada para identificar progenitores con capacidad de transmitir sus caracteres deseables a su descendencia, identificar las mejores combinaciones híbridas y adquirir información sobre el tipo de acción génica que controla los diferentes caracteres agronómicos. Los conceptos de aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE), introducidos por Sprague y Tatum (1942), sirven para expresar el comportamiento promedio de una línea en sus combinaciones híbridas y para designar las combinaciones que resultan mejor o peor de lo que se esperaría en relación con el promedio de la ACG de las dos líneas progenitoras (Reyes *et al.*, 2004).

Las cruas dialélicas se usan también para el estudio de la heterosis. Gardner y Eberhart (1966) y Gardner (1967) propusieron un modelo que considera los efectos de cada progenitor y los efectos de la heterosis por

separado. A su vez, clasificaron los efectos de la heterosis en tres tipos: a) la heterosis media ( $\bar{h}$ ) (diferencia entre el promedio de las cruas y el de sus progenitores); b) la heterosis varietal ( $h_j$ ) (heterosis promedio con que contribuye un progenitor en las cruas en que participa), y c) la heterosis específica ( $S_{jj}$ ) de cada combinación particular de progenitores.

Con base en lo anterior, en este estudio se plantearon los siguientes objetivos: estimar la aptitud combinatoria general y la aptitud combinatoria específica de siete líneas de tomate saladette con sus cruas y características agronómicas importantes en rendimiento y estimar los efectos de heterosis promedio, varietal y específica.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El cruzamiento dialélico y la producción de semilla F<sub>1</sub> se llevó a cabo en un invernadero de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) en el ciclo PV 2009. Se usaron siete líneas de tomate saladette (Cuadro 1). Los cruzamientos se realizaron en base al método II modelo I de Griffing (1956). Los frutos provenientes de cada crua se cosecharon en etapa de madurez fisiológica y se almacenaron hasta su completa maduración, para realizar la extracción de semilla, y posteriormente, evaluar los híbridos.

**Cuadro 1.** Líneas de tomate saladette (*Solanum lycopersicum* L.) de hábito indeterminado utilizadas como progenitores en un cruzamiento dialélico para estimar la aptitud combinatoria general y la aptitud combinatoria específica.

Número de Línea	Línea
1	IR-14
2	IR-10
3	IR-24
4	IR-17
5	IR-8
6	IR-9
7	IR-13



## Evaluación del material genético

La evaluación de los 28 materiales (cruzas y progenitores) se realizó en el ciclo PV 2010, en un lote experimental de la UAAAN, situada en Buenavista, al sur de Saltillo, Coah., México, ubicada a 25° 23' LN y 101° 00' LW y una altitud de 1743 m, con un clima (Bshw) muy seco, semicálido, y con precipitación de 350 a 450 mm promedio anual (INEGI, 2000). Las plantas de tomate se condujeron a dos tallos.

### Variables evaluadas

**Rendimiento.** Durante el ciclo de cultivo se evaluó el rendimiento (REND) en t ha<sup>-1</sup>, considerando la producción de fruto de las cinco plantas centrales, para posteriormente proyectarlo a toneladas por hectárea.

**Número total de frutos.** Para determinar el número total de frutos (NTF), se cortaron y contaron todos los frutos de las cinco plantas del surco central y se dividieron entre las cinco plantas muestreadas.

**Peso de frutos.** El peso de frutos (PF) se determinó en gramos, se cosecharon los frutos de las cinco plantas centrales, y se pesaron en una báscula digital

**Longitud de fruto.** La longitud de fruto (LF) y el diámetro de fruto (DF) se midieron en cm, para lo cual, en el tercer corte se tomó una muestra de cinco frutos por cada progenitor y cruce.

**Días a inicio de floración.** Los días a inicio de floración (DIF), se contaron desde el trasplante y hasta que las plantas presentaron el 50 % de floración.

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. La unidad experimental consistió de ocho plantas, en surcos de 2 m de largo con una distancia entre surco de 90 cm y 25 cm entre plantas. Se evaluaron cinco plantas centrales con competencia completa.

El análisis de varianza para calcular la ACG y ACE, con  $p(p+1)/2$  combinaciones, se realizó de acuerdo al

método II de Griffing (1956), considerando el modelo I donde los progenitores se escogen deliberadamente.

El modelo para el análisis de aptitud combinatoria es:

$$X_{ijkl} = \mu + g_i + g_j + S_{ij} + b_k + (gb)_{ijk} + 1/bc + \sum e_{ijkl}$$

$$I, j = 1, 2, \dots, p$$

$$K = 1, 2, \dots, b$$

$$l = 1, 2, \dots, c$$

Donde:  $X_{ijk}$  = valor fenotípico observado;  $\mu$  = media general del experimento,  $g_i$  y  $g_j$  = efecto de la ACG de los progenitores,  $S_{ij}$  = efecto de la ACE para el cruzamiento  $i \times j$  ( $S_{ij} = S_{ji}$ ),  $B_k$  = efecto del bloque  $K$ ,  $(gb)_{ijk}$  = efecto de la interacción entre el genotipo  $ij$  y el bloque  $k$ ,  $1/bc + \sum e_{ijkl}$  = efecto residual de la observación  $ijkl$ .

Para la comparación de medias se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) al 0.05 de probabilidad. El análisis estadístico se realizó con el programa Statistical Analysis System (SAS Versión 9.0.) utilizando el programa Diallel-SAS (Zhang y Kang 2003), para los análisis de varianza y estimación de efectos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuadrados medios del análisis dialélico (Método II, Modelo I de Griffing, 1956) para los siete progenitores y sus 21 cruzas, se muestran en el Cuadro 2. Se observaron diferencias ( $p \leq 0.05$ ) para REND, LF y DIF y diferencias ( $p \leq 0.01$ ) para NTF y PPF para la fuente de variación cruzas; en lo que se refiere a la ACG las variables NTF, REND, PPF y LF presentaron diferencias ( $p \leq 0.01$ ) (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con lo reportado por Martínez *et al.* (1989), García y Vallejo (1990), Hannan *et al.* (2007) y Mendoza *et al.* (2010), los cuales reportaron diferencias altamente significativas para las mismas variables en el cultivo de tomate chonto y saladette, respectivamente. Para DIF se observó diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ). Esta variabilidad presentada en los resultados se puede atribuir a la divergencia genética que presentan los progenitores, lo que hace posible la identificación de cruzas precoces, tardías, frutos más grandes (largos y anchos) y sobre todo, de cruzas con rendimiento contrastante; esto se demuestra por los rangos de diferencias encontrados en el cuadro de comparación

de medias (Cuadro 5), debido a la condición genética de cada genotipo. No se observó diferencia estadística para ninguna de las fuentes de variación en lo que respecta a DF, esto puede deberse al tipo de fruto que presentan las líneas que es de tipo saladette, fruto que se caracteriza por ser ligeramente alargado y angosto. La producción moderna de cultivos hortícolas requiere de uniformidad genética en diferentes características morfológicas, fenológicas y fisiológicas,

Los cuadrados medios para la ACE presentaron en promedio, 3.18 veces menor efecto en comparación a los de la ACG para todas las variables evaluadas, estas no presentaron significancia, esto quiere decir que todos los progenitores y cruza se comportaron de manera similar para ACE. Debido a las combinaciones híbridas tuvieron un comportamiento peor al esperado, en base al comportamiento promedio de las líneas parentales, esto se pudo deber a la falta de complementariedad entre las líneas involucradas o a la existencia de cierto grado de parentesco entre ellas. García y Vallejo (1990) dicen que los efectos negativos de ACE son los responsables de que los progenitores superiores originen híbridos inferiores o viceversa, debido a los complejos sistemas de interacción, especialmente complementación, entre los genes responsables de la manifestación del carácter.

Al desglosar ACG y ACE, y no obstante de haber obtenido diferencias ( $p \leq 0.01$ ,  $p \leq 0.05$ ), se determinó que la ACG predominó con más del 16 % a la suma de cuadrados (SC) en la fuente de variación genotipos en NTF y REND, esto demuestra que los efectos aditivos fueron superiores a los efectos no aditivos, mientras que

para PPF, LF, DIF y DF contribuyó con 15.30, 10.36, 9.84 y 5.55 % respectivamente, esto es debido a los efectos aditivos que pueden ser explotados a través de un programa de selección recurrente para desarrollar genotipos con estas características. García y Vallejo (1990) mencionan que no se debe descartar la posibilidad de formar líneas homocigotas, aprovechando la presencia de acción génica aditiva significativa. Por otro lado, la ACE predominó en la suma de cuadrados en la fuente de variación genotipos con más del 17.22 % en DIF, mientras que LF, NTF, DF, PPF y REND representaron más del 14.75, 13.94, 13.93, 12.55 y 11.06 %, respectivamente.

Los resultados de los efectos de ACG y ACE, indican que tanto los efectos aditivos como los no aditivos contribuyeron a la suma de cuadrados de genotipos. Esto concuerda con lo obtenido por Gui *et al.* (1992) y Vasal *et al.* (1992) quienes observaron que los efectos aditivos contribuyeron más a la varianza de genotipos, pero no coincide con Martínez *et al.* (2005) y De la Rosa *et al.* (2006) quienes reportaron que los efectos de dominancia constituyen el componente genético más importante para el rendimiento. Al respecto, Gutiérrez *et al.* (2002) encontraron, en maíz, que a medida que la divergencia genética de los materiales se incrementa, aumenta también la diferencia entre los valores de ACG o ACE; o bien para los dos tipos de acción génica. Los coeficientes de variación (Cuadro 3) se ubicaron en un rango aceptable, ya que mostraron valores de 11.629 % para DIC hasta 33.941 % para REND, lo cual es un indicativo de la confiabilidad de los datos obtenidos.

**Cuadro 2.** Cuadrados medios del análisis dialélico de siete progenitores de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y sus 21 cruza evaluadas en la localidad de Saltillo, Coahuila en el ciclo PV 2010.

FV	GL	NTF	REND	PPF	LF	DF	DIF
Repetición	3	307.904	60033322	638.539	1.794	0.968	7.178
Genotipos	27	520.639**	191615717*	339.514**	1.228*	0.284	59.739*
ACG	6	1235.30**	509440531.76**	839.263**	2.280**	0.366	97.785*
ACE	21	316.52	100808626.63	196.730	0.927	0.261	48.869
Error	81	229.880	106306530	156.244	0.744	0.260	33.450
Total	138	2610.297	968204727.39	2170.29	6.973	2.139	247.021
C.V.		29.791	33.941	21.82	13.325	10.420	11.629

FV= Fuente de variación; GL= Grados de libertad; REP = Repetición; ACG= Aptitud combinatoria General; ACE = Aptitud Combinatoria Especifica; CV = Coeficiente de Variación. \*, \*\* Significativo y altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

En la estimación de los efectos de ACG de las líneas progenitoras del cruzamiento dialélico analizado bajo el método II modelo I de Griffing (1956) se observó (Cuadro 4) para la variable rendimiento (REND), que la línea IR17 fue la que obtuvo el valor más alto de ACG presentando diferencia altamente significativa, para la misma variable, las líneas IR24, IR9 y IR14 presentaron valores positivos. Las líneas que presentaron los valores más altos para número total de frutos (NTF) fueron IR9 e IR17 siendo altamente significativos y significativos respectivamente, las líneas IR14 e IR24 presentaron valores sobresalientes.

### Peso del fruto

En lo que se refiere al peso del fruto (PF), las mejores líneas fueron IR17 e IR24 presentando diferencias ( $p \leq 0.01$ ) y ( $p \leq 0.05$ ). Todos los demás materiales presentaron valores negativos, sobresaliendo la línea IR10, que mostró el valor más bajo de los negativos ( $p \leq 0.05$ ). Esto significa que los efectos aditivos fueron los que influenciaron en la línea IR17, al presentar los valores más altos y positivos para las variables REND, NTF y PPF, indicando que es una buena fuente de germoplasma para desarrollar futuros programas de mejoramiento. Por el contrario, la línea IR10 obtuvo los valores negativos más bajos para estas tres variables.

### Longitud de fruto

Las líneas IR17 e IR10 mostraron valores positivos y diferencias significativas, la línea IR9 presentó valor positivo aunque no significativo. IR24 fue estadísticamente diferente a las demás líneas con valor negativo más alto, lo cual se reflejó en el tamaño de los frutos, que fueron los más pequeños. En cuanto al DF, IR9 fue estadísticamente diferente a las demás con el valor negativo más bajo, en contraste la línea IR17 presentó el valor positivo más alto; sin embargo no presentó diferencia estadística, a esta le siguieron las líneas IR14, IR13 e IR8 en orden ascendente.

### Días a inicio de floración

La línea IR10 presentó el valor positivo más alto ( $p \leq 0.01$ ). La existencia de efectos positivos de ACG en días a floración, es una situación desfavorable si se deseara mejorar dicho carácter hacia precocidad, por que tales efectos positivos implican ciclos más tardíos; por el contrario, la línea IR24 mostró el valor negativo de ACG más alto, lo que indica que este progenitor fue el más precoz, situación que hace deseable este material para mejorar precocidad, ya que ésta se reduce en sus cruza.

**Cuadro 3.** Estimación de los efectos de aptitud combinatoria general (ACG) de siete líneas progenitoras de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de un cruzamiento dialélico evaluado en Buenavista, Saltillo, Coah., durante el ciclo PV 2010.

Líneas	NTF	REND	PPF	LF	DF	DIF
IR-14	1.03	100.07	-0.16	-0.11	0.08	-0.51
IR-10	-8.76**	-4713.13**	-5.18*	0.28*	-0.10	2.93**
IR-24	0.67	1722.40	4.95*	-0.30*	-0.00	-1.51
IR-17	6.01*	6804.96**	8.05**	0.32*	0.09	-1.15
IR-8	-3.18	-2838.95	-3.92	-0.23	0.04	-0.17
IR-9	8.12**	1006.82	-2.63	0.14	-0.16*	-1.15
IR-13	-3.90	-2082.18	-1.09	-0.09	0.05	1.57

\*, \*\* Significativo y altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.

En la estimación de los efectos de ACE del cruzamiento dialélico analizado bajo el método II modelo I de Griffing (1956) (Cuadro 5) se encontró que en número total de frutos (NTF), los valores positivos altos y significativos fueron para los híbridos IR24xIR8 y IR8xIR13 con 17.36 y 11.69; los híbridos que presentaron valores negativos y no diferentes estadísticamente fueron IR17xIR9 con -13.52 y IR24xIR9 con -11.94.

### Rendimiento

El híbrido IR24x IR8 obtuvo el valor positivo más alto de ACE con 12308.60 con alta significancia, este híbrido puede utilizarse como tal para explotar el vigor híbrido para rendimiento, el híbrido IR17xIR9 mostró el valor negativo más bajo (-8394.62). El alto rendimiento de una craza puede deberse a la suma de efectos aditivos de los genes de ambos progenitores, o bien, a los efectos de interacción de los alelos dominantes

de un progenitor con los alelos recesivos del otro progenitor (Falconer, 1981).

En cuanto a PF, la craza IR14xIR24 presentó valor negativo para ACE y fue estadísticamente diferente a las demás con -12.87, mientras que las cruza con valores positivos altos fueron para IR8xIR9 e IR14xIR8 con 10.94 y 9.96, respectivamente.

Para la LF, el valor positivo significativo para ACE fue el híbrido IR14xIR8 con 0.93, así mismo, se encontró diferencia significativa con valor negativo para el híbrido IR14xIR24 con -1.00.

En cuanto al DF, la craza IR14xIR24 presentó valor negativo alto para ACE y fue estadísticamente diferente a las demás cruza con valor de -0.50, mientras que las cruza con valores positivos altos fueron para IR24xIR8 e IR14xIR13 con 0.39 y 0.25, respectivamente.

En DIF, las cruza no presentaron diferencia estadística tanto positiva como negativa, los valores positivos de ACE más importantes fueron para IR24xIR17 con -4.56 y IR14xIR9 con -4.31.

**Cuadro 4.** Estimación de los efectos de aptitud combinatoria específica (ACE) de 21 híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) evaluados en Buenavista, Saltillo, Coah., durante el ciclo P-V 2010.

Cruzas	NTF	REND	PPF	LF	DF	DIF
IR14xIR10	-3.16	-4181.55	-1.90	-0.36	-0.20	-1.40
IR14xIR24	3.88	-1397.42	-12.87*	-1.00*	-0.50*	4.79
IR14xIR17	-1.44	954.78	-3.91	0.12	0.23	4.93
IR14xIR8	-7.00	424.45	9.96	0.93*	0.18	-4.04
IR14xIR9	11.19	2011.01	-2.11	-0.52	-0.10	-4.31
IR14xIR13	-7.02	-1431.22	2.49	0.11	0.25	4.45
IR10xIR24	-0.05	1089.21	2.96	-0.00	0.09	2.34
IR10xIR17	-0.88	-539.02	1.13	0.30	-0.24	-3.26
IR10xIR8	-2.94	-960.58	-6.59	-0.76	0.08	3.01
IR10xIR9	-7.00	-4408.98	4.95	0.29	-0.18	-2.01
IR10xIR13	-1.22	-2345.61	-6.54	-0.25	-0.35	-2.48
IR24xIR17	3.41	1534.69	4.75	0.11	-0.10	-4.56
IR24xIR8	17.69*	12308.60**	6.74	0.10	0.39	1.45
IR24xIR9	-11.94	-2304.17	7.39	0.71	-0.06	-1.06
IR24xIR13	-5.66	-2811.56	-1.36	-0.12	0.24	-1.04
IR17xIR8	1.27	648.17	4.36	0.35	0.05	-2.40
IR17xIR9	-13.52	-8394.62	-4.85	-0.36	-0.07	0.81
IR17xIR13	10.00	7062.00	2.35	-0.05	0.19	-1.15
IR8xIR9	-8.83	-2094.01	10.94	0.43	0.04	-2.65
IR8xIR13	11.69*	3778.87	3.03	-0.13	-0.23	-4.12
IR9xIR13	-1.11	-519.78	-5.61	0.07	0.24	4.09

\*, \*\* Significativo y altamente significativo al nivel de probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente.



**Cuadro 5.** Comparación de medias de siete líneas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y sus 21 cruzas para características fenológicas y de rendimiento.

Líneas	NTF1 (Núm.)	REND (t ha <sup>-1</sup> )	PPF (gr)	LF (cm)	DF (cm)	DIF (días)
IR14	54.75 bcdefg	32.388 abcdef	61.11 abcdef	6.60 abcde	5.14 abcd	46.50 cdefg
IR10	41.00 fg	26.624 defg	49.89 cdefgh	7.44 a	5.10 abcd	57.50 a
IR24	48.75 cdefg	29.613 abcdefg	63.35 abcde	5.98 bcdef	4.85 abcd	45.75 defg
IR17	63.50 abcd	43.354 a	71.46 ab	6.89 abcd	5.07 abcd	50.25 abcdeg
IR8	38.75 g	17.647 g	35.17 h	5.54 ef	4.72 abcd	53.75 abcd
IR9	82.75 a	40.246 abcd	46.63 efgh	6.45 abcde	4.64 abcd	50.00 abcdefg
IR13	39.75 fg	24.347 efg	57.88 abcdefg	6.48 abcde	4.84 abcd	53.00 abcdefg
Cruzas						
IR14XIR10	40.00 fg	21.583 fg	50.02 cdefgh	6.28 abcdef	4.68 abcd	50.75 abcdef
IR14XIR24	56.50 bcdefg	30.803 abcdefg	49.18 cdefgh	5.05 f	4.48 cd	52.50 abcde
IR14XIR17	56.50 bcdefg	38.237 abcdefg	61.24 abcdef	6.81 abcd	5.32 a	53.00 abcde
IR14XIR8	41.75 efg	28.063 bcdefg	63.14 abcde	7.05 abc	5.21 abc	45.00 efg
IR14XIR9	71.25 ab	33.495 abcdef	52.34 cdefgh	5.98 bcdef	4.72 abcd	43.75 fg
IR14XIR13	41.00 fg	26.964 defg	58.50 abcdefg	6.37 abcde	5.30 a	55.25 ab
IR10XIR24	42.75 defg	28.476 bcdefg	60.00 abcdefg	6.45 abcde	4.89 abcd	53.50 abcd
IR10XIR17	47.25 cdefg	31.930 abcdefg	61.27 abcdef	7.39 a	4.65 abcd	48.25 bcdefg
IR10XIR8	36.00 g	21.865 fg	41.56 gh	5.76 def	4.93 abcd	55.50 ab
IR10XIR9	43.25 defg	22.262 fg	54.40 bcdefg	7.20 ab	4.44 d	49.50 abcdefg
IR10XIR13	37.00 g	21.237 fg	44.44 fgh	6.41 abcde	4.50 bcd	51.75 abcdef
IR24XIR17	61.00 bcdef	40.440 abcd	75.03 a	6.62 abcde	4.89 abcd	42.50 g
IR24XIR8	65.75 abc	41.570 abc	65.03 abcde	6.04 bcdef	5.34 a	49.50 abcdefg
IR24XIR9	47.75 cdefg	30.803 abcdefg	66.96 abc	7.03 abc	4.66 abcd	46.00 defg
IR24XIR13	42.00 efg	27.206 cdefg	59.76 abcdefg	5.95 cdef	5.20 abc	48.75 bcdefg
IR17XIR8	55.00 bcdefg	34.992 abcdef	65.75 abcd	6.93 abcd	5.10 abcd	46.00 defg
IR17XIR9	51.50 bcdefg	29.795 abcdefg	57.83 abcdefg	6.58 abcde	4.75 abcd	48.25 bcdefg
IR17XIR13	63.00 abcde	42.162 ab	66.58 abc	6.65 abcde	5.25 ab	49.00 bcdefg
IR8XIR9	47.00 cdefg	26.451 defg	61.64 abcdef	6.82 abcd	4.83 abcd	45.75 defg
IR8XIR13	55.50 bcdefg	29.235 abcdefg	55.28 bcdefg	6.00 bcdef	4.77 abcd	47.00 cdefg
IR9XIR13	54.00 bcdefg	28.782 bcdefg	47.92 defgh	6.59 abcde	5.03 abcd	54.25 abc

1 Número total de frutos de cinco plantas centrales

\*Valor con la misma letra son estadísticamente iguales (DMS 0.05)

### CONCLUSIONES

Los caracteres de rendimiento principalmente por efectos de la aptitud combinatoria general fueron superiores a los de la aptitud combinatoria específica. Las líneas que mostraron el mayor efecto de la aptitud combinatoria general y el mayor rendimiento en la comparación de medias, podrían ser usadas en un programa de mejoramiento genético, diseñado para explotar la acción génica aditiva en forma exitosa. La línea IR17 mostró la mayor aptitud combinatoria general y las más altas combinaciones híbridas, se recomienda

para ser utilizada en un programa de mejoramiento donde se exploten principalmente los efectos aditivos para mejorar el rendimiento.

### LITERATURA CITADA

- Amaral, J., A.T., W., Díaz C., V.W., Damiao C., C., F. F. Luiz y S.C. Albrerto. 1997. Melhoramento do tomateiro: II. Procedimento de Gardner e Eberhart na análise heterótica de características morfoagronômicas e da qualidade dos frutos. *Bragantia*. 56 (1): 33-46.
- Cruz, C., D. e Regazzi A., J. 1994. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Segunda ed.

- Universidad Federal Vicosa. Imprenta universitaria. Brasil. 390 p.
- De la Rosa, L., A, De León C., H., Rincón S., F. y Martínez Z., G. 2006. Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados a El Bajío mexicano. *Rev. Fitotec. Mex.* (3):247-254.
- Falconer, D.S. 1981. Introducción a la genética cuantitativa. Segunda ed. Editorial CECSA. London. Logmans. 430 p.
- FAOSTAT. 2009. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Tomato Production Statistic. Roma: FAO. <http://faostat.fao.org/> (5 de junio de 2010).
- Fehr, R.W. 1982. Applied plant breeding. Iowa State University. Ames Iowa University Press. P. 552.
- García, A., A. y Vallejo C., F.A. 1990. Habilidad combinatoria para el carácter producción por planta y sus componentes primarios en un cruzamiento dialélico de siete líneas de tomate Chonto *Lycopersicon esculentum* Mill. *Rev. Acta Agro.* 40(1-2): 32-41.
- Gardner, C.O. 1967. Simplified methods for estimating constants and computing sums of squares for a diallel cross analysis. *Fitotec. Latinoamer.* 4(2): 1-12.
- Gardner, C.O. and Eberhart S., A. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics* 22: 439-452.
- Griffing, B. 1956. Concepts of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. Biol. Sci.* 9: 463-493.
- Guei, R., G. and Wasson E., C. 1992. Inheritance of some drought adaptive traits in maize. Interrelationship between yield, flowering and ear per plant. *Maydica* 33: 157-164.
- Gutiérrez del Río, E, Palomo G., A., Espinoza B, A y De La Cruz L., E. 2002. Aptitud combinatoria y heterosis para rendimiento de líneas de maíz en la comarca lagunera, México. *Rev. Fitotec. Mex.* 25(3):271-277.
- Hannan, M., M., Biswas K., M., Ahmed B., M., Hossain, M. y Islam R. 2007. Combining ability analysis of yield and yield Components in Tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.). *Rev. Turk. J. Bot.* 31(1): 559-563.
- INEGI. 2000. Marco Geoestadístico de los Estados Unidos Mexicanos.
- Martin del Campo, V., S. y Molina G., J. 1982. Aptitud combinatoria, heterosis y estabilidad en tres grupos de poblaciones de maíz en el norte-centro de México. *Agrociencia.* 47-50: 103-116.
- Martínez, P., B. A., Saint P., R. y Vallejo C., F.A. 1989. Análisis de la heterosis y de la habilidad combinatoria entre diferentes cultivares de tomate, *Lycopersicon esculentum* Mill. a partir de un cruzamiento dialélico. *Rev. Acta Agro.* 39 (1-2): 24-33.
- Martínez, Z., G., Dorantes G., J.R.A., Ramírez M., M., De la Rosa L., A. y Pozo C.O. 2005. Efectos genéticos y heterosis en la vida de anaquel del chile serrano. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(4): 327-332.
- Mendoza, J., V., Shagún C., J., Rodríguez P., J. E, Legaria S., J. P, Peña L., A. y Pérez G., M. 2010. Heterosis intervarietal en jitomate de crecimiento indeterminado tipo saladette. *Rev. Chapingo serie horticultura.* 16(1): 57-66.
- Reyes, L., D., Molina G, J.D, Oropeza R., M.A. y Moreno P., E. C. 2004. Cruzas dialélicas entre líneas autofecundadas de maíz derivadas de la raza tuxpeño. *Rev. Fitotec. Mex.* 27(1):49-56.
- Sierra, M., M., Preciado O., R.E., Alcázar A., J.J, Rodríguez M., F.A. 1991. Selección de líneas por su rendimiento y adaptación con base en un patrón heterótico conocido. *In: XXXVII Reunión Anual del PCCMCA.* Panamá, Panamá. pp. 109-116.
- Sprague, G., F. and Tatum L., A. 1942. General vs specific combining ability in single-crosses of corn. *Amer. Soc. Agron.* 34: 923-932.
- Vasal, S., K., Srinivasan G., Crossa J. and Beck D., L. 1992. Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperature early-maturity maize germplasm. *Crop Sci.* 32:884-890.
- Zhang, Y. and Kang M.S. 2003. DIALLEL-SAS: A program for Griffing's diallel methods: Handbook of formulas and software for plant geneticists and breeders. *In: Kang, M. S. (ed).* FPP. New York. London. Oxford. 347p.



# Thysanoptera (Trips) del Área Protegida de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México



## Thysanoptera (Thrips) of Protected Area of Cuatro Cienegas, Coahuila, Mexico

José Antonio **Zúñiga-Sámamo**\*<sup>1</sup>, Roberto Miguel **Johansen-Naime**<sup>2</sup>, Oswaldo **García-Martínez**<sup>1</sup>,  
Axel Pedro **Retana-Salazar**<sup>3</sup>, Víctor M. **Sánchez-Valdez**<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Parasitología. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Colonia Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México. Correo-e: samano120384@hotmail.com (\*Autor responsable), <sup>2</sup>Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria Delegación Coyoacán, México, D.F. <sup>3</sup>Centro de Investigación en Estructuras Microscópicas. Universidad de Costa Rica, 2060, Ciudad de la Investigación.

---

### RESUMEN

En las áreas naturales protegidas de flora y fauna de Coahuila de Madera del Carmen y el Valle de Cuatro Ciénegas no se ha realizado investigación sobre insectos, incluyendo a los trips, por lo que se desconocen pormenores de este grupo de organismos que podrían ser de utilidad, sobre todo en aspectos de biodiversidad. Los objetivos de este estudio fueron: identificar las especies de trips presentes en el Valle de Cuatro Ciénegas; reconocer posibles especies nuevas; y generar una clave para los géneros presentes. Durante 2007 y 2008 se colectaron adultos de Thysanoptera (trips) en el Valle de Cuatro Ciénegas, para identificar las especies presentes en diferentes situaciones ecológicas. Para obtener especímenes se utilizó red entomológica y además se realizó una colecta directa de individuos en diferentes partes de plantas. Para identificar las especies, se utilizaron llaves morfológicas, y su confirmación posterior fue realizada por taxónomos reconocidos del grupo. A través del tiempo de colecta, se obtuvieron cuatro familias, 20 géneros y 61 especies. Se detallan aspectos de las especies nuevas obtenidas. La diversidad de trips en el Valle de Cuatro Ciénegas representa el 55 % de las 111 especies colectadas hasta el momento en el Estado de Coahuila. Se presenta una clave de los géneros detectados.

**Palabras clave:** Trips, taxonomía, claves, área protegida, entomología, biodiversidad.

### ABSTRACT

Up to now, there has not been any research on insects in the protected areas of flora and fauna of Coahuila: Madera del Carmen and Cuatro Ciénegas Valley, including thrips, so details for this group of organisms that could be useful especially in aspects of biodiversity are unknown. The objectives of this study were to identify thrips species present in the Cuatro Ciénegas Valley, to identify potential new species, and to generate a key for the present genera. During 2007 and 2008, adults of Thysanoptera (thrips) were collected in the Cuatro Ciénegas Valley to identify the species in different ecological situations. Specimens were used for entomological net and direct collection of individuals in different parts of plants was also made. To identify the species, morphological keys were used, and further confirmation was done by recognized taxonomists of the group. Through the time of collection, four families, 20 genera and 61 species were obtained. Aspects of the new species obtained are detailed. The diversity of thrips in the Cuatro Ciénegas Valley, represents 55 % of the 111 species collected so far in the State of Coahuila. A key of the detected genera is presented.

**Key words:** Thrips, taxonomy, keys, protected area, entomology, biodiversity.

---

Recibido: Febrero, 2010.

Aceptado: Julio, 2012.

## INTRODUCCIÓN

En el orden Thysanoptera se reconoce a los subórdenes Tubulifera y Terebrantia (Borror y White, 1970); el primero está representado por la familia Phlaeothripidae y el segundo incluye a Aelothripidae, Merothripidae, Heterothripidae, Thripidae, Fauriellidae, Uzelothripidae y Adiheterothripidae (Thriplehorn y Jhonson, 2005). A nivel mundial se han descrito 4,500 especies de trips y en el continente americano cerca de 1,000 (Hoebeker, 1994), 627 de las cuales se encuentran en México (Johansen, 1996); 73 se han colectado (hasta antes de realizar este estudio) en el Estado de Coahuila (Morales, 2001; Bautista, 2004 y Gallardo, 2006).

México cuenta con 29 áreas naturales protegidas de flora y fauna y dos de estas están en Coahuila, a saber, Madera del Carmen y el Valle de Cuatro Ciénegas. En esta última, se han realizado múltiples proyectos de investigación que han generado información ecológica, hidrológica, edafológica, socioeconómica, biológica; así como taxonómica en flora y fauna, determinando la presencia de especies endémicas (Carrera, 2002). En los esfuerzos por generar información científica del área, no se ha realizado, a la fecha, investigación sobre insectos, incluyendo a los trips, por lo que se desconocen pormenores de este grupo de organismos que podrían ser de utilidad, sobre todo en aspectos de biodiversidad en áreas protegidas del país. El Valle de Cuatro Ciénegas es un humedal que propicia la presencia de muchas especies. Esta condición ecológica permite suponer probabilidades de determinar especies nuevas de trips para México y Coahuila, algunas de las cuales, a su vez, pudieran ser endémicas. Dado lo anterior, los objetivos de este estudio fueron: identificar las especies de trips presentes en el Valle de Cuatro Ciénegas; reconocer posibles nuevas especies y generar una clave para los géneros presentes.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de estudio

El estudio se hizo en el Valle de Cuatro Ciénegas cuya extensión es de 7, 860 km<sup>2</sup>; está localizado en el municipio del mismo nombre, ubicado en el centro del Estado de Coahuila, en el noreste de México, en las coordenadas 26° 59' N y 102° 03' O.

La colecta de adultos de trips se realizó cada 15 días, del 29 de junio al 27 de diciembre de 2007 y del 9 de

febrero al 25 de abril de 2008, periodo de tiempo que permitió obtener especímenes en las diferentes estaciones del año.

### Muestreo de insectos

Se muestrearon seis sitios del área con características ecológicas muy diferentes, a saber: arenal (dunas), cultivo (alfalfa), desierto (áreas típicas del desierto Chihuahuense), maleza que crecía alrededor de alfalfa, pozas (cuerpos de agua) y sitios urbanos. En cada fecha y sitio (excepto en espacios urbanos) se escogió un área al azar, donde se marcaron cuatro líneas paralelas de 50 m cada una, distantes una de otra 50 m, con lo que se dispuso de una superficie de 2500 m<sup>2</sup>, se dieron 20 golpes de red al azar en cada línea y además, se hicieron colectas directas a mano. De esta manera, en cada fecha de muestreo se realizaron 80 golpes de red en cada sitio, haciendo un total de 480 en los seis sitios aludidos.

### Manejo de insectos

Todos los insectos colectados se colocaron en frascos de plástico transparente de 9 cm de altura y 4 cm de diámetro, con capacidad de 100 mL que contenían alcohol etílico a los 70 %, etiquetados con la siguiente información: colector, fecha, sitio y tipo de muestreo. Todos los frascos utilizados en cada muestreo se trasladaron el mismo día, a un laboratorio del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario No. 22 (CBTA-22), ubicado en la Ciudad de Cuatro Ciénegas, Coah., México.

Posteriormente, cada mes, este material biológico se transportó al Laboratorio de Taxonomía de Insectos y Ácaros del Departamento de Parasitología Agrícola (DPA) de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), donde se separaron los trips por sitio de muestreo, y se colocaron en un frasco de plástico de las dimensiones ya mencionadas con los datos de campo correspondientes. Luego se contó el total de especímenes por frasco, mes y sitio.

### Montaje de especímenes

Se seleccionaron insectos adultos; cuando en un frasco hubo menos de 15 trips, se montaron todos; pero cuando hubo más de 20, se consideró una muestra aleatoria de 15 a 20 %.



Los adultos de trips se montaron en portaobjetos, utilizando bálsamo de Canadá, siguiendo la metodología de Mound y Marullo (1996). Para la identificación de los adultos (720 especímenes montados), se utilizaron claves morfológicas a nivel de familia (Thriplehorn y Jhonson, 2005); para algunos géneros y especies, las de Mound y Marullo (1996); para especies del género *Heterothrips* las de Johansen (1989); para especies del género *Leptothrips* las de Johansen (1987); para especies del género *Kurtomathrips* las de Borbon (2004); para especies del género *Plesiothrips* las de Johansen (1974); para especies del género *Chirothrips* las de Zur (1960) y para algunas especies del género *Frankliniella* las de Retana y Soto (2004), Johansen (1998) y Johansen (2003). Todas las especies fueron corroboradas por tisanopterólogos expertos de la Universidad Nacional Autónoma de México y de la Universidad de Costa Rica, C. A.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los diez meses que duró el estudio en campo, se colectaron un total de 1,804 adultos de trips, de los cuales, se montaron 720. Considerando estos últimos, en el Cuadro 1 se resume el número de adultos montados por sitio. En todos los meses se colectaron trips en todos los sitios; en las pozas se obtuvo la mayor cantidad, seguidos por la alfalfa, la maleza y el arenal. En los espacios urbanos se colectaron mucho menos, debido a que los muestreos no fueron sistemáticos y consistentes como en el resto de los sitios.

**Cuadro 1.** Número y porcentaje de adultos de trips montados en portaobjeto por sitio de colecta en el Valle de Cuatro Ciénegas, Coah., México.

Sitio de Colecta	Especímenes Montados	Cantidad %
Arenal	144	20.00
Alfalfa	173	24.02
Desierto	70	9.72
Malezas	144	20.00
Pozas	176	24.44
Urbano	131	80
Total	720	100.00

Del material montado, se determinaron las familias Thripidae, Aeolothripidae, Heterothripidae y Phlaeothripidae, y se identificaron 20 géneros y 61 especies (Cuadro 2). Thripidae fue la familia más representada con 642 especímenes montados, que corresponden a 14 géneros y 50 especies; de los cuales, dos géneros y 19 especies son nuevas. *Frankliniella* fue el género más representado dentro de la familia con 27 especies, 13 de ellas son nuevas; esto coincide con lo señalado por Morales (2001), quien mencionó a la familia Thripidae como la más representada en Coahuila con 6 géneros y 41 especies; las especies más abundantes de esta familia fueron *F. minuta* y *F. occidentalis* presentándose en todos los sitios de colecta. Bautista (2004), menciona que *F. occidentalis* se localizó en todos los sitios de colecta, siendo la especie más abundante en el estado, lo cual se refleja también en el Valle de Cuatro Ciénegas. Las especies menos colectadas fueron *F. simplex* y *Microcephalothrips abdominalis*, con un solo espécimen por especie, lo que concuerda con Bautista (2004), quien menciona a *F. simplex* como la menos representada en el Estado de Coahuila.

**Cuadro 2.** Familias, Géneros y especies de trips identificadas en el Valle de Cuatro Ciénegas, Coah., México.

Suborden	Familia	Trips	Géneros	Especies
Terebrantia	Thripidae	642	14	50
	Aeolothripidae	3	2	2
	Heterothripidae	2	1	1
Tubulifera	Phlaeothripidae	73	3	8
Total		720	20	61

La segunda familia más colectada fue Phlaeothripidae, con tres géneros y ocho especies; el género con más especies dentro de esta familia fue *Leptothrips* con cuatro, seguido de *Goniothrips* y *Haplothrips* (dos especies cada uno). Esto coincide con Morales (2001) quien ubicó a Phlaeothripidae como la segunda familia más abundante en Coahuila con tres géneros y siete especies. Para el Valle de Cuatro Ciénegas se identificaron un género y cinco especies, como nuevos registros para Coahuila, se considera que una de ellas es una especie nueva. Las familias menos colectadas fueron Aeolothripidae y Heterothripidae; la primera con dos géneros y dos especies, *Aeolothrips surcalifornianus* y *Stomatothrips septenarius* que son nuevos registros para Coahuila; Morales (2001), reportó

para el estado, al género *Aeolothrips nasturdi*, mientras que Bautista (2004) consignó a *Erythrothrips durango* y *Aeolothrips* sp. y Gallardo (2006) registró para Coahuila a *Aeolothrips mexicanus* y *Erythrothrips diabolus*. El género *Aeolothrips* fue el más colectado en la Familia Aeolothripidae en el Estado de Coahuila. En Heterothripidae solo se colectó a *Heterothrips prosopidis*, que es la única especie de la Familia reportada para Coahuila hasta el momento (Bautista, 2004). En el Cuadro 3 se registran todas las familias, géneros y especies encontradas en el Valle de Cuatro Ciénegas.

Las cuatro Familias identificadas son las reportadas para Coahuila por Morales (2001) y Bautista (2004). Gallardo (2006) no consignó a Heterothripidae y reporta

73 especies de Thysanoptera en Coahuila y en el Valle de Cuatro Ciénegas se encontraron 61, de estas; 22 son especies ya registradas anteriormente para el estado, mientras que 39 son registros nuevos para Coahuila, siendo dos nuevos registros para México y 20 nuevas especies.

Solamente las especies *Aeolothrips surcalifornianus* y *Stomatothrips septenarius* tienen hábito depredador; la nueva especie del género *Leptothrips* pudiera ser depredadora, ya que en las patas delanteras no presenta un dientecillo en el protarso característico del género *Leptothrips* con hábito fitófago; las demás especies están descritas como fitófagas, es decir, el 94 % de las especies encontradas en el Valle de Cuatro Ciénegas son fitófagas y algunas pueden atacar cultivos (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Géneros y especies de trips colectados por familia en el Valle de Cuatro Ciénegas, Coah., México.

Géneros	Especies	Géneros	Especies
<b>Familia Thripidae</b>			
Arorathrips*	mexicanus Crawford*F	Novo genero 1+	n sp. +
Bregmatothrips*	venustus Hood*F	Novo genero 2+	n sp. +
Caliothrips**	phaseoli Hood**F	Frankliniella*	n sp. cf curiosa+
Chirothrips*	falsus Priesner*F		n sp. cf invasor+
Exophtalmothrips	n sp. +		n sp. cf invasor+
	chiapennis Johansen**F		n sp. cf molesta+
	fulvipennis Moulton**F		n sp. cf molesta+
Frankliniella*	bispinosa Morgan**F		n sp. cfoccidentalis+
	borinquen Hood*F		n sp. cfoccidentalis+
	brunnescens Priesner*F		n sp. cfoccidentalis+
	cephalica Crawford*F		n sp.cf occidentalis+
	dubia Priesner*F		n sp.cf occidentalis+
	gardeniae Moulton*F		n spprothoraxilabra+
	morerai Retana***F	Kurtomathrips	n sp. +
	lactea Moulton***F	Microcephalothrips*	sp1 "coahulensis"*
	occidentalis Pergande*F		sp2"tlanchinolensis"*
	rostrata Priesner*F		sp3 "verbesinaffinis"***
	salviae Moulton*F		sp 4 "totonacus"***
	simplex Priesner*F		sp5 cf "sp1"+
Thrips*	tabaci Lindeman*F		sp6 "bonanpakus"***
Neohydatothrips*	burungae Hood**F		sp7 "huastecus"*
Pseudothrips**	pinicola Johansen**F		abdominalis Crawford *F
Plesiothrips**	ayarsi Stannard**F		
			n sp. +
<b>Familia Phlaeothripidae</b>			
Goniothrips**	denticornis Hood**F	Leptothrips*	purpuratus Hood**F
Haplothrips*	graminis Hood*F		n sp. +
	malifloris Hood*F		vulcaniensis Johansen **F
	robustus Bagnall*F		yaqui Johansen**F
<b>Familia Aeolothripidae</b>		<b>Familia Heterothripidae</b>	
Aeolothrips*	surcalifornianus	Heterothrips**	prosopidis Crawford **F
	Johansen**D		
Stomatothrips**	septenarius Hood**D		

\* Géneros y especies registradas previamente en Coahuila; \*\* Nuevos registros para Coahuila; \*\*\* Nuevos registros para México; + Géneros y Especies nuevas; "" Estar por consignarse con ese nombre; F= Fitófago; D= Depredador.

En mayor número de especies se colectó en la alfalfa y en las pozas, con 33 y 32 respectivamente, aunque en las pozas, la abundancia de especies fue mayor con nuevos registros para México y Coahuila (2 y 18). En

la maleza y las pozas se colectó el mayor número de especies nuevas con nueve y ocho. En el área urbana hubo menor presencia de trips, con solo diez especies (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Numero de géneros y especies de Thysanoptera obtenidos por sitio de colecta

	TTPC		NRTC		NRTM		ENT	
	G	E	G	E	G	E	G	E
Arenal	8	27	1	9			1	7
Cultivo	12	33	4	16			1	6
Desierto	8	17	1	7			1	4
Malezas	9	31	3	16				9
Poza	11	32	3	18		2	1	8
Urbano	6	10	1	3				2

G = Género, E = Especie

**CONCLUSIONES**

Las cuatro familias, 20 géneros y 61 especies detectadas en el Valle de Cuatrociénegas representan el 55 % de las 111 especies colectadas en el Estado de Coahuila, lo que indica que la fauna de trips en el Valle de Cuatrociénegas es importante. Así mismo, el hallazgo de reportes nuevos de ocho géneros y 39 especies para el Estado de Coahuila y de *F. láctea* y *F. morerai* y dos géneros y 20 especies para México, como posibles nuevos, que se someterán a procesos de determinación, reflejan que la condición ecológica de humedal ha influido en la expresión de mayor diversidad local del grupo, siendo *Frankliniella* el género con 27 especies, el mayor número de ellas.

**Clave taxonómica para géneros de trips presentes en el Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México**

1. Tergito abdominal X siempre incompleta ventralmente, nunca formando un tubo, esternito VIII de la @& ausente o muy diferente en estructura al esternito VII, @& usualmente con un ovipositor compuesto por 4 válvulas dentadas, alas delanteras, cuando están presentes, presentan venas longitudinales que usualmente llevan setas, superficie del ala con muchas microtrichias.....Suborden TEREBRANTIA .....2

1°. Tergito abdominal X forma un encerrado tubo en ambos sexos, esternito VIII similar en estructura que el esternito VII, @& con un ovopositor en forma de línea, alas delanteras, cuando están presentes, sin venas longitudinales o setas venales excepto en la base, superficie del ala sin microtrichias .....Suborden TUBULIFERA (Familia PHLAEOTHIRIPIDAE).....4

2. Segmentos antenales III y IV cada uno con sensoria cónica, simple o bifurcada, ovopositor curvado hacia arriba, antenas de 6 a 8 (raramente 9) segmentos ...Familia THIRIPIDAE .....6

2°. Segmentos antenales III y IV sin sensoria prominente, raramente desarrollado en una estructura cónica corta, antenas con 7, 8 o 9 segmentos pero sin un estilo terminal corto, ovopositor curvado hacia arriba o hacia abajo ..... 3

3. Segmento antenal III y IV cada uno con una fila o banda de pequeñas sensorias rodeando el ápice de los segmentos pero algunas veces curvado basalmente en cada lado de estos segmentos ...Familia HETEROTHRIPIDAE Metanoto con muchas microtrichias, a menudo en círculos concéntricos, pero nunca formando una fuerte zona triangular, cabeza sin una zona transversa detrás de los ojos.....*Heterothrips*

3°. Segmento antenal III y IV cada uno con sensoria oval o linear, alargada longitudinalmente y además transversa u oblicua cerca del ápice pero no formando una continua banda; alas delanteras anchas; tergito abdominal X con par de pequeñas tricobotrias, ovopositor curvado

hacia arriba ..... Familia AEOLOTHRIPIDAE  
.....18

4. Segmento antenal III fuertemente asimétrico con el margen externo prolongado hacia fuera en forma de punto con seta terminal ..... *Goniothrips*

4'. Margen externo del segmento antenal III no prolongado.....5

5. Metanoto con un área triangular alargada fuertemente estriada; cuerpo color negro con pigmentos internos púrpuras, macrópteros en ambos sexos, número de conos sensoriales en el segmento IV es algunas veces menos de 4.....*Leptothrips*

5'. Metanoto sin un área triangular estriada, cuerpo color café, macrópteros en ambos sexos, número de conos sensoriales en el segmento IV es de 4 con pocas excepciones, cabeza presenta puente maxilar...  
..... *Haplothrips*

6. Superficie del cuerpo, particularmente las patas, con fuerte escultura reticulada, primera vena del ala delantera más o menos fusionada a la costa, segmentos terminales de la antena largos y delgados.....Subfamilia PANCHAETOTHRIPINAE ..... 7

6'. Cabeza pronoto y abdomen sin fuerte reticulación, si la hay es muy fina, segmentos terminales de la antena no alargados.....Subfamilia THRIPINAE ..... 7'

7. Endofurca metatoraxica con dos largos brazos posterolaterales cada uno extendiéndose al mesotórax, la cabeza no está constreñida en una región en forma de cuello, antenas presentan 8 segmentos, Ala delantera usualmente tiene oscuras y claras bandas, escultura reticulada con márgenes internos, cabeza con lados más o menos paralelos, tergito X usualmente con un división longitudinal... ..... *Caliothrips*

7'. Endofurca metatoraxica con brazos cortos y simples de forma transversa.....8

8. Conos sensoriales de los segmentos antenales III y IV simples no bifurcados.....9

8'. Conos sensoriales de los segmentos antenales III y IV bifurcados.....12

9. Especies pequeñas ápteras (raramente con alas), pronoto trapezoidal con un par de prominentes, amplias y aplanadas setas, tergitos abdominales cada uno con dos o más pares de setas similares, en el margen posterior de los tergitos abdominales nacen numerosos lóbulos pequeños ..... *Kurtomathrips*

9'. Cuerpo oscuro, usualmente macropteras, pálidos y ápteros cuando carecen de setas anchas y aplanadas...  
..... 10

10. Pronoto fuertemente trapezoidal, segmento antenal II usualmente fuerte y asimétrico, margen externo a menudo produciéndose en un punto ..... 11

10'. Pronoto ligeramente trapezoidal pero con segmento antenal II no asimétrico y segmentos III y IV de color amarillo, Cabeza sin escultura conspicua, pronoto con 2 pares de largas setas posteroangulares, machos ápteros, cuerpo bicolorados amarillo y café, setas posteroangulares en el pronoto ausentes.....*Bregmatothrips*

11. Mesofurca bien desarrollada en forma de "T", tibia delantera no está prolongada externamente a la mitad del segmento tarsal, metanoto y superficie ventral de la cabeza con numerosas, pequeñas y fuertes setas .....*Chirothrips*

11'. Mesofurca reducida, tibia delantera esta prolongada externamente a la mitad del segmento tarsal. Metanoto y superficie ventral de la cabeza cada uno con solo un par de setas medianas ..... *Arorathrips*

12. Antenas con 9 segmentos, la distancia entre el par de setas distal en tergitos abdominales menos 1.5 veces del largo de la seta, tergitos abdominales con un craspedum en margen posterior ..... *Pseudothrips*

12'. Antenas con 6 u 8 segmentos ..... 13

13. Tercios laterales de los tergitos abdominales cubiertos con hileras de finas microtrichias, vena I de las alas delanteras con hilera de setas continuas, vena II del ala delantera con 2 setas distales, borde del metasterno anterior redondeado ..... *Neohydatothrips*

13'. Tercios laterales de los tergitos abdominales algunas veces con microtrichias esparcidas irregularmente ... .....14

14. Venas I y II del ala delantera con hilera de setas completa y regular.....15

14'. Venas I y II del ala delantera con hilera de setas interrumpido e irregular o las ausentes .....17

15. Cabeza sin un par de setas enfrente de los primeros ocelos, seta ocelar II más corta que seta ocelar III, setas postoculares se presenta en una simple hilera, antenas de 7 segmentos tergitos V- VIII con ctenidia lateral en el tergito VIII surge en la parte posterior del espiráculo... *Thrips*

15'. Cabeza con un par de setas in frente de los primeros ocelos, antenas con 8 segmentos (raramente con 7), tergitos V- VIII con ctenidia lateral en VIII surge en la parte anterior del espiráculo ..... 16

16. Todas las omatidias de los ojos compuestos son del mismo tamaño, cono del aparato bucal no se extiende mas alla de la coxa delantera, metanoto con setas medias en el margen anterior, tergitos nunca con un craspedum, esternitos

nunca con setas discales, muchas especies con 4 pares de setas largas pronotales ..... *Frankliniella*

16'. Las omatidias posterodorsales de los ojos compuestos son de mayor tamaño que las demas ..... *Exopthalmothrips*

17. Pronoto con seta posteroangular no más de 1,5 veces de largo que la seta posteromarginal menor, seta distal de los tergitos abdominales no son largos ni están fuertemente juntos, tergitos abdominales V – VIII con ctenidia lateralmente, en VIII nace en la parte posterior de los espiráculos, tergitos con un craspedum posteromarginal en forma de diente, antenas de 7 segmentos ..... *Microcephalothrips*

17'. Pronoto con 2 pares de largas setas, usualmente más de 2.0 veces de largo que la seta posteromarginal menor, antenas con 7 segmentos en hembras el segmento antenal III con ápice ancho y es más pequeño que IV en machos el segmento antenal III pequeño y IV-VI son muy alargados, algunos tergitos tienen 1 par de ctenidia ligeramente desarrollados ..... *Plesiothrips*

18. Esternitos abdominales IV- VI con setas posteromarginales pero no con seta discal, palpos maxilares, cada uno con 3 segmentos, ala delantera bandeada pero con el ápice pálido ..... *Aeolothrips*

18'. Esternitos abdominales IV- VI con al menos un par de seta discal, segmento antenal III y IV con sensoria delgada, larga más de la mitad del segmento, metanoto esculpido transverso y paralelo, palpos maxilares con segmento distal subdividido, ala delantera oscura, bandeada con el ápice oscuro ..... *Stomatothrips*

#### LITERATURA CITADA

- Bautista, S.J.E. 2004. Thysanoptera y sus hospederos en el sur de Coahuila. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 45 p.
- Borbon. 2004. First record of the genus *Kurtomathrips* (Thysanoptera: Thripidae) in Argentina with the description of a new species. *Rev. Soc. Entomol. Argent.* 63 (3-4): 49-53.
- Borror, J.D. and E. White. 1970. *Insects. Peterson field guides.* United States of America. 404 p.
- Carrera, M.M.A. 2002. Caracterización de las pozas del Valle de Cuatro Ciénegas, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coah., México. 169 p.
- Gallardo, C.F. 2006. Especies de trips asociadas a malezas aladañas a papa (*Solanum tuberosum*), en Huachichil Arteaga, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 33 p.
- Hoebeke, E.R. 1994. Joseph Douglas Hood (1889-1966): life and career of a renowned Thysanopterist. *Zoology (J. Pure Appl. Zoology)* 4: 225-232.
- Johansen, R.M. 1974. Dos nuevas especies de trips (Thysanoptera: Thripidae) del pedregal de San Ángel, México, D.F. *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México, Ser. Zool.* (1): 75-82, 7.
- Johansen, R.M. 1987. El género *Leptothrips* Hood 1909 (Thysanoptera: Phlaeothripidae) en el Continente Americano; su Sistemática, Filogenia, Biogeografía, Biología, Conducta y Ecología. *Monografías Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. México* 3: 1-246.
- Johansen, R.M. 1989. Estado actual del conocimiento acerca del género *Heterothrips* Hood, 1908 (Insecta, Thysanoptera: Heterothripidae) en México y, descripción de tres especies nuevas. *Anuales Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoológica* 60(3): 321-340.
- Johansen, R.M. 1998. The *Frankliniella curiosa* species group (Thysanoptera: Thripidae). *Rev. Biol. Trop.* 46 (3): 717-738.
- Johansen, R.M. 2003. The Mexican *Frankliniella aurea* Moulton, *F. bisaetaevenusta* sp. Nov., and *F. prothoraciglabra* sp. Nov. Species assemblages in the "intonsa group" (Insecta, Thysanoptera: Thripidae). *Acta Zool. Mex. (n. s)* 89: 201-240.
- Johansen, R.M. 1996. Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de artrópodos de México. Primera edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Biología. México. 245- 273 p.
- Morales, C.L.B. 2001. Contribución al conocimiento de los Thysanoptera del estado de Coahuila, México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coah., México. 90 p.
- Mound, A.L. and R. Marullo. 1996. The thirps of central and South America: an introduction (Insecta: Thysanoptera). *Memoirs on Entomol. Int.* Vol. 6.
- Retana, S. A. y G. A. Soto. 2004. Una especie nueva de tisanóptero del género *Frankliniella* (grupo cephalica; Thysanoptera: Thripidae) de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop. (Int. J. Trop. Biol. ISSN-0034-7744)* 53 (1-2): 191-194.
- Thripelhorn, A.C. and N.F. Jhonson. 2005. Borror and Delong's introduction to the study of insects. 7<sup>th</sup> edition. Thomson broks/cole. United States. 864 p.
- Zur. S.R. 1960. Key to and catalogue of the known species of *Chirothrips* Haliday, 1836 (Thysanoptera: Thripidae). *J. Ent. Soc. S. Africa* 23: 144-176.







# Factores que Afectan la Producción de Leche de Vacas Holstein Inducidas Hormonalmente a la Lactancia



## Factors Affecting Milk Yield of Holstein Cows Hormonally Induced to Lactation

Antonio Chirino-Enoel<sup>1\*</sup>, Francisco Gerardo Véliz-Deras<sup>1</sup>, Cesar Alberto Meza-Herrera<sup>2</sup>, Oscar Ángel-García<sup>1</sup>, Edgar Sepúlveda-González<sup>1</sup>, Miguel Mellado-Bosque<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Médico Veterinarias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Periférico Raúl López Sánchez y Carretera a Santa Fe, 27054, Torreón, Coah., México. <sup>2</sup>Unidad Regional Universitaria de Zonas Áridas, Bermejillo, Durango, México. <sup>3</sup>Departamento de Nutrición y Alimentos. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Calzada Antonio Narro 1923, Colonia Buenavista, 25315, Saltillo, Coah., México. Correo-e: e\_ac\_1977@hotmail.com (\*Autor responsable)

### RESUMEN

La inducción de lactancia en vacas sometidas al tratamiento de hormona del crecimiento, en condiciones intensivas no ha sido estudiada. El objetivo de este estudio, fue determinar los factores ambientales que afectan las variables de producción de leche de vacas Holstein inducidas a la lactancia hormonalmente y tratadas con somatotropina a través de la lactancia. Para inducir la lactancia, se utilizaron 1,500 vacas Holstein (nulíparas y multíparas) de un alto potencial lechero manejadas intensivamente. Las vacas fueron inducidas a la lactancia con la aplicación subcutánea diaria de 50 mg d<sup>-1</sup> de progesterona, y 2 mg d<sup>-1</sup> de cipionato de estradiol (días 1-7), los días 8 a 14 las vacas recibieron una inyección diaria de cipionato de estradiol (2 mg d<sup>-1</sup>). Los días 18 a 20 se les aplicó una inyección diaria de 0.5 mg de flumetasona. Los días 1, 6, 16 y 21 se aplicaron 500 mg de somatotropina bovina y se inició la ordeña el día 21. A partir de los 60 días de lactancia, todas las vacas recibieron somatotropina cada 14 días durante toda la lactancia. La producción de leche a 305 días durante el invierno fue similar a la del otoño, pero significativamente mayor ( $p < 0.01$ ) que las producciones obtenidas en vacas que iniciaron su lactancia en primavera y verano. El rango de las lactancias fue de 200 hasta 1400 días de lactancia. Se concluyó que con la inducción de la lactancia hormonalmente y el uso de la somatotropina, es posible alcanzar lactancia de más de 1,000 días y que la persistencia de la lactancia es plástica y puede ser modificada (mejorada) a través de una mejor alimentación después del pico de lactancia y el incremento en la frecuencia de ordeña, lográndose lactancias superiores a los dos años, con producciones de leche superiores a 20,000 kg de leche en la mayoría de las vacas de este estudio.

**Palabras clave:** producción de leche, lactogénesis, días de producción, somatotropina.

### ABSTRACT

Induction to lactation in cows subjected to growth hormone treatment in intensive conditions has not been studied. The aim of this study was to determine the environmental factors that affect the milk production variables of Holstein cows hormonally induced to lactation and treated with bovine somatotropin (bST) through lactation. To induce lactation 1,500 Holstein dairy cows (nulliparous and pluriparous) of a high milk potential were intensively managed. The cows were induced to lactation with daily subcutaneous administration of 50 mg d<sup>-1</sup> of progesterone, and 2 d<sup>-1</sup> mg of estradiol cypionate (days 1-7), from day 8 to 14, the cows received a daily injection of estradiol cypionate (2 mg d<sup>-1</sup>). From day 18 to 20 they were administered a daily injection of 0.5 mg flumethasone. 500 mg bST were applied on days 1, 6, 16 and 21, and milking started on day 21. After 60 days of lactation, all cows received somatotropin every 14 days throughout lactation. Milk production at 305 days during the winter was similar to the fall, but significantly higher ( $p < 0.01$ ) than the ones obtained in cows that began lactation in the spring and the summer. The range of lactation was from 200 to 1400 days of lactation. It was concluded that with the hormonally induced lactation and use of somatotropin, it is possible to reach lactation of more than 1,000 days and that the continuation of lactation is plastic and can be modified (improved) through better nutrition after peak lactation and the increasing of the milking frequency, achieving lactations longer than two years, with milk yields over 20,000 kg of milk in most of the cows in this study.

**Key words:** Milk production, lactogenesis, days of production, Somatotropin

Recibido: Junio, 2010.

Aceptado: Mayo, 2012.

## INTRODUCCIÓN

El desarrollo y funcionalidad de la glándula mamaria se logra a través de una compleja interacción hormonal entre órganos endocrinos, por ejemplo: eje hipotálamo-hipófisis-ovario. El factor natural que desencadena la actividad mamaria es el complejo preñez-parto. Debido a una selección genética en los bovinos productores de leche, la lactancia se prolonga más allá de la simple necesidad fisiológica de alimentar al becerro. El proceso de la galactopoyesis y lactogénesis se ha inducido con tratamientos hormonales, tanto en bovinos (Mellado *et al.*, 2006) como en ovinos y caprinos (Salama *et al.*, 2007).

En la actualidad, la Región de la Laguna, ubicada en la frontera entre los estados de Coahuila y Durango, es considerada como la primera cuenca lechera especializada del país, cuya característica principal es la de ser el complejo lechero más tecnificado y moderno con base en el denominado "Modelo Holstein". Según estadísticas de la SAGARPA (2006), la Comarca Lagunera produce 5 millones de litros de leche diarios, que representa el 20 % de la producción nacional y tiene una población de 256,483 bovinos lecheros.

En los establos lecheros de la Comarca Lagunera se presentan numerosos casos de vacas que no se logran preñar luego de reiteradas inseminaciones, lo que conduce a la eliminación de estos animales de la explotación. Una consecuencia adicional de la eliminación de las vacas "repetidoras", es que el precio de estos animales se reduce marcadamente, pues estos son vendidos para el abasto y no como animales para la producción de leche. Una alternativa para aumentar la producción total de leche en el establo lechero es la inducción hormonal de la lactancia en aquellas vacas con fallas en su reproducción, con lo cual se obtendrían ingresos adicionales al incorporar a la producción a estos animales.

Para que se produzca un efecto mamogénico, lactogénico y lactopoyético, se requieren ciertos niveles hormonales de prolactina, estrógenos, progesterona y corticoides (Tucker, 2000). El uso de estas hormonas para la inducción de la lactancia en vacas no gestantes ha sido estudiado con detalle en décadas pasadas, con resultados poco alentadores. Con la disponibilidad ahora de la hormona del crecimiento, la inducción de la lactancia se ha convertido en una opción viable, pues esta hormona, aplicada en conjunción con las hormonas antes mencionadas, promueve lactancias más copiosas y de mayor duración.

La inducción de la lactancia ha sido estudiada en vacas no sometidas al tratamiento de hormona del crecimiento. Tampoco se ha llevado a cabo en condiciones intensivas con una sobreexplotación de las vacas (tres ordeñas por día, disponibilidad de alimento tres veces al día y aplicación de la hormona del crecimiento). Por lo anterior, se consideró pertinente explorar algunos factores que afectan el comportamiento productivo de vacas lecheras inducidas a la lactancia bajo condiciones de extrema demanda metabólica. Uno de los objetivos de este estudio fue: determinar los factores ambientales que afectan las variables de producción de leche de vacas Holstein inducidas a la lactancia hormonalmente y tratadas con somatotropina a través de la lactancia. Otro objetivo fue determinar la asociación que existe entre el pico de lactancia de vacas inducidas hormonalmente a la lactancia y la producción de leche a 305 días y la leche total producida durante lactancias prolongadas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

Este estudio se realizó en la Comarca Lagunera en el establo AMPUERO S.P.R. de R.L. de C.V., ubicado en el kilómetro 6.5 de la carretera Torreón- Mieleras del municipio de Torreón, Coah. La explotación se localiza en la Latitud 26° 23' N y Longitud 104° 47' O y a una altitud de 1140 m. En la zona de estudio se presenta un clima semidesértico, con una precipitación pluvial anual de 230 mm, y una temperatura anual promedio de 27° C, pero puede alcanzar una temperatura máxima de 43° C en verano y una temperatura mínima de -5° C en invierno. Se presenta una humedad relativa promedio de 58 %, con una máxima de 83 % y una mínima de 29 % (CONAGUA, 2008). Se presentan vientos de 5 km/h y la evaporación es de 2500 mm anual.

### Vacas y su manejo

Se utilizaron registros de producción de leche de 1,500 vacas Holstein (entre nulíparas y multíparas) de un alto potencial lechero, de las cuales 328 eran de menos de 2 lactancias, 768 de 2 a 4 lactancias, 339 de 4 a 6 lactancias y 65 vacas de 6 o más lactancia. Las vacas se manejaron en forma intensiva o estabuladas, ofreciéndoles heno de alfalfa y concentrado (proporción forraje: concentrado 40:60), 3 veces por día, de acuerdo

a sus requerimientos nutricionales en sus diferentes etapas fisiológicas. El agua se les proporcionaba a libre acceso.

Las vacas tratadas hormonalmente se escogieron entre animales que presentaban fallas reproductivas (incapacidad para quedar gestantes después de repetidas inseminaciones y después de haber rebasado los 250 días de lactancia sin estar gestantes).

Las vacas eran ordeñadas 3 veces al día, llevándose a cabo a las 8:00 h, 16:00 h y la tercera a las 24:00 h. La producción de leche era registrada diariamente. Se estimó la producción de leche en 305 días, y se registró la producción de leche durante toda su lactancia. Se registró, además, el día de la máxima producción de leche y la producción de leche en ese pico; se registraron, también los días totales de lactancia de las vacas. Se aplicó somatotropina cada 14 días (Schering- Plough®) en forma subcutánea, empezando alrededor de los 60 días de lactancia y hasta el final de la misma.

El establo cuenta con equipo enfriador para las vacas que regulaba la temperatura de los galrones, activándose automáticamente al llegar la temperatura ambiental a los de 26°C. A esta temperatura se activaban los ventiladores, los aspersores y se extendían las lonas automáticamente, desde el techo y hasta llegar al suelo, cubriendo los costados de los galrones.

La detección de celos se realizaba a través del personal encargado de vigilar el hato y por el médico que se encarga de llevar a cabo la inseminación artificial. Las observaciones se llevaron a cabo 2 veces por día (6:00 h y 18:00 h). Las vacas eran inseminadas artificialmente aproximadamente 12 h después de que éstas eran detectadas en celo.

Después del parto, el aparato reproductivo de todas las vacas era revisado por un veterinario para determinar la correcta involución uterina y la ocurrencia de metritis. Las vacas no se inseminaron hasta después de 50 días de lactancia. Después de este tiempo, las vacas eran observadas por signos de celo dos veces por día (0800 y 1700, durante 30 min) y aquellas detectadas en celo eran inseminadas artificialmente (semen importado de los Estados Unidos de América). Para las inseminaciones se utilizó la regla de la deposición del semen aproximadamente 12 h después de la detección del celo. La preñez fue detectada a los 45 días post-inseminación, vía palpación del contenido del útero en forma transrectal.

Las vacas se ordeñaron tres veces por día, aplicándoles sellador (Della Barrier® de DeLaval)

después de cada ordeña. El equipo de ordeña era revisado rutinariamente para evitar fluctuaciones de vacío que pudieran interferir con la salud de la ubre. Todas las vacas se “secaron” a las ocho semanas antes del parto. Durante el último día de ordeña, las vacas recibían una infusión intramamaria de antibióticos (Rilexine®200 NP de Virbac).

### Tiempo de la inducción de la lactancia

Las vacas utilizadas en el presente estudio rebasaron los 200 días de lactancia sin quedar gestantes, por lo que se decidió suspender las inseminaciones, terminar la lactancia e inducir una lactancia hormonalmente. Las 1500 vacas que se utilizaron para el experimento, quedaron distribuidas en diferentes estaciones del año de la siguiente manera: invierno n=551, primavera n=333, verano n=296 y otoño n=320.

### Tratamiento hormonal

Las 1500 vacas fueron tratadas de la siguiente manera para su inducción a la lactancia:

- a) Aplicación de progesterona (Progestagen- B del laboratorio Pfizer®, Gómez Palacio, Dgo., 50 mg d<sup>-1</sup>) y cipionato de estradiol (E.C.P. del Laboratorio Pfizer®
- b) Gómez Palacio, Dgo., 2 mg d<sup>-1</sup>) mediante inyecciones subcutáneas diarias (días 1-7).
- c) Días 8-14, una inyección diaria de cipionato de estradiol (2 mg d<sup>-1</sup>).
- d) Los días 15 a 17, no recibían fármacos.
- e) Días 18 a 20, una inyección diaria de 0.5 mg de flumetasona (Fluvet del laboratorio
- f) Fort Dodge®, México DF).
- g) Los días 1, 6, 16 y 21 se aplicó 500 mg de somatotropina bovina (Boostin-S de
- h) Schering- Plough®, México, DF.).
- i) El día 21 se inició la ordeña.

### Variables evaluadas

- Producción de leche a 305 (kg)
- Producción total de leche (kg)
- Longitud de la lactancia (días)
- Pico de producción de leche (kg)
- Día del pico de lactancia

### Análisis estadístico

La producción de leche de las vacas se evaluó con medias de cuadrados mínimos con el procedimiento GLM de SAS (SAS Inst., Inc., Cary, NC), incluyéndose en el modelo como variables dependientes, el mes de inicio de la lactancia inducida, el hecho de que las vacas quedaran o no gestantes durante la lactancia, el año de tratamiento y el número de lactancias. Las variables independientes fueron la producción de leche a 305 días, producción de leche total hasta el “secado”, producción de leche en el pico de lactancia y días al pico de lactancia. La comparación de las variables de producción de leche se llevó a cabo con la prueba de Tuckey con el programa SAS.

También se llevaron a cabo regresiones lineales y no lineales para determinar la asociación entre el número de lactancias y producción de leche, y la producción de leche en el pico de lactancia con la producción de leche a 305 días y durante toda la lactancia.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

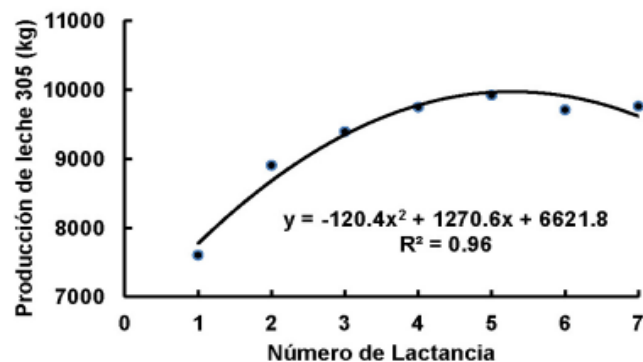
En la Figura 1, se muestra el efecto del número de lactancias de las vacas sobre la producción de leche por lactancia de éstas. El número de parto influyó en la

**Cuadro 1.** Producción de leche a 305 días, total de producción, longitud de lactancia, pico de lactancia, y día pico de lactancia por número de lactancia en vacas inducidas a la lactancia. Los valores indicados son media de cuadrados mínimos  $\pm$  DE.

NL	N	Producción de Leche (kg)		LL (d)	PPL (kg)	DPPL
		a 305 d	Total			
< 2	328	7607 $\pm$ 145 a	10524 $\pm$ 411 a	414 $\pm$ 9 a	38.5 $\pm$ 0.8 a	123 $\pm$ 2.9 a
2-4	768	8976 $\pm$ 137 b	14766 $\pm$ 351 b	502 $\pm$ 11 bc	41.7 $\pm$ 0.7 b	106 $\pm$ 2.5 b
4-6	339	9561 $\pm$ 147 c	14902 $\pm$ 409 b	479 $\pm$ 9 b	41.0 $\pm$ 0.8 b	113 $\pm$ 2.9 b
>6	65	9548 $\pm$ 181 c	14930 $\pm$ 698 b	483 $\pm$ 19 bc	40.3 $\pm$ 1.3 a	106 $\pm$ 5.0 b

NL: Número de Lactancia; LL: Longitud de la lactancia; PPL: Pico de producción de leche; DPPL: Día del pico de producción de leche: Promedios con superíndices diferentes entre las columnas, difieren (pd<sup>m</sup> 0.01).

producción de leche; de la lactancia 1 a la 2 hubo un aumento de 17 %, de la lactancia 2 a la 3 aumentó un 5.5 %, de la 3 a la 4 aumentó 3.6 % y entre la 4 y 5 lactancia, el incremento fue de 1.8 %; después de la quinta lactancia empezó a disminuir la producción de leche por lactancia. Al igual que ocurre con las vacas lecheras con lactancia derivada de parto (Knight, 1997). Esto se explica porque el volumen de la ubre va en aumento a medida que transcurren las lactancias, hasta alcanzar su máximo volumen en la quinta lactancia.



**Figura 1.** Producción de leche durante 305 días, en vacas inducidas a la lactancia, dependiendo del número de lactancia.



Se observó que la producción de leche a 305 días en vacas de 4 a 6 lactancias no difirió de las vacas con más de 6 lactancias (Cuadro 1). Por otra parte, las vacas con la menor ( $p < 0.01$ ) producción de leche fueron las primerizas y de segundo parto, mientras que las de 2 a 4 partos presentaron una producción de leche que fue 28.8 % mayor ( $p < 0.01$ ) que las primerizas. En cuanto a la producción total de leche por lactancia, longitud de la lactancia y días del pico de producción, no hubo diferencia entre las vacas de 2-4, 4-6 y más de 6 lactancias, pero las vacas de con menos de dos partos presentaron producciones de leche menores que las vacas de más lactancias ( $p < 0.01$ ). Los grupos de vacas con más de dos partos no mostraron diferencias significativas en cuanto a leche total por lactancia, lo que sugiere que una vez que se ha alcanzado la madurez corporal, el número de parto en las vacas inducidas hormonalmente a la lactancia no es relevante para continuar lactando copiosamente después de los 10 meses de lactancia.

La duración de la lactancia fue excepcionalmente prolongada en todos los grupos de vacas, esto indica que mientras se mantenga el suministro de bST y la ordeña tres veces por día, es posible extender la lactancia significativamente (Knight, 1997). Lo anterior, ocurre porque al utilizar bSTr se aumenta la gluconeogénesis hepática y la disminución en la actividad de la insulina para inhibirla (Prado *et al.*, 2003); la glucosa adicional es usada por la glándula mamaria como precursor de lactosa explicando el aumento en producción atribuido a la hormona. En el tejido adiposo disminuye la lipogénesis basal si se está en balance energético positivo e incrementa la lipólisis basal en balance energético negativo (Bauman, 1992). Todo esto conduce a una

elevación de la energía disponible para la producción de leche, mejorando además la eficiencia alimenticia para la producción (Bauman, 1992; Bauman y Vernon, 1993; Lanna *et al.*, 1995). Pese a lo anterior, no se han observado alteraciones de la composición proteica de la leche (Bauman y Vernon, 1993).

Quienes más se beneficiaron de estas lactancias prolongadas fueron las vacas mismas, a través de la reducción de picos de lactancia (picos de riesgo de enfermedades metabólicas) durante su vida productiva y reducción de periodos posparto, donde ocurren una gran cantidad de enfermedades derivadas del parto. La vida promedio de una vaca productora de leche en sistemas intensivos es 3 lactancias, periodo en el cual presenta tres partos. Con lactancias de más de 20 meses, como las encontradas en este estudio, las vacas obviaron por lo menos un parto, situación propicia para una serie de enfermedades asociadas con el periodo posparto (Burvenich *et al.*, 2006). Dado que la eliminación de las vacas está asociada con el parto, las lactancias prolongadas alargan la vida productiva de las vacas. Es importante hacer notar que la lactancia prolongada observada en la mayoría de las vacas en el presente estudio indujo a las vacas a producir leche a un nivel metabólicamente.

La producción de leche al pico de lactancia fue similar entre las vacas jóvenes y viejas (Cuadro 1), pero las vacas entre 2 y 6 partos presentaron mayores ( $p \leq 0.01$ ) niveles de producción de leche al pico de lactancia que las vacas más jóvenes o viejas. Finalmente, el pico de lactancia fue más prolongado ( $p \leq 0.01$ ) en las vacas jóvenes comparado con las vacas con más partos. El pico de lactancia en este estudio es muy cercano al observado por otros estudios donde se ha inducido la lactancia hormonalmente (Mellado *et al.*, 2006).

**Cuadro 2.** Producción de leche a 305 días, total de producción, longitud de lactancia, pico de lactancia, y día del pico de lactancia por estación en vacas inducidas a la lactancia. Los valores indicados son medias de cuadrados mínimos  $\pm$  DE.

Estación del Año	N	Producción de Leche (kg)		LL (d)	PPL (kg)	DPPL
		a 305 d	Total			
Invierno	551	9085 $\pm$ 143 a	14563 $\pm$ 384 a	492 $\pm$ 11 a	41.5 $\pm$ 0.7 a	105 $\pm$ 2.7 a
Primavera	333	8804 $\pm$ 153 b	13414 $\pm$ 436 b	457 $\pm$ 12 b	39.0 $\pm$ 0.8 b	108 $\pm$ 3.1 a
Verano	296	8724 $\pm$ 163 b	13439 $\pm$ 454 b	465 $\pm$ 13 b	39.3 $\pm$ 0.9 b	120 $\pm$ 3.2 b
Otoño	320	9079 $\pm$ 151 a	13706 $\pm$ 430 b	464 $\pm$ 12 b	41.6 $\pm$ 0.8 a	115 $\pm$ 3.1 b

LL: Longitud de la lactancia; PPL: Pico de producción de leche; DPPL: Día del pico de producción de leche: Promedios con superíndices diferentes entre las columnas, difieren ( $p < 0.01$ ).

En el Cuadro 2 se muestran diversas variables de la producción de leche de las vacas en función de la estación del año cuando se inició la lactancia. La producción de leche a 305 días durante el invierno fue similar a las de otoño, pero significativamente mayor ( $p \leq 0.01$ ) que las producciones obtenidas en primavera y verano. Respecto a la producción total de leche, las vacas inducidas a la lactancia en invierno fue mayor ( $p \leq 0.01$ ) que en las vacas de primavera, verano y otoño, mientras que el comportamiento de estos 3 últimos fueron similares; la longitud de la lactancia de las vacas inducidas a la lactancia en Invierno fue mayor ( $p \leq 0.01$ ) que las de las vacas inducidas en primavera, verano y

otoño, mientras que estas 3 fueron similares; el pico de producción de leche en invierno fue similar con las vacas de otoño y significativamente mayor ( $pd^{TM}0.01$ ); que las de primavera y verano, mientras que estas 2 últimas fueron similares; el día del pico de lactancia, durante el invierno y primavera fueron similares y significativamente mayores ( $p \leq 0.01$ ) que durante el verano y otoño, mientras que estas 2 últimas no difirieron. En la zona de estudio los periodos más calurosos se presentan en la primavera y verano (CONAGUA, 2008). Lo anterior explica la menor producción de leche de las vacas que iniciaron su lactancia en estas estaciones del año (Capuco *et al.*, 2003).

**Cuadro 3.** Producción de leche 305 días, total de producción, longitud de lactancia, pico de lactancia, y día del pico de lactancia por rangos de 8 años en vacas inducidas a la lactancia.

Rangos de 8 Años	N	Producción de Leche (kg) a 305 d		LL (d)	PPL (kg)	DPPL
			Total			
Año*	1500	8268-9485	12097-16866	406-621	34-45	107-112

LL: Longitud de la lactancia; PPL: Pico de producción de leche; DPPL: Día del pico de producción de leche. \*Valores o rangos (8 años), diferencias entre años a  $pd^{TM} 0.01$  para todas las variables.

Los resultados que se presentan en el Cuadro 3 indican que hubo diferencias entre años ( $p \leq 0.01$ ) para las variables de producción de leche. Lo anterior se

explica por las diferencias en condiciones climáticas y de manejo que se presentaron en los diferentes años en esta explotación lechera.

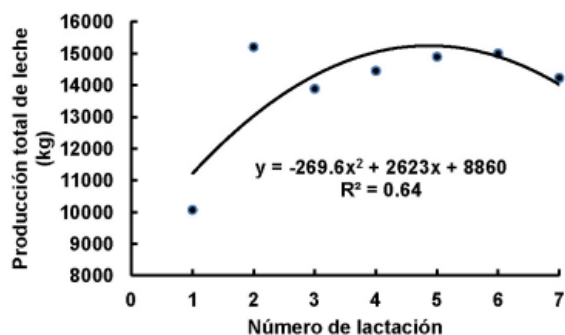
**Cuadro 4.** Producción de leche a 305 días, total de producción, longitud de lactancia, pico de lactancia y día del pico de lactancia por número de lactación, inducción estacional, año y gestación durante la lactancia en vacas inducidas a la lactancia.

GDL	N	Producción de Leche (kg) a 305 d		LL (d)	PPL (kg)	DPPL
			Total			
NO	749	8584±148 a	13738±432 a	473±12 a	38.1±0.8 a	110±3.1 a
SI	751	9262 ±134 b	13824 ±341a	466 ±9 a	42.7 ±0.6 b	114± 2.4 a

GDL: Gestación durante la lactancia; Promedios con literales diferentes entre las columnas difieren un ( $p \leq 0.01$ ). Los valores indicados son medias de cuadrados mínimos  $\pm$  DE.

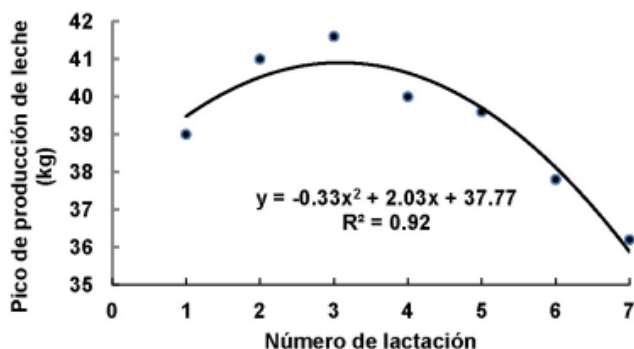
En el Cuadro 4 se presenta el comportamiento de producción de leche de vacas que quedaron gestantes o no se preñaron durante la lactancia.

La producción de leche a 305 días en vacas que quedaron gestantes fue mayor ( $p \leq 0.01$ ) que de las no gestantes; la producción total de leche, longitud de lactancia y día del pico de lactancia no fueron diferentes entre grupos; en el pico de producción de leche las gestantes mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ). Lo anterior, se explica por el incremento de estrógenos, progesterona y posiblemente lactógeno placentario producido en grandes cantidades por la placenta en las vacas gestantes, lo cual pudo haber incrementado el desarrollo mamario de las vacas preñadas (Knight y Wilde, 1993; Schuler *et al.*, 2008).



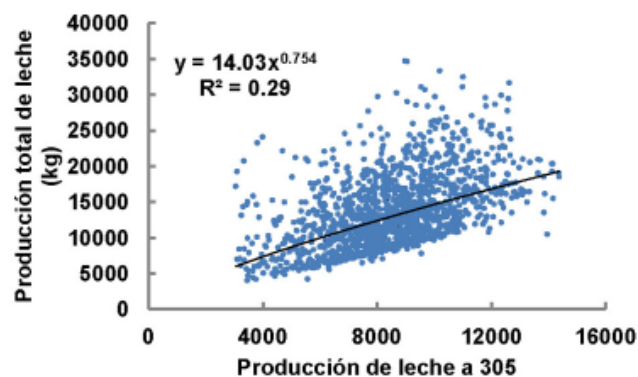
**Figura 2.** Comportamiento de la producción total de leche, dependiendo del número de lactancia de vacas inducidas a la lactancia.

En la Figura 2 se muestra que hubo una tendencia cuadrática al asociar el número de lactancias de las vacas y la producción total de leche. Al quinto y sexto parto se alcanzaron las producciones más elevadas, con producciones cercanas a los 15,000 litros por lactancia.



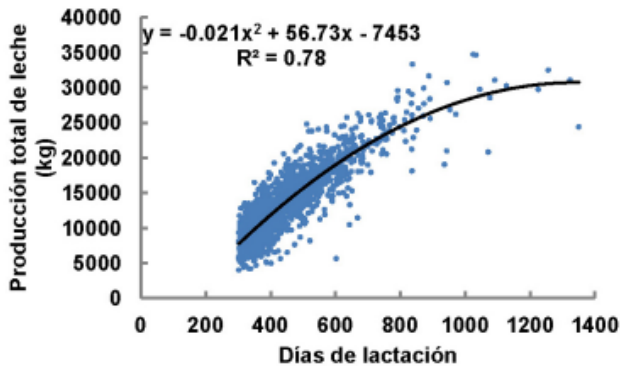
**Figura 3.** Pico de producción de leche (kg) dependiendo del número de lactancia en vacas inducidas hormonalmente a la lactancia y tratadas con somatotropina durante la lactancia.

En la Figura 3 se muestra que el pico de producción de leche fue mayor en las vacas en su tercera lactancia y posteriormente éste empezó a decrecer. En vacas lecheras se ha demostrado que el pico de lactancia es un buen indicativo de la producción total de leche a 305 días. En el presente estudio queda de manifiesto que se requieren por lo menos tres partos para alcanzar altos niveles de producción de leche en el pico de lactancia, lo cual se reflejará en mayores producciones de leche, como se describirá más adelante.



**Figura 5.** Comportamiento de producción total de leche a 305 días en vacas inducidas a la lactancia.

En la Figura 5, se muestra la asociación entre la producción de leche a 305 días y la producción de leche total. Estos datos indican que la producción de leche a 305 días no es un predictor confiable de la producción total de leche de las vacas inducidas a la lactancia, pues esta variable sólo explicó 29 % de la variabilidad en la producción de leche total por lactancia. Lo anterior era de esperarse, pues la duración de la lactancia fue muy variable entre vacas. Parte de esta variación se debió a que algunas de las vacas quedaron preñadas, y en consecuencia, debieron secarse dos meses antes del parto (Collier *et al.*, 1975; Knight, 1997).



**Figura 5.** Comportamiento de producción total de leche desde 200 hasta 1400 días de lactancia.

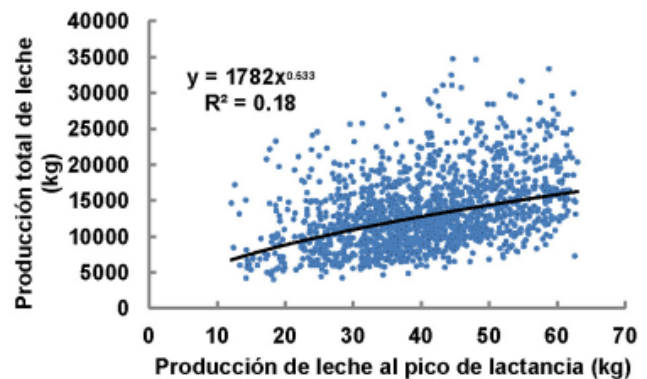
La producción de leche de las vacas inducidas a la lactancia en función de los días de lactancia se presenta en la Figura 5. Estos datos muestran que, con el uso de la somatotropina es posible alcanzar lactancia de más de 1000 días en vacas inducidas a la lactancia. Los resultados anteriores han sido previamente demostrados en 3 hatos comerciales de los Estados Unidos, donde la producción de leche declinó marginalmente en vacas tratadas con hormona del crecimiento (Annen *et al.*, 2004). La somatotropina regula la secreción hepática de IGF-I y el eje ST-IGF-I en los bovinos, controlando de esta manera el proceso del desarrollo mamario en el periodo seco, incluyendo la muerte celular (apoptosis) y proliferación (Accorsi *et al.*, 2002). La acción mamogénica de la somatotropina es tal que en vacas que no tienen periodo seco, pero son tratadas con somatotropina, no se presenta una depresión en la producción de leche (Annen *et al.*, 2007), lo cual explica el hecho de que las vacas inducidas a la lactancia y sujetas a un estímulo crónico de somatotropina pueden tener lactancias de más de 2 años.

Los datos de este estudio muestran también que la persistencia de la lactancia es plástica y puede ser modificada (mejorada) a través de una mejor alimentación después del pico de lactancia y el incremento en la frecuencia de ordeña. En cabras se ha demostrado que el incremento en la frecuencia de ordeña en conjunto con la hormona del crecimiento, prácticamente detiene la declinación de la producción de leche (Knight *et al.*, 1990). Cuando se mide el desarrollo mamario y la involución de la ubre, se pone de manifiesto que la reducción en la producción de leche después del pico de lactancia es la pérdida de células

secretoras, más que la pérdida de la funcionalidad de éstas (Knight y Wilde, 1987).

La pérdida de las células de la glándula mamaria es por apoptosis (Wilde *et al.* 1997), lo cual es controlado mediante una interacción compleja entre la prolactina, GH, IGF-1 y proteína ligadora de IGF-5 (Flint y Knight, 1997). Esta interacción explica el porqué la frecuencia de ordeña en combinación con la hormona del crecimiento es tan efectiva, porque la frecuencia de ordeña no sólo estimula la liberación de prolactina, sino que también incrementa la sensibilidad de los receptores de esta hormona en la glándula mamaria (Bennett *et al.*, 1990).

En este estudio el 78 % de la variabilidad de la producción de leche por lactancia se debe a la cantidad de días de producción. En un estudio realizado con vacas de la India inducidas a la lactancia, el promedio de producción de leche por lactancia fue de 3230 kg en 401 días, con una máxima de producción diaria de 13 kg (Dabas *et al.*, 1990). En otro estudio con vacas Holstein, inducidas a la lactancia, el promedio de producción total de leche durante 200 días de lactancia fue de 2271 kg por vaca (Skrzeczowski *et al.*, 1979). Sin embargo, con el uso de protocolos de inducción de la lactancia con somatotropina, valores cercanos de leche a los observados en el presente estudio han sido observados por otros autores (Magliaro *et al.*, 2004; Mellado *et al.*, 2006).

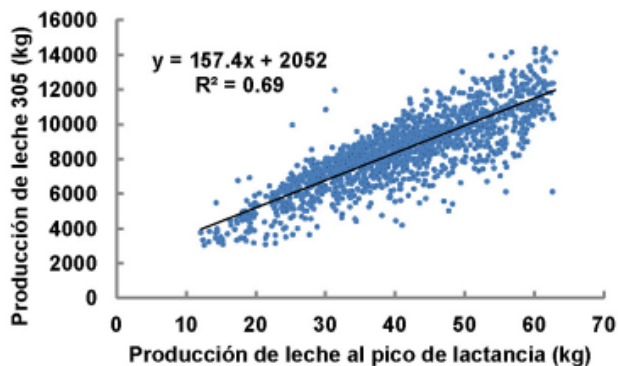


**Figura 6.** Producción total de leche hasta alcanzar el pico de lactancia.

La producción de leche en el pico de lactancia no resultó una variable confiable para predecir la producción total de leche de las vacas inducidas a la lactancia (Figura 6). Lo anterior, se atribuye a que la



duración total de la lactancia está influenciada por una serie de factores, siendo el más importante el hecho de que algunas de las vacas quedaron gestantes durante la lactancia, y esto obligó a su secado al final de la gestación (Collier *et al.*, 1975). Por otro lado, la producción de leche en el pico de lactancia resultó una variable muy confiable para estimar la producción de leche a 305 días (Figura 7).



**Figura 7.** Producción de leche a 305 días, y el pico de lactancia.

### CONCLUSIONES

El efecto del número de partos sobre la producción de leche de vacas inducidas a la lactancia y tratadas con somatotropina durante la lactancia es similar al observado en vacas cuya lactancia deriva de un parto; esto es, la máxima producción de leche en las vacas inducidas a la lactancia se alcanzó al quinto parto.

La inducción de la lactancia en combinación con la administración de somatotropina a lo largo de la lactancia, además de tres ordeñas por día, permitió obtener lactancias superiores a los dos años, con producciones de leche superiores a 20,000 kg de leche en la mayoría de las vacas.

Al igual que las vacas de parto natural, la producción de leche a 305 días puede ser estimada con alta confiabilidad con la producción de leche en el pico de lactancia. La producción de leche en el pico de lactancia, sin embargo, no resultó confiable para predecir la producción de leche total durante lactancias prolongadas.

### LITERATURA CITADA

- Accorsi, P.A., B. Pacioni, C. Pezzi, M. Forni, D.J. Flint and E. Seren. 2002. Role of prolactin, growth hormone and insulin-like growth factor 1 in mammary gland involution in the dairy cow. *J. Dairy Sci.* 85:5007-513.
- Annen, E.L., A.C. Fitzgerald, P.C. Gentry, M.A. McGuire, A.V. Capuco, L.H. Baumgard and R.J. Collier. 2007. Effect of continuous milking and bovine somatotropin supplementation on mammary epithelial cell turnover. *J. Dairy Sci.* 90:165-183.
- Annen, E.L., R.J. Collier, M.A. McGuire, J.L. Vicini, J. M. Ballam and M.J. Lormore. 2004. Effect of modified dry period lengths and bovine somatotropin on yield and composition of milk from dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87:3746-3761.
- Bauman, D.E. 1992. Bovine somatotrophin: review of an emerging animal technology. *J. Dairy Sci.* 75:3432-3451.
- Bauman, D.E. and R.G. Vernon. 1993. Effects of exogenous bovine somatotropin on lactation. *Annu. Rev. Nutr.* 13:437-461.
- Bennett, C.N., C.H. Knight and C.J. Wilde. 1990. Regulation of mammary prolactin binding by secreted milk proteins. *J. Endocr.* 127(Suppl):141.
- Burvenich, C., D., D. Bannerman, J.D. Lipolis, L. Peelman, B.J. Nonnecke, M.E. Kehrli Jr and M.J. Paape. 2006. Cumulative physiological events influence the inflammatory response of the bovine udder to *Escherichia coli* infections during the transition period. *J. Dairy Sci.* 90(E. Supl): E39-E54.
- Capuco, A.V., S.E. Ellis, S.A. Hale, E. Long, R.A. Erdman, X. Zhao, and M.J. Paape. 2003. Lactation persistency: Insights from mammary cell proliferation studies. *J. Anim. Sci.* 81(Suppl):18-31.
- Collier, R.J., D.E. Bauman and R.L. Hays. 1975. Milk production and reproductive performance of cows hormonally induced into lactation. *J. Dairy Sci.* 58:1524-1527.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). 2008. Servicio Meteorológico Nacional. Datos climáticos del observador de Torreó, Coahuila.
- Dabas, Y.P.S., U.K. Atheya, B.D. Lachchura and S.C. Sud. 1990. Induction of lactation in repeat breeding cattle with estradiol valerate and hydroxyprogesterone caproate. *Indian J. Vet.* 67:436-440.
- Flint, D.J. and C.H. Knight. 1997. Interactions of prolactin and growth hormone (GH) in the regulation of mammary gland function and epithelial cell survival. *J. Mamm. Gland Biol. Neopl.* 2:41-48.
- Knight, C.H. and C.J. Wilde. 1987. Mammary growth during lactation: implications increasing milk yield. *J. Dairy Sci.* 70:1991-2000.



- Knight, C.H. and C.J. Wilde. 1993. Mammary cell changes during pregnancy and lactation. *Liv. Prod. Sci.* 35:3-19.
- Knight, C.H., P.A. Fowler and C. J. Wilde. 1990. Galactopoietic and mammogenic effects of long-term treatment with bovine growth hormone and thrice daily milking in goats. *J. Endocr.* 127:129-138.
- Knigh, C.H. 1997. Biological control of lactation length. *Livest. Prod. Sci.* 50:1-3.
- Lanna, D.P., D., K.L. Houseknecht, D.M. Harris, and D.E. Bauman. 1995. Effect of somatotropin treatment on lipogenesis, lipolysis, and related cellular mechanisms in adipose tissues of lactating cows. *J. Dairy Sci.* 78:1703-1712.
- Magliaro, A.L., R.S. Kensinger, S.A. Ford, M.L. Oconnor, L.D. Muller and G. Graboski. 2004. Induced lactation in nonpregnant cows: Profitability and response to bovine somatotropin. *J. Dairy Sci.* 87:3290-3297.
- Mellado, M., E. Nazarre, L. Olivares, F. Pastor and A. Estrada. 2006. Milk production and reproductive performance of cows induced with bovine somatoprapin. *Anim. Sci.* 82:555-559.
- Prado, I., W.G. Nascimento, J.A. Negrao. L.P. Rigolon, S. De Souza, M.L. Doi Sakuno and G.L. Pessine. 2003. Recombinant bovine somatotropin (rBST) on hematologic aspects and metabolites of heifers (1/2 Nellore x 1/2 Red Angus) blood, in feedlot. *R. Bras. Zootec.* 32:465-472.
- Salama, A.A.K., G. Caja, E. Albanell, S. Carné, R. Casals and X. Such. 2007. Mammogenesis and induced lactation with or without reserpine in nulliparous dairy goats. *J. Dairy Sci.* 90: 3751-3657.
- Schuler, G., H. Greven, M.P. Kowalewski, B. Döring. G.R. Ozalp, B. Hoffmann. 2008. Placental steroids in cattle: Hormones, placental growth factors or by-products of trophoblast giant cell differentiation? *Clin. Endocr. Diabetes.* 116: 429-436.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) 2006. Situación actual de la producción de leche de bovino en México.
- Skrzeczowski, L., K. Lembowicz, A. Rabek, E. Stupnicka, and H. Kaciuba-Uscieko. 1979. Hormone induced lactation in cows culled from herd as a reproductive failures. *Prace I Mat. Zootech.* 20: 31-39.
- Tucker, H.A. 2000. Simposiium: Hormonal regulation of milk synthesis. Hormonas, mammary growth, and lactation: a 41-year perspective. *J. Dairy Sci.* 83: 874-884.
- Wilde, C.J., C.V. Addey, P. Li and D.G. Ferning. 1997. Programmed cell death in bovine mammary tissue during lactation and involution. *Exp Physiol.* 82:943-953.



---

# Una Implementación de Orden Cuadrático del Algoritmo de Innovaciones en Series de Tiempo



## An Implementation of Quadratic Order of the Algorithm of Innovations in Series of Time

Nadia Yadhira **Martínez Martínez**. Departamento de Estadística y Cálculo. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., 25315, México. Correo-e: Nadia mtz@hotmail.com

### RESUMEN

Este trabajo trata sobre el problema de pronóstico para una serie de tiempo estacionaria. El principal resultado es la formulación de un método de orden cuadrático para implementar el algoritmo de innovaciones, cuya codificación usual tiene orden cúbico. El procedimiento propuesto combina el esquema recursivo de Durbin Levinson, con un teorema de transformación de representaciones para un pronóstico. A Second Order Implementation for the Innovations Algorithm in Time Series Analysis

### ABSTRACT

This work is about the problem of prognosis for a stationary time series. The main result is the formulation of a quadratic order method to implement the innovations algorithm, which usual coding has cubic order. The proposed procedure combines the Durbin-Levinson algorithm with a new theorem of transformation of representations for a forecast, one in terms of the innovations, and the other one in terms of the original observations.

### INTRODUCCIÓN

Este trabajo se ubica en el área conocida como análisis de una serie de tiempo, y el principal objetivo es presentar una implementación eficiente de un procedimiento de pronóstico conocido como algoritmo de innovaciones. De manera intuitiva, una serie de tiempo es una sucesión  $\{X_t\}$  de variables aleatorias definidas sobre un mismo espacio de probabilidad, donde la variable aleatoria  $X_t$  se interpreta como la observación que se realiza en el tiempo  $t$ , el cual, en el caso considerado en este trabajo, puede variar en un subconjunto de los números enteros. El rasgo fundamental de la sucesión  $\{X_t\}$  es que, en contraste con el supuesto comúnmente adoptado en la teoría estadística clásica (Borovkov, 1999, Dudewicz y Mishra, 1988, Shao, 2008, Wackerly *et al.*, 2009), no se supone la independencia de las variables  $X_t$ , ni que éstas tengan la misma distribución, características que

permiten incluir en el estudio una gran variedad de observaciones que surgen en la práctica, como las ventas diarias de una almacén, la asistencia semanal a teatros, la población de un país, o la aparición de manchas solares (Brockwell y Davis, 1991; Shumway y Stoffer, 2006; Shao, 2008). Las series que se analizan son estacionarias, en el sentido de que las propiedades relevantes de un segmento  $(X_1, X_2, \dots, X_n)$  son las mismas que las del segmento trasladado  $(X_{1+h}, X_{h+2}, \dots, X_{n+h})$  para cada entero  $h$ ; como no se hace supuesto alguno sobre la distribución de los datos  $X_t$ , las propiedades importante de la serie involucran sus momentos. Formalmente, una serie es estacionaria si

- $E[X_t] = \mu$  no depende de  $t$ ;
- Para cada  $s$  y  $t$ ,  $\text{Cov}(X_s, X_t)$  está bien definida y depende sólo de la diferencia entre  $s$  y  $t$

Estas propiedades permiten definir la función de autocovarianza asociada a la serie estacionaria  $\{X_t\}$  mediante

$$\gamma(h) = E[X_{t+h}X_t], \quad h = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1.1)$$

Aunque la idea de serie estacionaria es bastante restrictiva y, en general, una de tales series no es un modelo razonable para los datos que se observan comúnmente en la práctica, las series estacionarias son parte esencial del denominado modelo clásico, el cual si captura una amplia gama de situaciones reales (Shao, 2008).

El problema de pronóstico para una serie estacionaria puede describirse como sigue: Dadas las observaciones  $X_1, \dots, X_n$  registradas hasta el tiempo  $n$ , determinar 'la mejor' aproximación para la variable  $X_{n+h}$  que se observará en el tiempo futuro  $n+h$  en términos de los datos disponibles  $X_1, \dots, X_n$ . Un resultado conocido en la teoría estadística establece que la mejor aproximación a  $X_{n+h}$  en el sentido de minimizar el error cuadrático esperado es la esperanza condicional  $g(X_1, \dots, X_n) = E[X_{n+h} | X_1, \dots, X_n]$ ; sin embargo, al no conocer la distribución de  $\{X_t\}$ , la función  $g(\cdot)$  no se puede calcular, y en la teoría de series de tiempo, la aproximación que se pretende encontrar es 'la mejor aproximación lineal' basada en los datos observados hasta el momento actual  $n$ :

$$\hat{g}(X_1, \dots, X_n) = a_1 X_1 + \dots + a_n X_n \quad (1.2)$$

donde  $a_1, \dots, a_n$  son constantes y

$$\min_{b_1, \dots, b_n} E[(X_{n+h} - (b_1 X_1 + \dots + b_n X_n))^2] = E[(X_{n+h} - (a_1 X_1 + \dots + a_n X_n))^2]. \quad (1.3)$$

tales números  $a_i$  siempre existen y se expresan solamente en términos de la función de autocovarianza  $\gamma(\cdot)$ ; de hecho,  $a_1, \dots, a_n$  pueden determinarse por medio de diferenciación (Fulks 1982; Khuri 2003) e invirtiendo una matriz. Sin embargo, se conocen métodos alternativos y más eficientes para determinar pronósticos. En este trabajo el principal interés se centra en el denominado algoritmo de innovaciones, y el problema que se analiza es diseñar una implementación de dicho procedimiento que realice menos operaciones que la codificación usual. Este objetivo se alcanza combinando un algoritmo conocido como método de Durbin-Levinson, con un resultado de transformación entre representaciones de un pronóstico que se establece en este trabajo como Teorema 7.1, el cual representa la principal aportación técnica del artículo.

La presentación ha sido organizada de la siguiente manera. En la Sección 2 se discute la noción de

proyección ortogonal en un espacio vectorial con producto interno y su relación con el problema de pronóstico, mientras que estas ideas son usadas en la Sección 3 para formular las ecuaciones de pronóstico y para encontrar los errores correspondientes. A continuación, en la Sección 4 se discute el procedimiento para calcular pronósticos conocidos como método de Durbin-Levinson, y se demuestra que es de segundo orden. Posteriormente, en la Sección 5 se introduce la base ortogonal de innovaciones y en la Sección 6 se formula el algoritmo clásico correspondiente, probando que es de orden cúbico. Finalmente, en la Sección 7 se presenta un método que relaciona las expresiones para un pronóstico en términos de las bases de innovaciones y de observaciones originales, y la exposición concluye en la Sección 8 formulando una implementación del algoritmo de innovaciones que tiene orden cuadrático; el método propuesto combina el algoritmo de Durbin-Levinson con el resultado de transformación previamente obtenido.

## PROYECCIONES

Puesto que este trabajo se centra en la determinación de las constantes  $a_1, \dots, a_n$  en (1.2), las cuales tienen la propiedad de optimalidad en (1.3), las ideas básicas de espacio vectorial y producto interno son de importancia fundamental en el desarrollo subsecuente; para un estudio de estos conceptos en espacios de dimensión finita, vea, por ejemplo, Graybill (2000, 2001), Harville (2008), Hoffman y Kunze (1971) y, particularmente, Strang (2003). La intuición del caso de dimensión finita es de gran importancia en el estudio de series de tiempo, aunque el entorno de trabajo es, naturalmente, el espacio

$$L^2 = L^2(\Omega, \mathcal{F}, P)$$

de todas las variables aleatorias  $Y: \Omega \rightarrow R$  con segundo momento finito, y donde  $(\Omega, \mathcal{F}, P)$  es el espacio de probabilidad donde la serie  $\{X_t\}$  está definida. Este espacio es de dimensión infinita y el producto interno está especificado por

$$\langle Y_1, Y_2 \rangle = E[Y_1 Y_2], \quad Y_1, Y_2 \in L^2, \quad (2.1)$$

y la norma correspondiente está dada por

$$\|Y\| = \sqrt{\langle Y, Y \rangle} = E[Y^2]^{1/2}. \quad (2.2)$$

Con respecto a esta norma,  $L^2$  es un espacio métrico completo, es decir, toda sucesión de Cauchy es convergente (Apostol, 1974; Rudin, 1987; Royden, 1998). Considere ahora, una sucesión finita  $W_1, \dots, W_k$  de variables en  $L^2$ , y sea  $W$  el espacio vectorial generado por estas variables:

$$W = \{c_1W_1 + \dots + c_nW_n \mid c_1, c_2, \dots, c_n \in \mathbb{R}\}$$

el cual es un subespacio cerrado de  $L^2$  (Rudin, 1987, Royden, 1988). Dado  $Y \in L^2$ , existe una única variable aleatoria  $P_W Y$  que satisface las siguientes propiedades:

$$P_W Y \in W \text{ y } \|Y - P_W Y\| \leq \|Y - w\| \text{ para todo } w \in W. \quad (2.3)$$

Estas condiciones son equivalentes a

$$P_W Y \in W \text{ y } \langle P_W Y, w \rangle = \langle Y, w \rangle, \quad w \in W. \quad (2.4)$$

(Brockwell y Davis, 1991, Strang, 2003); debido a la (bi-)linealidad del producto interno, estas condiciones pueden expresarse como

$$P_W Y \in W \text{ y } \langle P_W Y, W_i \rangle = \langle Y, W_i \rangle, \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (2.5)$$

La variable  $P_W Y$  se llama la proyección (ortogonal) de  $Y$  sobre  $W$  y es una transformación lineal; la equivalencia de (2.3)–(2.5) se conoce teorema de proyección. La siguiente propiedad será útil Si  $W_0$  y  $W_1$  son dos subespacios de  $L^2$ , entonces

$$W_0 \subset W_1 \Rightarrow P_{W_0} P_{W_1} = P_{W_0} \quad (2.6)$$

A partir de esta discusión se es claro que el mejor pronóstico  $g(X_1, \dots, X_n)$  para  $X_{n+1}$  dadas las observaciones  $X_1, \dots, X_n$ , es la proyección de  $X_{n+1}$  sobre el espacio generado por  $X_1, \dots, X_n$ ; compare (1.2) y (1.3) con (2.3).

### ECUACIONES Y ERRORES DE PRONÓSTICO

Dada una serie estacionaria  $\{X_t\}$  con función de autocovarianza  $\gamma(\cdot)$ , en esta sección se establecen las ecuaciones para determinar la proyección ortogonal una variable  $X_{n+h}$ , donde  $h > 0$ , sobre el espacio generado por las variables  $X_1, \dots, X_n$  donde, por el momento, el entero  $n$  es fijo, y el  $\mathcal{L}_n$  es el subespacio de  $L^2$  generado por las variables  $X_t$  con  $1 \leq t \leq n$ :

$$\mathcal{L}_n(X_1, \dots, X_n) \equiv \mathcal{L}_n := \{a_1X_1 + \dots + a_nX_n \mid (a_1, \dots, a_n) \in \mathbb{R}^n\}. \quad (3.1)$$

Para cualquier variable aleatoria  $Y$  con varianza finita, la proyección ortogonal de  $Y$  sobre  $\mathcal{L}_n$  se denotará mediante  $\hat{Y}$ :

$$\hat{Y} = P_{\mathcal{L}_n} Y,$$

de manera que, como se estableció en la sección precedente,  $\hat{Y}$  está caracterizada por los siguientes requerimientos:

$$\hat{Y} \in \mathcal{L}_n, \text{ y } \langle Y, X_k \rangle = \langle \hat{Y}, X_k \rangle, \quad k = 1, 2, \dots, n; \quad (3.3)$$

en palabras,  $\hat{Y}$  es una combinación lineal de  $X_1, \dots, X_n$ , y los productos internos de  $\hat{Y}$  y  $Y$  con  $X_i$  coinciden,  $i = 1, 2, \dots, n$ . Ahora se determinará la forma que estas condiciones adoptan para el caso en que  $Y$  es la variable  $X_{n+1}$  que se observará una unidad de tiempo después de haber registrado el valor de  $X_n$ ; primero, se estudiará el caso  $h = 1$ . Observe que la inclusión  $\hat{X}_{n+1} \in \mathcal{L}_n$  significa que  $\hat{X}_{n+1}$  es una combinación lineal de  $X_1, \dots, X_n$ , de manera que existen constantes  $\phi_{n1}, \phi_{n2}, \dots, \phi_{nn}$  tales que

$$\hat{X}_{n+1} = \phi_{n1}X_n + \phi_{n2}X_{n-1} + \dots + \phi_{nn}X_1,$$

o de forma más compacta,

$$\hat{X}_{n+1} = \sum_{j=1}^n \phi_{nj} X_{n+1-j}, \quad (3.4)$$

A continuación, note que la condición de que  $X_{n+1}$  y  $\hat{X}_{n+1}$  tengan los mismos productos internos con las variables  $X_r$ ,  $r = 1, 2, \dots, n$  puede escribirse en términos de la función de autocovarianza:

$$\begin{aligned} \langle X_{n+1}, X_r \rangle &= \langle \hat{X}_{n+1}, X_r \rangle \\ &= \left\langle \sum_{j=1}^n \phi_{nj} X_{n+1-j}, X_r \right\rangle \\ &= \sum_{j=1}^n \phi_{nj} \langle X_{n+1-j}, X_r \rangle, \quad r = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (3.4)$$

igualdades que equivalen a

$$\gamma(n+1-r) = \sum_{j=1}^n \phi_{nj} \gamma(n+1-j-r), \quad r = 1, 2, \dots, n.$$

Una forma más conveniente para este sistema se obtiene escribiendo

$$i = n + 1 - r$$

con esta notación, cuando  $r$  toma cualquier valor entre 1 y  $n$ ,  $i$  también lo hace y el anterior sistema de ecuaciones se escribe como

$$\gamma(i) = \sum_{j=1}^n \phi_{nj} \gamma(i-j), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Definiendo los vectores  $\gamma_n, \varphi_n \in \mathbb{R}^n$  y la matriz  $\Gamma_n$  de orden  $n \times n$  mediante

$$\gamma_n = \begin{bmatrix} \gamma(1) \\ \gamma(2) \\ \vdots \\ \gamma(n) \end{bmatrix}, \quad \varphi_n = \begin{bmatrix} \phi_{n1} \\ \phi_{n2} \\ \vdots \\ \phi_{n,n} \end{bmatrix}, \quad \Gamma_n = [\gamma(i-j)]_{i,j=1,2,\dots,n}; \quad (3.6)$$

con esta notación, las ecuaciones anteriores equivalen a

$$\gamma_n = \Gamma_n \varphi_n \quad (3.7)$$

sistema que siempre es consistente, por el teorema de proyección. Después de encontrar una solución  $\varphi_n$  para esta ecuación vectorial, el error cuadrático de pronóstico, denotado por  $v_n$  y definido mediante

$$v_n = \|X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}\|^2, \quad (3.8)$$

puede determinarse de forma muy simple. En efecto, observando que

$$\langle X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}, X_r \rangle = 0$$

para todo  $r = 1, 2, \dots, n$  (vea la primera igualdad en 3.5), como  $\hat{X}_{n+1}$  es una combinación lineal de  $X_1, \dots, X_n$  se desprende que

$$\langle X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}, \hat{X}_{n+1} \rangle = 0, \quad (3.9)$$

lo que equivale a

$$\langle \hat{X}_{n+1}, X_{n+1} \rangle = \langle \hat{X}_{n+1}, \hat{X}_{n+1} \rangle = \|\hat{X}_{n+1}\|^2.$$

Con esto en mente,

$$\begin{aligned} \|X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}\|^2 &= \langle X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}, X_{n+1} - \hat{X}_{n+1} \rangle \\ &= \langle X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}, X_{n+1} \rangle - \langle X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}, \hat{X}_{n+1} \rangle \\ &= \langle X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}, X_{n+1} \rangle \text{ (por la ecuación (3.9))} \\ &= \langle X_{n+1}, X_{n+1} \rangle - \langle \hat{X}_{n+1}, X_{n+1} \rangle \\ &= \gamma(0) - \langle \hat{X}_{n+1}, \hat{X}_{n+1} \rangle \end{aligned}$$

donde, de nueva cuenta, se utilizó la ecuación (3.9) para establecer la última igualdad. Por lo tanto,

$$\|X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}\|^2 = \gamma(0) - \langle \hat{X}_{n+1}, \hat{X}_{n+1} \rangle \quad (3.10)$$

Ahora se calculará la norma cuadrática de  $\hat{X}_{n+1}$ . Usando (3.4) se tiene que

$$\begin{aligned} \langle \hat{X}_{n+1}, \hat{X}_{n+1} \rangle &= \left\langle \sum_{j=1}^n \phi_{nj} X_{n+1-j}, \sum_{i=1}^n \phi_{ni} X_{n+1-i} \right\rangle \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \phi_{ni} \langle X_{n+1-j}, X_{n+1-i} \rangle \phi_{nj} \\ &= \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n \phi_{ni} \gamma(i-j) \phi_{nj} \\ &= \varphi_n' \Gamma_n \varphi_n \end{aligned}$$

y recordando que  $\Gamma_n \varphi_n = \gamma_n$ , se obtiene que  $\langle \hat{X}_{n+1}, \hat{X}_{n+1} \rangle = \varphi_n' \gamma_n$ ; combinando esta relación con (3.10), se llega a la expresión

$$v_n = \|X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}\|^2 = \gamma(0) - \varphi_n' \gamma_n.$$

De esta manera, al resolver la ecuación (3.7) es posible determinar, tanto la proyección  $\hat{X}_{n+1}$  por medio de (3.4), como el error de pronóstico  $v_n$  a través de la anterior expresión desplegada. Esta discusión se resume en el siguiente teorema.

**Teorema 3.1.** Suponga que  $\{X_t\}$  es una serie estacionaria con función de autocovarianza  $\gamma(\cdot)$ .

En este caso, la proyección  $\hat{X}_{n+1}$  de  $X_{n+1}$  sobre el espacio  $\mathcal{L}_n$  generado por  $X_1, \dots, X_n$  está dada por

$$\hat{X}_{n+1} = \sum_{j=1}^n \phi_{nj} X_{n+1-j}$$

donde  $\varphi_n = (\phi_{n1}, \dots, \phi_{nn})$  es cualquier vector que satisface el sistema de ecuaciones

$$\gamma_n = \Gamma_n \varphi_n,$$

y la notación es como en (3.6). Más aún, el error de pronóstico  $v_n$  está dado por

$$v_n = \|\hat{X}_{n+1} - X_{n+1}\|^2 = \gamma(0) - \varphi_n' \gamma_n. \quad (3.11)$$

### EL ALGORITMO DE DURBIN-LEVINSON

En esta sección se formula un procedimiento recursivo para calcular los coeficientes  $\phi_{nk}$  en la expresión para la proyección de  $X_{n+1}$  sobre  $\mathcal{L}(X_1, \dots, X_n)$ . Este procedimiento calcula el vector de coeficientes  $\varphi_{n-1}$  el error de pronóstico  $v_n$  en términos del vector de coeficientes  $\varphi_{n-1}$  y el correspondiente error de  $v_{n-1}$ , evitando el problema de invertir la matriz  $\Gamma_n$ . El esquema de cálculo en el siguiente teorema se conoce como el algoritmo de Durbin-Levinson. En el resto del capítulo, se utiliza la siguiente notación:



$$\hat{X}_1 = 0, \quad v_0 = \|X_1 - \hat{X}_1\|^2 = \gamma(0) \quad (4.1)$$

$$\hat{X}_n = P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{n-1})} X_n, \quad v_{n-1} = \|X_n - \hat{X}_n\|^2, \quad n = 2, 3, \dots$$

Por conveniencia, a continuación se reescribe la expresión para  $\hat{X}_n$ :

$$\hat{X}_n = \sum_{k=1}^{n-1} \phi_{n-1,k} X_{n-k}. \quad (4.2)$$

**Teorema 4.1.** Suponga que  $\{X_t\}$  es un proceso estacionario con función de autocovarianza  $\gamma(\cdot)$  tal que  $\gamma(0) > 0$  y  $\gamma(h) \rightarrow 0$  conforme  $h \rightarrow \infty$ , de tal forma que las matrices  $\mathbf{\Gamma}_n$  son no singulares. En este caso, los coeficientes  $\phi_{n,k}$  y los errores cuadráticos de pronóstico satisfacen las siguientes relaciones:

$$(i) \quad \phi_{11} = \frac{\gamma(1)}{\gamma(0)}, \quad v_0 = \gamma(0)$$

$$(ii) \quad \phi_{nn} = \frac{1}{v_{n-1}} \left[ \gamma(n) - \sum_{j=1}^{n-1} \phi_{n-1,j} \gamma(n-j) \right], \quad v_n = v_{n-1} [1 - \phi_{nn}^2]$$

$$(iii) \quad \phi_{nk} = \phi_{n-1,k} - \phi_{nn} \phi_{n-1,n-k}, \quad k = 1, 2, \dots, n-1$$

Una demostración de este teorema puede encontrarse en Brockwell y Davis (1991), o en Fuller (1996). Este resultado permite encontrar los coeficientes  $\phi_{n,k}$  en

$$\hat{X}_{n+1} = \sum_{j=1}^n \phi_{n,j} X_{n+1-j},$$

así como el error de pronóstico  $v_n = \|X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}\|^2$ , de manera recursiva, sin invertir la matriz  $\mathbf{\Gamma}_n$ . El procedimiento se describe como sigue:

### Algoritmo de Durbin-Levinson

Entrada: Un vector  $(\gamma(0), \gamma(1), \dots, \gamma(n))$ , donde  $\gamma(\cdot)$  es una función de autocovarianza.

Salida: El vector  $\varphi_n = (\phi_{n1}, \dots, \phi_{nn})$  de coeficientes de la proyección  $\hat{X}_{n+1}$ , así como  $v_n$ , el correspondiente error cuadrático de pronóstico.

- Inicio: Defina  $\phi_{1,1} = \gamma(1)/\gamma(0)$  y  $v_1 = (1 - \phi_{1,1}^2)v_0$  y ponga  $k = 1$
- Paso Recursivo: En términos de  $\phi_{k,j}$ ,  $j = 1, 2, \dots, k$  y  $v_k$  calcule

$$(a) \quad \phi_{k+1,k+1} = v_k^{-1} \left[ \gamma(k+1) - \sum_{j=1}^k \phi_{k,j} \gamma(k+1-j) \right]$$

$$(b) \quad v_{k+1} = v_k [1 - \phi_{k+1,k+1}^2]$$

$$(c) \quad \phi_{k+1,j} = \phi_{k,j} - \phi_{k+1,k+1} \phi_{k,n-j}, \quad j = 1, 2, \dots, k.$$

Además

(d) Incremente  $k$  en una unidad.

• Paso de Prueba: Si  $k = n$  detenga el procedimiento. Los números actuales  $v_k$  y  $\phi_{k,j}$ ,  $j = 1, 2, \dots, k$  las cantidades deseadas.

Si  $k < n$ , vaya al paso anterior.

A continuación se analiza el orden del algoritmo, esto es el requerimiento de memoria y la cantidad de operaciones aritméticas necesarias para obtener los coeficientes  $\phi_{n,k}$  se prestará atención al número de multiplicaciones y divisiones, pes estas operaciones consumen un mayor tiempo de cómputo que las sumas y restas.

• En la etapa inicial se realizan una división para evaluar  $\phi_{11}$  y dos multiplicaciones para calcular  $v_1$ ; en total, 3 operaciones

• En la etapa recursiva, para pasar de  $\varphi_k$  y  $v_k$  hacia  $\varphi_{k+1}$  y  $v_{k+1}$  se llevan a cabo

- $k$  multiplicaciones y una división para evaluar  $\phi_{k+1,k+1}$ ;
- dos multiplicaciones para calcular  $v_{k+1}$ , y
- $k$  multiplicaciones para determinar las restantes componentes  $\phi_{k+1,j}$ ,  $j = 1, 2, \dots, k$ . En total se realizan  $2k + 3$  multiplicaciones o divisiones.

Como la etapa iterativa se repite para  $k = 1, 2, \dots, n-1$ , todo el algoritmo requiere la realización de  $3 + \sum_{k=1}^{n-1} (2k+3) = n(n+2)$  multiplicaciones o divisiones. En este caso, se dice que el algoritmo de Durbin-Levinson es de orden  $n^2$ , y se escribe  $O(n^2)$ . En cuanto a los requerimientos de memoria, se necesitan  $n + 1$  lugares para almacenar  $\gamma(0), \gamma(1), \dots, \gamma(n)$ ,  $n$  lugares adicionales para guardar  $v_1, \dots, v_n$ , y otros  $n$  lugares para almacenar  $\phi_{n,k}$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , totalizando  $3n+1$  posiciones de memoria para los datos de entrada y salida. En esta descripción, la palabra 'lugar' se refiere a la cantidad de bytes necesaria para almacenar un número real con precisión determinada, y dicha cantidad depende del entorno de trabajo y del programa que ejecuta la tarea. Para propósitos de referencia futura, esta discusión se resume en el siguiente teorema.

**Teorema 4.2.** (i) Con respecto a las operaciones aritméticas que realiza, el algoritmo de Durbin-Levinson es de orden  $O(n^2)$ .

(ii) El requerimiento de memoria del algoritmo de Durbin-Levinson es de orden  $O(n)$ ; si se desea almacenar todos los coeficientes  $1 \leq j \leq k \leq n$  el requerimiento de memoria naturalmente aumenta, y es de orden  $O(n^2)$ .

## UN CONJUNTO ORTOGONAL

El problema de calcular proyecciones sobre un subespacio  $\mathcal{L}$  se facilita al disponer de un conjunto generador que sea ortogonal (Hoffman y Kunze, 1971, Graybill 2001, Harville, 2008). En esta sección se construye uno de tales conjuntos para  $\mathcal{L}(X_1, X_2, \dots, X_n)$  donde, en adelante,  $n$  es un entero positivo fijo. Considere las variables aleatorias

$$U_1 = X_1, \quad U_k = X_k - P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_k, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (5.1)$$

En este caso, debido a que

$$U_i \in \mathcal{L}(X_1, \dots, X_i) \quad \text{y} \quad U_j \text{ es ortogonal a } \mathcal{L}(X_1, \dots, X_{j-1}),$$

se tiene la siguiente relación de ortogonalidad:

$$i < j \Rightarrow \langle U_i, U_j \rangle = 0.$$

Suponga ahora que la matriz de varianzas  $\mathbf{\Gamma}_n$  del vector  $(X_1, \dots, X_n)$  es no singular para cada  $n$ , de manera que  $X_1, \dots, X_n$  son linealmente independientes. Como  $U_k$  es una combinación lineal de  $X_1, \dots, X_k$  en la que el coeficiente de  $X_k$  es 1, se tiene que  $U_k \neq 0$  para cada  $k$ . Combinando esta propiedad con la anterior relación de ortogonalidad se desprende que

$U_1, \dots, U_n$  son linealmente independientes.

y por lo tanto, como  $U_1, \dots, U_n \in \mathcal{L}(X_1, \dots, X_n)$  un argumento directo de dimensionalidad permite establecer que

$$\mathcal{L}(U_1, \dots, U_n) = \mathcal{L}(X_1, \dots, X_n)$$

para cada  $n$ . Por otro lado, recuerde que el pronóstico para  $X_k$  en términos de  $X_1, \dots, X_{k-1}$  es  $\hat{X}_k = P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_k$ , de manera que  $U_k = X_k - \hat{X}_k$ , y entonces

$$\|U_k\|^2 = \|X_k - \hat{X}_k\|^2 = v_{k-1}$$

vea (3.11). La discusión precedente se resume como sigue:

**Lema 5.1.** Dada una serie estacionaria  $\{X_t\}$  defina las variables aleatorias  $U_k$  mediante (5.1). En este caso,

(i) Las variables  $U_1, U_2, U_3, \dots$  son ortogonales;

(ii) Se satisface la igualdad  $\mathcal{L}(U_1, U_2, \dots, U_k) = \mathcal{L}(X_1, X_2, \dots, X_k)$  para cada  $k$ ;

(iii) Para cada  $k = 1, 2, 3, \dots$ ,  $U_k = v_{k-1}$ .

La variable  $U_k$  se denomina la innovación en el tiempo  $k$ . Para justificar este término, note que  $X_k$  se expresa como

$$X_k = P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_k + [X_k - P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_k]$$

y ubíquese en el momento en que  $X_k$  va a ser observada. En ese instante, ya se registraron  $X_1, \dots, X_{k-1}$ , y el término  $P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_k$  es combinación lineal de esas variables; por lo tanto,  $P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_k$  es conocido para el observador. En contraste,  $[X_k - P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_k]$  es ortogonal a  $X_1, \dots, X_{k-1}$ , y en ese sentido, representa 'la nueva información' que el observador obtendrá al registrar el valor de  $X_k$ . Por otro lado, como el conjunto ortogonal  $U_1, \dots, U_n$  genera el mismo espacio vectorial que  $X_1, \dots, X_n$ , se tiene que la proyección

$$\hat{X}_{n+1} = P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_n)} X_{n+1} = P_{\mathcal{L}(U_1, \dots, U_n)} X_{n+1}$$

se expresa como

$$\begin{aligned} \hat{X}_{n+1} &= \theta_{n1} U_n + \theta_{n2} U_{n-1} + \dots + \theta_{nn-1} U_2 + \theta_{nn} U_1 \\ &= \sum_{k=1}^n \theta_{nk} U_{n+1-k}. \end{aligned} \quad (5.2)$$

Esta es la representación de  $\hat{X}_{n+1}$  en términos de la innovaciones  $U_1, \dots, U_n$ .

## DETERMINACIÓN DE LOS COEFICIENTES DE LAS INNOVACIONES

En esta sección se enuncia un resultado clásico sobre la determinación de los coeficientes de la expresión de  $\hat{X}_{n+1}$  como combinación lineal de las innovaciones  $U_1, \dots, U_n$ . Como punto de partida, suponga que, para cada  $k = 1, \dots, n-1$ , ya se han determinado los coeficientes  $\theta_{kj}$ ,  $1 \leq j \leq k$  en las expresiones

$$\hat{X}_{k+1} = \sum_{j=1}^k \theta_{kj} U_{k+1-j} \quad (6.1)$$

así como los correspondientes errores cuadráticos de pronóstico

$$v_k = \|U_{k+1}\|^2 = \|X_{k+1} - \hat{X}_{k+1}\|^2. \quad (6.2)$$

El siguiente teorema muestra como pueden determinarse los coeficientes  $\theta_{nk}$  y el error  $v_n$  en términos de estas cantidades.

**Teorema 6.1.** Suponga que para cada entero  $k = 1, 2, \dots, n-1$  se conocen los coeficientes  $\theta_{kj}, 1 \leq j \leq k$ , así como  $v_k$ . En este caso,

(i) Los coeficientes  $\phi_{nk}$  en la expresión

$$\hat{X}_{n+1} = \sum_{k=1}^n \theta_{nk} U_{n+1-k} \tag{6.3}$$

satisfacen  $v_0 \theta_{nn} = \gamma(n)$ ,

$$v_i \theta_{n,n-i} = \gamma(n-i) - \sum_{s=0}^{i-1} \theta_{i-s} \theta_{n,n-s} v_s, \quad i = 1, 2, \dots, n-1.$$

(ii) Más aún,

$$v_n = \gamma(0) - \sum_{j=1}^n \theta_{nj}^2 v_{n-j}$$

Una demostración de este resultado se encuentra, por ejemplo, en Brockwell y Davis (1991), o Fuller (1996). El Teorema 6.1 sugiere una manera natural de encontrar los coeficientes  $\theta_{nn}, \theta_{n,n-1}, \dots, \theta_{n1}$ , en la expresión (6.3) para el pronóstico  $\hat{X}_{n+1}$ , así como el correspondiente error cuadrático  $v_n = \|X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}\|^2$

Suponga que la función de autocovarianza es tal que, para cada  $n$ , la matriz  $\Gamma_n$  es invertible, de manera que  $v_k > 0$  para todo  $k$ . Iniciando con

$$v_0 = \gamma(0),$$

el Teorema 6.1 permite calcular

$$(i) \theta_{11} = \gamma(1)/v_0 \text{ y } v_1 = \gamma(0) - \theta_{11}^2 v_0.$$

Usando estas cantidades, ahora se calculan los coeficientes  $\theta_{22}, \theta_{21}$  y  $v_2$  como sigue:

$$(ii) \theta_{22} = \gamma(2)/v_0, \theta_{21} = [\gamma(1) - \theta_{11}\theta_{22}v_0]/v_1, \text{ y } v_2 = \gamma(0) - \theta_{22}^2 v_0 - \theta_{21}^2 v_1.$$

A partir de este punto, la fórmulas del Teorema 6.1 permiten calcular  $\theta_{33}, \theta_{32}, \theta_{31}$  y  $v_3$ , ese orden. En general, dados  $\theta_{kj}, 1 \leq j \leq k$ , y  $v_0, \dots, v_k$ , es posible evaluar  $\theta_{nn}, \theta_{n,n-1}, \dots, \theta_{n1}$ , en el orden indicado. Este procedimiento se describe formalmente a continuación:

**Algoritmo de Innovaciones**

Entrada: Un vector  $(\gamma(0), \gamma(1), \dots, \gamma(n))$ , donde  $\gamma(\cdot)$  es una función de autocovarianza y  $n \geq 2$

Salida: El vector  $\theta_n = (\theta_{n1}, \dots, \theta_{nn})$  de coeficientes de la proyección  $\hat{X}_{n+1}$  en (6.3), así como  $v_n$ , el correspondiente error cuadrático de pronóstico.

- Inicio: Defina  $v_0 = \gamma(0), \theta_{11} = \gamma(0)/v_0, v_1 = \gamma(0) - \theta_{11}^2 v_0$  y  $k = 1$ .
- Paso Recursivo: Incremente  $k$  en 1 y calcule

$$\begin{aligned} \theta_{kk} &= \gamma(k)/v_0, \\ \theta_{k,k-i} &= [\gamma(k-i) - \sum_{s=0}^{i-1} \theta_{i-s} \theta_{k-k-s} v_s]/v_i, \quad i = 1, 2, \dots, k-1, \\ v_k &= \gamma(0) - \sum_{j=1}^k \theta_{kj}^2 v_{k-j} \end{aligned}$$

• Paso de Prueba: Si  $k = n$  detenga el procedimiento. Los números actuales  $v_k$  y  $\theta_{kj}, j = 1, 2, \dots, k$  son las cantidades deseadas.

Si  $k < n$ , vaya al paso anterior.

Un aspecto importante en el algoritmo de innovaciones, es que para evaluar  $v_k$  y los números  $\theta_{kj}$ , es necesario tener disponibles todos las cantidades  $\theta_{si}$  y  $v_s, 1 \leq i \leq s < k$ . Así, debe reservarse lugar para todos los números en el siguiente arreglo:

$v_0$					
$\theta_{11}$	$v_1$				
$\theta_{22}$	$\theta_{21}$	$v_2$			
$\theta_{33}$	$\theta_{32}$	$\theta_{31}$	$v_3$		
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	
$\theta_{nn}$	$\theta_{n,n-1}$	$\theta_{n,n-2}$	$\dots$	$\theta_{n1}$	$v_n$

totalizando  $1 + 2 + \dots + (n+1) = (n+1)(n+2)/2$  lugares de memoria. Además se requieren  $n+1$  lugares para  $(\gamma(0), \gamma(1), \dots, \gamma(n))$  y uno más para la variable  $k$ . Así, el requerimiento de memoria es de  $(n+2)(n+3)/2$  lugares numéricos, es decir,  $O(n^2)$ .

Ahora se discutirá la carga aritmética del algoritmo, contando el número de multiplicaciones y divisiones necesarias para ejecutarlo. En el paso recursivo, aplicado al entero  $k$  requiere

- (a) Una división para evaluar  $\theta_{kk}$ ;
- (b)  $2(i-1)$  multiplicaciones y una división para calcular  $\theta_{k,k-i}$ , dando un total de  $2i-1$  operaciones; esto debe hacerse para  $i = 1, 2, \dots, k-1$ , arrojando un total de  $\sum_{i=1}^{k-1} (2i-1) = k(k-1) - (k-1) = (k-1)^2$  multiplicaciones o divisiones. Como el paso recursivo se realiza con valores  $k = 2, \dots, n$ , el total de operaciones en todos los paso, es  $\sum_{k=2}^n (k-1)^2 = (n-1)(n)(2n-1)/6 \approx n^3/3$ .

Esta discusión se resume en el siguiente teorema:

**Teorema 6.2.** Para determinar los  $n$  coeficientes  $\theta_{nn}, \dots, \theta_{n1}$  y el error cuadrático de pronóstico  $v_n$ , el algoritmo de innovaciones requiere  $(n+2)(n+3)/2$  lugares numéricos de memoria, y la realización de  $3 + (n-1)(n)(2n-1)/6 \approx n^3/3$  multiplicaciones o divisiones. Así, el algoritmo de innovaciones es de orden  $O(n^2)$  en cuanto a requerimiento de memoria, y de orden  $O(n^3)$  con respecto a la carga aritmética.

Como ya se mencionó, el principal objetivo de este trabajo es diseñar una implementación del algoritmo de innovaciones que sea más eficiente, en el sentido de que carga aritmética sea de orden menor a  $n^3$ . Dicho resultado depende de la relación entre los coeficientes que se utilizan para representar la proyección  $\hat{X}_{n+1}$  en

términos de las innovaciones  $U_1, \dots, U_n$ , y las cantidades que se usan en la representación como combinación lineal de las variables originales  $X_1, \dots, X_n$ .

**RELACION ENTRE DOS EXPRESIONES PARA UN PRONÓSTICO**

El propósito de esta sección es desarrollar la idea principal en que se sustenta la formulación de un procedimiento de segundo orden para determinar el vector de coeficientes  $\theta_n$  que aparece al expresar el pronóstico  $\hat{X}_{n+1}$  en términos de las innovaciones  $U_1, \dots, U_n$ . El resultado principal relaciona dicho vector con la representación de los pronósticos  $X_{k+1}$  en términos de las variables originales.

Considere las dos representaciones para la proyección  $\hat{X}_{n+1}$  de  $X_{n+1}$  sobre  $\mathcal{L}(X_1, \dots, X_n)$ :

$$\begin{aligned} \hat{X}_{n+1} &= \sum_{j=1}^n \theta_{n,j} U_{n+1-j} \\ \hat{X}_{n+1} &= \sum_{j=1}^n \phi_{n,j} X_{n+1-j} \end{aligned} \tag{7.1}$$

donde, como antes,  $U_{k+1}$  es la innovación en el tiempo  $k+1$ . El siguiente resultado es la principal contribución técnica de este trabajo.

**Teorema 7.1.** Considere una serie estacionaria  $\{X_t\}$  tal que la matriz  $\Gamma_k$  es invertible para cada entero positivo  $k$ ; vea (3.6). Sea  $n$  un entero positivo, y suponga que, para algún entero  $k$  entre 1 y  $n$ , se tiene la siguiente representación:

$$P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_k)} X_{n+1} = \sum_{i=1}^k c_i X_{k+1-i}, \tag{7.2}$$

donde  $c_1, \dots, c_k$  son constantes. En este caso, (i) El coeficiente  $\theta_{n, n+1-k}$  en (7.1) está dado por

$$\theta_{n, n+1-k} = c_1.$$

(ii) La proyección  $X_{n+1}$  sobre el espacio  $\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})$  está dada por

$$P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_{n+1} = \sum_{i=1}^{k-1} d_i X_{k-i},$$

donde

$$(d_1, d_2, \dots, d_{k-1}) = (c_2, c_3, \dots, c_k) + c_1(\phi_{k-1,1}, \phi_{k-1,2}, \dots, \phi_{k-1,k-1})$$

**Demostración.** Primeramente, observe que (7.2) puede escribirse como

$$\begin{aligned} P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_k)} X_{n+1} &= c_1 X_k + \sum_{i=2}^k c_i X_{k+1-i} \\ &= c_1 X_k + \sum_{j=1}^{k-1} c_{j+1} X_{k-j} \\ &= c_1 [X_k - P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_k] \\ &\quad + \left[ \sum_{j=1}^{k-1} c_{j+1} X_{k-j} + c_1 P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_k \right]. \end{aligned}$$

El término entre corchetes que multiplica a  $c_1$  es precisamente la innovación  $U_k$ , mientras que

$P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_k = \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j} X_{k-j}$ . Por lo tanto,

$$\begin{aligned} P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_k)} X_{n+1} &= c_1 U_k + \left[ \sum_{j=1}^{k-1} c_{j+1} X_{k-j} + c_1 \sum_{j=1}^{k-1} \phi_{k-1,j} X_{k-j} \right] \\ &= c_1 U_k + \left[ \sum_{j=1}^{k-1} [c_{j+1} + c_1 \phi_{k-1,j}] X_{k-j} \right] \end{aligned} \tag{7.3}$$

Por otro lado, la primera igualdad en (7.1) puede escribirse como

$$P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_n)} X_{n+1} = \sum_{j=1}^n \theta_{n,j} U_{n+1-j} = \sum_{s=1}^n \theta_{n, n+1-s} U_s$$

Recuerde ahora dos hechos fundamentales:

(a) Si  $\mathcal{M}_0$  y  $\mathcal{M}_1$  son dos subespacios tales  $\mathcal{M}_0 \subset \mathcal{M}_1$ , que entonces

$$P_{\mathcal{M}_0} P_{\mathcal{M}_1} = P_{\mathcal{M}_0};$$

vea, por ejemplo, Hoffman y Kunze (1971) o Lipschutz (1996).

(b)  $\mathcal{L}(X_1, \dots, X_k) = \mathcal{L}(U_1, \dots, U_k)$ , igualdad que se estableció en el capítulo precedente. Usando estas dos propiedades, y recordando que  $k$  es un entero entre 1 y  $n$ , se desprende que

$$\begin{aligned} P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_k)} X_{n+1} &= P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_k)} P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_n)} X_{n+1} \\ &= P_{\mathcal{L}(U_1, \dots, U_k)} \left[ \sum_{j=1}^n \theta_{n,j} U_{n+1-j} \right] \\ &= \sum_{j=1}^n \theta_{n,j} P_{\mathcal{L}(U_1, \dots, U_k)} U_{n+1-j} \\ &= \sum_{j=n+1-k}^n \theta_{n,j} U_{n+1-j} \end{aligned}$$

donde se usó que  $P_{\mathcal{L}(U_1, \dots, U_k)} U_s = 0$  si  $s > k+1$  y  $P_{\mathcal{L}(U_1, \dots, U_k)} U_s = U_s$  cuando  $s \leq k$ . El mismo argumento con  $k-1$  en vez de  $k$  muestra que

$$P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_{n+1} = \sum_{j=n+2-k}^n \theta_{n,j} U_{n+1-j}.$$

Combinando estas dos últimas relaciones desplegadas se obtiene que

$$\begin{aligned} P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_k)} X_{n+1} &= \sum_{j=n+1-k}^n \theta_{n,j} U_{n+1-j} \\ &= \theta_{n, n+1-k} U_k + \sum_{j=n+2-k}^n \theta_{n,j} U_{n+1-j} \end{aligned}$$

y entonces

$$P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_k)} X_{n+1} = \theta_{n, n+1-k} U_k + P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_{n+1}$$

Comparando esta expresión con (7.3), la ortogonalidad y no nulidad de las innovaciones implica que  $\theta_{n, n+1-k} = c_1$  como se establece en la parte (i), mientras que



$$P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{k-1})} X_{n+1} = \sum_{j=1}^{k-1} [c_{j+1} + c_1 \phi_{k-1j}] X_{k-j} = \sum_{j=1}^{k-1} d_j X_{k-j},$$

donde  $d_j = c_{j+1} + c_1 \phi_{k-1j}$  para  $j = 1, 2, \dots, k - 1$ , como se establece en la parte (ii).

Conociendo los vectores  $\varphi_k = (\phi_{k1}, \dots, \phi_{kk})$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , este teorema permite calcular el vector  $\theta_n = (\theta_{n1}, \theta_{n2}, \dots, \theta_{nn})$ , cuyas componentes son los coeficientes en la representación de  $\hat{X}_{n+1}$  en términos de las innovaciones  $U_1, \dots, U_n$ . Iniciando con

$$P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_n)} X_{n+1} = \sum_{i=1}^n \phi_{ni} X_{n+1-i}$$

el Teorema 7.1 con  $k = n$  y  $c = (c_1, \dots, c_n) = \varphi_n$  establece que  $\theta_{nn+1-n} = \theta_{n1} = c_1 = \phi_{n1}$ , y permite calcular el vector  $d = (d_1, d_2, \dots, d_{n-1})$  tal que

$$P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{n-1})} X_{n+1} = \sum_{i=1}^{n-1} d_i X_{n-i}$$

Otra aplicación del teorema precedente con  $k = n - 1$  y con el vector  $d$  en lugar de  $c$  arroja que  $\theta_{nn+1-(n-1)} = \theta_{n2} = d_1$ , y un vector  $\tilde{d} = (\tilde{d}_1, \tilde{d}_2, \dots, \tilde{d}_{n-2})$  que satisface

$$P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{n-2})} X_{n+1} = \sum_{i=1}^{n-2} \tilde{d}_i X_{n-1-i}$$

A partir de aquí se obtiene  $\theta_{n3} = \tilde{d}_1$  y otro vector  $\hat{d}$  tal que

$$P_{\mathcal{L}(X_1, \dots, X_{n-3})} X_{n+1} = \sum_{i=1}^{n-3} \hat{d}_i X_{n-2-i}$$

Continuando con este proceso, se llega finalmente a determinar todos los coeficientes  $\theta_{n1}, \theta_{n2}, \dots, \theta_{nn}$ . Estas ideas se presentan en el siguiente algoritmo:

**Algoritmo de Transformación**

Entrada: Un entero positivo  $n$  y los vectores  $\varphi_k$  tales que

$$\hat{X}_{k+1} = (X_1, \dots, X_k) \varphi_k$$

para cada  $k = 1, \dots, n$ .

Salida: El vector  $\theta_n = (\theta_{n1}, \dots, \theta_{nn})$  tal que

$$\hat{X}_{k+1} = (U_1, \dots, U_k) \theta_n.$$

Inicio: Ponga  $k = 1$  y defina el vector  $\alpha = \varphi_n$

Etapa de cálculo: (a) Si  $k = n$  ponga  $\theta_{nn} = \alpha_1$

(b) Si  $k < n$ , ponga  $\theta_{n, n+1-k} = \alpha_1$ , y sustituya  $\alpha$  por el vector

$$(\alpha_2, \dots, \alpha_{n+1-k}) + \alpha_1 \varphi_{n-k}$$

e incremente  $k$  por una unidad.

Etapa de salida: (a) Si  $k > n$  salga del procedimiento mostrando el vector  $\theta_n$ .

(b) Si  $k \leq n$  vaya a la etapa de cálculo.

Para concluir la sección, se analiza el orden del procedimiento de transformación para obtener el vector  $\theta_n$ .

**Teorema 7.2.** El procedimiento de transformación descrito anteriormente es de orden cuadrático, tanto en el requerimiento de memoria, como en la carga aritmética.

**Demostración.** Debido a que el procedimiento requiere utilizar los vectores  $\varphi_1, \dots, \varphi_n$  cuyas longitudes suman  $1+2+\dots+n = n(n+1)/2$ , es claro que el requerimiento de memoria tiene orden  $O(n^2)$ . Por otro lado, en la etapa de cálculo se realizan  $n - k$  multiplicaciones al realizar el producto  $\alpha_1 \varphi_{n-k}$ , y esto se hace para  $k = 1, 2, \dots, n - 1$ . Por lo tanto se realizan

$$(n - 1) + (n - 1) + \dots + 1 = n(n - 1)/2$$

multiplicaciones, así que el procedimiento también es de orden cuadrático respecto a la carga aritmética.

**IMPLEMENTACIÓN CUADRÁTICA DEL ALGORITMO DE INNOVACIONES**

En esta sección se describe un procedimiento para determinar el vector

$$\theta_n = (\theta_{n1}, \theta_{n2}, \dots, \theta_{nn})$$

en la representación

$$\hat{X}_{n+1} = \sum_{k=1}^n \theta_{nk} X_{n+1-k}$$

así como el error de pronóstico

$$v_n = \|X_{n+1} - \hat{X}_{n+1}\|^2$$

El siguiente procedimiento combina el algoritmo de Durbin-Levinson el esquema de transformación de la sección precedente para resolver el problema, cuya solución es el principal objetivo del algoritmo de innovaciones.

**Algoritmo combinado para determinar  $\theta_n$  y  $v_n$**

**Paso 1:** Utilice el método de Durbin-Levinson para determinar  $v_n$  y los vectores  $\varphi_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ , en las representaciones  $\hat{X}_{k+1} = (X_1, \dots, X_k) \varphi_k$ .

**Paso 2:** Aplique el método de transformación descrito en la sección precedente para determinar  $\theta_n$  a partir de  $\varphi_k$ ,  $k = 1, 2, \dots, n$ .

El siguiente teorema condensa el trabajo realizado previamente, y se enuncia para enfatizar la importancia del resultado.



**Teorema 8.1.** El algoritmo combinado descrito anteriormente es de orden cuadrático, tanto en los requerimientos de memoria como en la carga aritmética.

**Demostración.** Debido a que tanto el algoritmo de Durbin-Levinson como el método de transformación son de orden cuadrático en requerimientos de memoria y carga aritmética, se desprende que el esquema combinado también es de orden  $O(n^2)$ .

Este resultado indica claramente la ventaja del algoritmo combinado respecto a la formulación original del algoritmo de innovaciones. Ambos procedimientos encuentran  $\theta_n$  y  $v_n$ , pero el algoritmo combinado es de orden  $O(n^2)$  y por lo tanto requiere realizar menos operaciones aritméticas que el algoritmo de innovaciones original, el cual tiene orden  $O(n^3)$ .

#### LITERATURA CITADA

- Apostol, T.M. 1974. *Mathematical Analysis: A Modern Approach to Advanced Calculus*. 2a. ed. Addison-Wesley. Reading, Massachusetts, USA. 492 p.
- Borovkov, A.A. 1999. *Mathematical Statistics*. Taylor & Francis. Amsterdam, The Netherlands. 592 p.
- Brockwell, P.J. and R.A. Davis. 1991. *Time Series: Theory and Methods*. 2a. ed. Springer-Verlag, New York, USA. 577 p.
- Dudewicz, E.J. and S.N. Mishra. 1988. *Mathematical Statistics*. 2a. ed. Wiley, New York, USA. 864 p.
- Fuller, W.A. 1996. *Introduction to Statistical Time Series*. Wiley. New York, USA.
- Fulks, W. 1982. *Calculo Avanzado*. Limusa. México, D.F. 551 p.
- Graybill, F.A. 2000. *Theory and Application of the Linear Model*. Duxbury. New York, USA. 704 p.
- Graybill, F.A. 2001. *Matrices with Applications in Statistics*. Duxbury. New York, USA. 461 p.
- Harville, D.A. 2008. *Matrix Algebra from a Statistician's Perspective*. Springer-Verlag. New York, USA. 629 p.
- Hoffman, K. and R. Kunze. 1971. *Linear Algebra*. Prentice-Hall. New York, USA. 407 p.
- Khuri, A.I. 2003. *Advanced Calculus with Applications in Statistics*. 2a. ed. Wiley. New York, USA. 677 p.
- Lipschutz, S. 1996. *Linear Algebra*. McGraw-Hill. New York, USA. 473 p.
- Rudin, W. 1987. *Real and Complex Analysis*. McGraw-Hill. New York, USA. 416 p.
- Royden, H.L. 1988. *Real Analysis*. MacMillan. New York, USA. 444 p.
- Shao, J. 2008. *Mathematical Statistics*. Springer. New York, USA. 591 p.
- Shumway, R.H. and D.S. Stoffer. 2006. *Time Series Analysis and Its Applications. With R Examples*. 2a. ed. Springer-Verlag, New York, USA. 575 p.
- Strang, G. 2003. *Introduction to Linear Algebra*. 3a. ed. Wellesley-Cambridge Press, New York. USA. 571 p.
- Wackerly, D., W. Mendenhall and R.L. Scheaffer. 2009. *Mathematical Statistics with Applications*. Thomson Brooks/Cole, Belmont, CA. USA. 914 p.



# Normas Editoriales para Publicar en Agraria



## INTRODUCCIÓN

**Agraria** es una revista científica cuatrimestral, publicada por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en Saltillo, Coah., México. Fue creada con el propósito de difundir los resultados de investigaciones científicas originales e inéditas sobre temas relacionados con las ciencias agrícolas, pecuarias y forestales, incluyendo las áreas de ingeniería, agroindustria y socioeconómicas.

La revista **Agraria** está indizada, desde 2006, en Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal); en la base de datos PERIÓDICA (de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México D. F.); y en 2007 fue incluida en la base de datos del Centro Internacional de Investigación Científica (CIRS).

Los materiales que se envíen para su publicación deberán ceñirse a las normas que, para tal efecto establezca **Agraria** y estarán sujetos a revisión y arbitraje por el Comité Editorial de la revista -o por quienes éste designe-, como requisito previo a su publicación.

## TIPO DE MATERIALES PARA PUBLICACION

La revista **Agraria** acepta, para su publicación, materiales en español e inglés, sobre temas relacionados con las ciencias agrícolas, pecuarias y forestales, incluyendo las áreas de ingeniería, agroindustria y socioeconómicas. Todo material deberá venir acompañado de la solicitud correspondiente (ver modelo).

Estos materiales pueden ser artículos científicos, notas de investigación o ensayos.

- Artículo Científico
- Ensayo Científico
- Nota de investigación

No se aceptan trabajos ya publicados, o que estén sometidos a consideración en otros medios científicos de difusión.

Es de desear que la realización de la investigación, cuyos materiales sean enviados para su publicación, no exceda de cuatro años anteriores a la fecha de su remisión.

## ESTRUCTURA Y DEFINICIONES

### Artículo Científico

Es el resultado de un trabajo de investigación en el cual se aplicó, de forma rigurosa, el método científico, estudiando el efecto que tienen diferentes tratamientos sobre la respuesta medible de un sistema, como metodología para comprobar o rechazar una hipótesis claramente establecida en el trabajo. El material no deberá exceder de 20 cuartillas, incluidos cuadros y figuras.

Los artículos científicos que se envíen deberán constar de las siguientes partes:

1. Título
2. Título en inglés
3. Autor(es)
4. Institución(es) de adscripción y datos de localización del autor responsable (domicilio, teléfono, fax, e-mail)
5. Abstract, que es la traducción al inglés del Resumen, incluidas las palabras clave
6. Resumen, que incluirá al pie las palabras clave hasta un máximo de 6
7. Introducción
8. Materiales y Métodos
9. Resultados y Discusión
10. Conclusiones
11. Literatura Citada
12. Agradecimientos

### Ensayo Científico

Consiste en el análisis crítico de una recopilación actualizada de artículos científicos, informes de investigación, o materiales similares, en los que el autor aporta su opinión personal sobre un tema, estableciendo conclusiones respecto al estado actual del conocimiento sobre el mismo. En **Agraria** no se publicarán revisiones bibliográficas, ni ensayos que no aporten conocimiento o interpretaciones originales. El material no deberá exceder de 20 cuartillas, incluidos cuadros y figuras.

Partes de que consta el Ensayo:

1. Título
2. Título en inglés
3. Autor(es)
4. Institución(es) de adscripción y datos de localización del autor responsable (domicilio, teléfono, fax, e-mail)
5. Abstract; es la versión al inglés del Resumen, incluye las Key words
6. Resumen, incluidas las palabras clave
7. Introducción
8. Desarrollo del tema, con los subtítulos que se estimen convenientes
9. Discusión, cuando proceda
10. Conclusiones
11. Literatura Citada

### Nota de Investigación

Son materiales basados en trabajos experimentales que, sin perjuicio del método y rigor científicos, presentan aspectos metodológicos innovadores o resultados que, por su carácter novedoso, el autor considera de interés publicar antes de finalizar su investigación.

En general, una Nota de Investigación contendrá los mismos capítulos que los de un Artículo, pero su extensión máxima será de 10 cuartillas.

### FORMATO

El siguiente formato es aplicable a los tres tipos de contribuciones que publica **Agraria**: Artículos, Notas y Ensayos.

**Título.** Se escribirá al inicio, debajo se colocará su traducción al inglés.

**Autores.** Los autores incluirán sus nombres completos (sin iniciales de nombres ni de apellidos), pero de común

acuerdo con ellos se definirá si aparecerán abreviados en la versión publicada. Los nombres de los autores se separarán por comas y no habrá punto al final del nombre completo del último autor. Su ubicación será centrada, inmediatamente abajo del título, sin grados académicos ni cargos laborales, con mayúsculas sólo en las letras iniciales. Al final de cada nombre se colocará índices numéricos progresivos y al pie de la primera página se indicará, para cada índice, el nombre de la institución y el domicilio oficial, incluyendo código postal, número de fax y correo electrónico. Si todos lo autores trabajan en la misma institución y dependencia, un sólo índice (en cada nombre) será suficiente. En cualquier caso deberá identificarse al autor responsable de la publicación, o al que preferentemente se deberá enviar la correspondencia.

Los autores incluirán sus nombres completos (sin iniciales de nombres ni de apellidos), pero de común acuerdo con ellos se definirá si aparecerán abreviados en la versión publicada. Los nombres de los autores se separarán por comas y no habrá punto al final del nombre completo del último autor. Su ubicación será centrada, inmediatamente abajo del título, sin grados académicos ni cargos laborales, con mayúsculas sólo en las letras iniciales. Al final de cada nombre se colocará índices numéricos progresivos y debajo de los autores, pasando un espacio, se indicará, para cada índice, el nombre de la institución y el domicilio oficial, incluyendo código postal, número de fax y correo electrónico. Si todos lo autores trabajan en la misma institución y dependencia, un sólo índice (en cada nombre) será suficiente. En cualquier caso deberá identificarse al autor responsable de la publicación, o al que preferentemente se deberá enviar la correspondencia.

**Resumen.** Sintetiza, en un máximo de 300 palabras, los aspectos más relevantes del trabajo; su justificación, importancia, el método experimental (si procede) y las conclusiones más relevantes.

**Palabras clave.** No deben incluirse los mismos términos contenidos en el título. Se escriben en renglón aparte, después del Resumen. Ejemplo: **Palabras clave:** *Lycopersicon sculentum*, regulación del crecimiento, parasitismo, azúcar.

**Abstract y Key words.** La misma norma que para el Resumen.

**Introducción.** Expresa la motivación, la importancia y los objetivos del trabajo que llevan implícitos las hipótesis del mismo, además de los aspectos más relevantes del tema tratados por otros autores, e identificados en la literatura citada. La introducción no excederá de 80 líneas, ni contendrá ilustraciones.

**Materiales y Métodos.** Describe las características relevantes de los materiales usados en el estudio y los procedimientos experimentales empleados, dando particular importancia a la descripción del método experimental utilizado para lograr los objetivos planteados, en plena concordancia con la(s) hipótesis.

**Resultados y Discusión.** Incluye los resultados de la investigación, presentados en forma de texto, cuadros, y figuras, sin duplicar en unos la información presentada en los otros. Los resultados incluirán datos que puedan ser fácilmente calculados por el lector. En la discusión se resaltarán los principios más importantes y las relaciones causa-efecto derivadas del análisis de los resultados.

Además se deberá explicar, en función de las observaciones hechas, las causas posibles de lo observado. Los resultados obtenidos se compararán con los de otros investigadores y se señalarán coincidencias y las divergencias

**Conclusiones.** Primero se presentarán las conclusiones correspondientes a los objetivos planteados. En seguida se pueden incluir otras conclusiones relevantes y recomendaciones que emanen del trabajo realizado.

**Literatura Citada.** Solamente se citarán aquellos materiales que sean relevantes para el artículo enviado, evitando la excesiva redundancia en las citas. Para la forma de citar correctamente las diversas fuentes de literatura ver el apartado Citas en el Texto.

**Agradecimientos.** De haberlos podrán incluirse después de las conclusiones y antes de la literatura citada.

## **Formato de los encabezados**

### **Encabezado de primer orden**

Es el título del artículo, nota, o ensayo y se escribe sin ningún signo de puntuación al final del mismo.

### **Encabezados de segundo orden**

Son las partes principales del material; Resumen, Abstract, Introducción, Materiales y Métodos, etc., y no llevan ningún signo de puntuación al final; el texto correspondiente se escribe a punto y aparte.

### **Encabezados de tercer orden**

Son subordinados de los anteriores, no llevan signo alguno de puntuación al final; y su texto se escribe a punto y aparte

**Encabezados de cuarto orden.** Subordinados de los anteriores, el texto que les corresponde se escribe después de punto y seguido.

Para ejemplificar lo anterior se pueden ver los formatos.

## **TEXTOS**

Los textos, con todos sus anexos, deben enviarse empaquetados (nosotros preferimos WinZip), sin contraseñas de seguridad, por correo electrónico, escritos en un procesador de textos de uso común (preferimos Word), en formato tamaño carta (21.57 x 27.94 cm), sin sangría, y a doble espacio, con márgenes de 2.5 cm por lado. Agradeceremos evitar nombres de archivo excesivamente largos o con espacios en blanco. Los textos se redactarán en un tipo formal conocido ttf (True Type Font) tales como Arial, Times New Roman o similares, de 12 puntos. Las notas se escribirán en 9 puntos.

Todos los renglones, incluidos los encabezados, se iniciarán, invariablemente, a partir del margen izquierdo, sin sangría.

Todos los encabezados, independientemente de su orden, se escribirán en altas y bajas, y negrillas.

Los párrafos se escribirán sin pasar renglón entre ellos; para separarlos, a fin de hacer el texto fácil de leer y corregir, se utilizará el formato automático de párrafo del procesador, para darles un espaciado posterior de 6 puntos.

Las unidades que se empleen serán las del Sistema Internacional de Unidades (<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/unidades/unidades/unidades.htm>)

Las páginas, al igual que los cuadros y las figuras, se numerarán progresivamente con números arábigos.

**Cuadros y Figuras**

Los cuadros y las figuras contendrán sólo la información esencial y en ningún caso repetirán los datos que se presenten en el texto, o en otra forma. Cuadros y figuras deben ser claros, simples, concisos e ilustrativos.

Los cuadros no excederán, en ningún caso, los márgenes de impresión arriba mencionados y deberán presentarse en el cuerpo del texto, con el formato correspondiente, con las columnas separadas por tabulaciones, sin espacios a mano, y en la posición en que se espera que aparezcan, con el número de orden correspondiente.

En los cuadros (ver ejemplo) se empleará sólo el número de cifras significativas necesarias para destacar el punto que se desee.

Los cuadros se realizarán en formato básico con tres líneas horizontales continuas: al inicio del cuadro, al inicio del cuerpo del cuadro (no en el encabezamiento) y al final. El campo y el encabezamiento de las columnas se pueden dividir a conveniencia del autor. No se deben añadir líneas verticales. Los encabezamientos, de columnas y líneas, se escribirán con minúsculas, excepto la primera letra de la oración. Las unidades se colocan debajo de la segunda línea horizontal, como en el ejemplo que se proporciona.

**Cuadro 1.** Ganancia de peso por becerros, hectárea y carga animal en zacate buffel, pastoreado a tres asignaciones de forraje

Variables	Asignación	CV	
	(%)	(%)	
	<b>5</b>	<b>8</b>	<b>11</b>
Ganancia de peso por animal (g d <sup>-1</sup> )	178.4 a	169.9 a	177.6 a 31.2
Carga animal † (borregos ha <sup>-1</sup> 84 d <sup>-1</sup> )	151.7 a	127.8 b	125.9 b 5.3
Ganancia de peso ha <sup>-1</sup> (kg 84 d <sup>-1</sup> )	542.4 a	363.4 b	327.0 b 5.3

Medias con distinta letra en una hilera son estadísticamente diferentes (Tukey, p<sup>d</sup>>0.05).

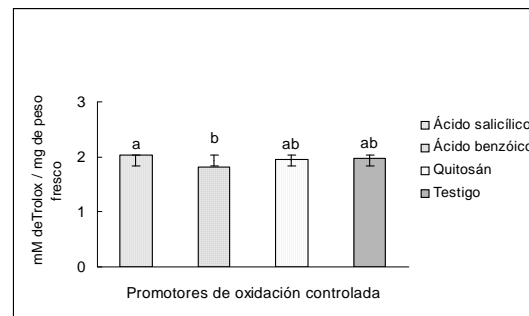
† Se calculó incluyendo el efecto de asignación de forraje, en la pradera y en el animal, con borregos criollos en crecimiento.

Las figuras tampoco excederán, en ningún caso, los márgenes de impresión establecidos. La posición que deba ocupar cada figura, deberá estar indicada en el texto con negrillas, en renglón aparte, con el número correspondiente.

Cada figura se enviará en archivo por separado, en formato tif (compresión LZW), o jpg, con el tamaño

exacto en que se pretende que aparezca en la publicación, en una resolución no inferior a 150 pxeles por pulgada, con el número que le corresponda (p. ej: fig01.jpg).

Los puntos experimentales deben marcarse visiblemente. Para dividir los ejes se deben escoger intervalos constantes para cada uno ver ejemplo. Los mosaicos fotográficos deben entregarse montados en un solo archivo gráfico (tif, o jpg), totalmente terminados. El aumento de las microfotografías debe indicarse en la leyenda.



**Figura 1.** Efecto de promotores de oxidación controlada sobre la capacidad antioxidante equivalente a Trolox (CAET) en extractos de acerla cv. Fordhock. Letras iguales significan igualdad de acuerdo a la prueba de Tukey a una P<0.05.

En archivo por separado se enviará un listado de las figuras incluidas en el material enviado, con el número de orden y el pie de grabado correspondientes (p. ej.: listafigs.doc)

Las figuras pueden ser fotos a color o en tonos de gris -según sea su original-, gráficas (de preferencia a color), ilustraciones, dibujos, o grabados (de preferencia a color).

Los cuadros deberán redactarse en el mismo procesador de textos y formato señalado arriba.

Las ecuaciones, si las hubiere, se insertarán en el texto con un Editor de ecuaciones compatible con su procesador.

**Notas de pie de página**

Sólo se podrán utilizar, cuando sean absolutamente indispensables, para identificar información adicional y se numerarán progresivamente en el texto. Los asteriscos se reservarán para indicar significación a 5% (\*) y 1% (\*\*), respectivamente. En el pie de grabado de cuadro- se incluirán las notas o llamadas que sean pertinentes, y serán señaladas con números arábigos.



## CITAS BIBLIOGRAFICAS

Las citas bibliográficas en las que se apoyen los materiales deberán de ser literatura reciente, relevante y sólo las exclusivamente necesarias para sustentar los planteamientos hechos.

Las citas en el texto se harán de acuerdo con los siguientes lineamientos.

1. Se anotará el apellido principal de los autores y el año, cuando se trate de uno o dos autores, y el apellido principal del primer autor seguido de la expresión *et al* y el año cuando se trate de tres o más autores;

2. Las citas, cuando sean más de una, se colocarán en orden cronológico atendiendo a lo siguiente:

- Cuando el nombre del o los autores va en el contexto se colocará el apellido principal seguido del año entre paréntesis, ejemplo: González-Preciado (2002) observó que..., Robledo-Torres

(1998) y Hernández-Dávila (2000) encontraron gran diferencia.

- Cuando la cita se agrega al final de la oración los nombres de los autores, y el año, se colocarán entre paréntesis, separados por una coma, ejemplo: al final de la colecta de frutos (Robledo-Torres, 1998) o (Robledo-Torres, 1998; Hernández-Dávila, 2000) o (Mosqueira *et al.*, 1976);

- Cuando se citan más de una publicación del mismo autor, de un mismo año se añade a estos, para distinguirlos, las letras a, b, c, etc., ejemplo: (Turrati-Méndez, 1988a), (Turrati-Méndez, 1988b);

Las comunicaciones personales deberán ser recientes y se citarán sólo en el texto, ejemplo: (Dr. E. Juvenal-Enriquez., técnico asesor independiente, 2003, comunicación personal);

Para construir la lista de citas bibliográficas, en el apartado de Literatura Citada se seguirán las normas que se ilustran, con ejemplos, a continuación. Artículos en revistas seriadas, ejemplo:

1. López-Tejeda, R., V. Camacho-Rodríguez y M.A. Gutiérrez-Coronado, 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. *Terra* 16:43-48.

2. Artículos en una publicación colectiva, no periódica, con o sin editor, ejemplo a; con editor

- Turrent F., A. 1984. Los agrosistemas del trópico. pp. 315-328. In: E. Hernández X. (Ed.). Los sistemas agrícolas de México, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México. ejemplo b: sin editor

- Cortés F., J. I. 1984. El manejo de los frutales en zonas frías. pp. 181-192. In: La fruta y su perspectiva en México. CONAFRUT. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México, D.F.

1. Boletines técnicos u otras publicaciones seriadas no periódicas:

- Clement, H.F. 1952. Factors affecting the growth of sugarcane. Univ. Hawaii Agr. Exp. Sta. Tech. Bull. 18.

2. Libros:

- Douglas, J.S. 1976. Advanced guide to hydroponics. Drake Publishers. New York, USA.

- Zamudio H., B. 1970. Las especies latifoliadas del Cono Sur. 2a. edición. Editorial Inca. Lima, Perú.

3. Las referencias bibliográficas tomadas de internet, se redactarán de acuerdo a lo enunciado previamente, además de incluir la dirección electrónica (URL) y fecha en que se obtuvo la referencia, por ejemplo:

- Verdugo, V., A. Rojas, A. De León, B. Zambrano, E. León, B. Rios, A. Benavides. 1999.

Estimación del índice estomático y la frecuencia estomática en cuatro variedades de ajo (*Allium sativum* L.). <http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Runway/8787/estomajo.htm> (28 mayo 2002)

Las referencias a tesis pueden incluirse como notas de pie de página, aunque debieran evitarse, así como las referencias a trabajos publicados en resúmenes de congresos u otros eventos científicos.

La lista de citas se confeccionará en orden alfabético, y sólo se incluirán en ella los materiales citados en el texto.

En caso de dudas respecto a la forma de citar alguna referencia se puede tomar como ejemplo lo dispuesto al respecto en el manual del editor de ASA-CSSA-SSA <http://www.asa-cssa-sssa.org/edithandbook/>.

En lo referente a citas de recursos electrónicos se puede complementar el Manual anteriormente mencionado con las normas de Columbia Guide to Online Style [http://www.columbia.edu/cu/cup/cgos/idx\\_basic.html](http://www.columbia.edu/cu/cup/cgos/idx_basic.html)









*Agraria*

VOLUMEN 9, NÚMERO 3

SEPTIEMBRE – DICIEMBRE, 2012

Esta edición consta de 500 ejemplares

Impreso en Digital Color, en el mes de septiembre de 2012,  
en Saltillo, Coah., México.

Arteaga Norte 225 Zona Centro, 25000, Saltillo, Coah., México

Tel.: 4-81-58-42 y 4-43-97-31



## Contenido

Volumen 9

Septiembre - Diciembre, 2012

Número 3

Artículos	Págs.
Respuesta de Cuatro Genotipos de Maíz Tropical al Achaparramiento Ocasionado por <i>Spiroplasma kunkelli</i> ✱ Response of Four Genotypes of Tropical Corn to the Stunt Caused for <i>Spiroplasma kunkelli</i> Reynol <b>Fernández-Aguilar</b> , Arnoldo <b>Oyervides-García</b> , Alfonso <b>López-Benítez</b> , José <b>Espinoza-Velázquez</b> , Sergio <b>Rodríguez-Herrera</b>	81
Estimación de Aptitud Combinatoria General y Aptitud Combinatoria Específica en Siete Líneas de Tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) ✱ Estimation of General Combining Ability and Specific Combining Ability in Seven Tomato ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) Lines Alfonso <b>López-Benítez</b> , Fernando <b>Borrego-Escalante</b> , Víctor M. <b>Zamora-Villa</b> y Luis <b>Guerra-Zitlalapa</b>	87
Thysanoptera (Trips) del Área Protegida de Cuatro Ciénegas, Coahuila, México ✱ Thysanoptera (Thrips) of Protected Area of Cuatro Cienegas, Coahuila, Mexico José Antonio <b>Zúñiga-Sámamo</b> , Roberto Miguel <b>Johansen-Naime</b> , Oswaldo <b>García-Martínez</b> , Axel Pedro <b>Retana-Salazar</b> , Víctor M. <b>Sánchez-Valdez</b>	95
Factores que Afectan la Producción de Leche de Vacas Holstein Inducidas Hormonalmente a la Lactancia ✱ Factors Affecting Milk Yield of Holstein Cows Hormonally Induced to Lactation Antonio <b>Chirino-Enoel</b> , Francisco Gerardo <b>Véliz-Deras</b> , Cesar Alberto <b>Meza-Herrera</b> , Oscar <b>Ángel-García</b> , Edgar <b>Sepúlveda-González</b> , Miguel <b>Mellado-Bosque</b>	103
Una Implementación de Orden Cuadrático del Algoritmo de Innovaciones en Series de Tiempo ✱ An Implementation of Quadratic Order of the Algorithm of Innovations in Series of Time Nadia Yadhira <b>Martínez-Martínez</b>	113