

Volumen 3, Número 8 – Julio – Septiembre - 2016

ISSN 2410-356X

Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias

ECORFAN®

Indización



ECORFAN-Bolivia

- Latindex
- Research Gate
- Hispana
- Universia
- Google Scholar
- REBID
- Mendeley

ECORFAN-Bolivia

Directorio

Principal

RAMOS-ESCAMILLA, María.PhD

Director Regional

IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. BsC

Director de la Revista

PERALTA-CASTRO, Enrique. MsC

Relaciones Institucionales

TREJO-RAMOS, Iván. BsC

Edición de Logística

CLAUDIO-MÉNDEZ, Paul. BsC

Diseñador de Edición

LEYVA-CASTRO, Iván. BsC

Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias, Volumen 3, Número 8, de Julio a Septiembre 2016, es una revista editada trimestralmente por ECORFAN-Bolivia. Loa 1179, Cd. Sucre. Chuquisaca, Bolivia.WEB: www.ecorfan.org, revista@ecorfan.org. Editora en Jefe: RAMOS-ESCAMILLA, María, Co-Editor: IGLESIAS-SUAREZ, Fernando. ISSN-2410-356X. Responsables de la última actualización de éste número de la Unidad de Informática ECORFAN. ESCAMILLA-BOUCHÁN, Imelda, LUNA-SOTO, Vladimir, actualizado al 30 de Septiembre 2016.

Las opiniones expresadas por los autores no reflejan necesariamente las opiniones del editor de la publicación.

Queda terminantemente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin permiso del Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Consejo Editorial

YAN-TSAI, Jeng. PhD
Tamkang University, Taiwan

MIRANDA-TORRADO, Fernando. PhD
Universidad de Santiago de Compostela, Spain

PALACIO, Juan. PhD
University of St. Gallen, Switzerland

GUZMÁN-SALA, Andrés. PhD
Université de Perpignan, France

VARGAS-HERNÁNDEZ, José. PhD
Keele University, England

HIRA, Anil. PhD
SimonFraserUniversity, Canada

VILLASANTE, Sebastian. PhD
Royal Swedish Academy of Sciences, Sweden

PACHECO-BONROSTRO, Joaquín. PhD
Universidad de Burgos, Spain

Consejo Arbitral

GGO. PhD

Universidad Autónoma Metropolitana, México

MCDM. PhD

Universidad Autónoma Metropolitana, México

KCA. BsC

Universidad Panamericana, México

UNAB. MsC

Universidad Politécnica de Puebla, México

LBMT. MsC

Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco, México

FDS. MsC

Corporativo Universitario México, México

DLLHMA. PhD

Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla, México

CRCC. PhD

Universidad Autónoma de Tlaxcala, México

Presentación

ECORFAN, es una revista de investigación que publica artículos en el área de: Ciencias Naturales y Agropecuarias

En Pro de la Investigación, Enseñando, y Entrenando los recursos humanos comprometidos con la Ciencia. El contenido de los artículos y opiniones que aparecen en cada número son de los autores y no necesariamente la opinión del Editor en Jefe.

Como primer artículo esta *Avance en la formación de líneas androestériles y mantenedoras de la esterilidad en sorgo (Sorghum bicolor L. Moench)* por JIMÉNEZ-CORDERO, Ángel Andrés, SÁNCHEZ-BELLO, Verónica, CARRANZA-CHITICA, Jesús Israel y PADILLA-GARCÍA, José Miguel con adscripción en la Universidad de Guadalajara. Como siguiente artículo está *Calidad de grano en variedades sintéticas tropicales de maíz* por ANDRÉS-MEZA, Pablo, VÁZQUEZ-CARRILLO María Gricelda, SIERRA-MACÍAS Mauro y ESPINOSA-CALDERÓN, Alejandro. Posteriormente tenemos *Calidad industrial de mezclas de variedades de trigo harinero contrastantes en fuerza y extensibilidad de la masa* por MORALES, Víctor, MARTÍNEZ, Eliel, ESPITIA, Eduardo y ROSAS, María del Rosario. Posteriormente tenemos *Degradación microbiana de gasolina en suelos agrícolas de Pueblo Nuevo, Guanajuato* por ÁLVAREZ-MEJÍA, César, AGUIRRE-GÓMEZ, Eduardo, NAVARRO-GARRIDO, Abigail y LÓPEZ-RAMÍREZ, Varinia con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Abasolo y el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato respectivamente. En el siguiente artículo está *Evaluación de ácidos como catalizadores en la hidrólisis de inulina de Agave Tequilana Weber var. Azul* por GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio, BERNAL-ARROYO, Beatriz, GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, Claudia Ernestina y SEGOVIANO-GARFÍAS, Nezahualcoyolt con adscripción en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI) y la Universidad de Guanajuato respectivamente. En penúltimo lugar está *Fortificación de harina de maíz con nanopartículas de fierro sintetizadas con extracto de moringa (Moringa oleífera)* por CARRILLO, María, TREJO, Jorge, REYES, Abigail y ZAVALA, Diana. En el siguiente artículo está *Evaluación de composta, vermicomposta y excreta de bovino en la producción de maíz (Zea mays l.)* por DE LUNA-VEGA, Alicia, GARCÍA-SAHAGÚN, María Luisa, RODRÍGUEZ-GUZMÁN, Eduardo y PIMIENTA-BARRIOS, Enrique con adscripción en la Universidad de Guadalajara. Por último está *Evaluación de un biofermento elaborado a partir de extractos naturales en cultivo de Brócoli (Brassica oleracea itálica)* por ZUÑIGA, Walter, MELESIO, Jaime, CORTÉS, Víctor y RAYA, Luis.

Contenido

Artículo	Pág
Avance en la formación de líneas androestériles y mantenedoras de la esterilidad en sorgo (<i>Sorghum bicolor</i> L. Moench) JIMÉNEZ-CORDERO, Ángel Andrés, SÁNCHEZ-BELLO, Verónica, CARRANZA-CHITICA, Jesús Israel y PADILLA-GARCÍA, José Miguel	1-8
Calidad de grano en variedades sintéticas tropicales de maíz ANDRÉS-MEZA, Pablo, VÁZQUEZ-CARRILLO María Gricelda, SIERRA-MACÍAS Mauro y ESPINOSA-CALDERÓN, Alejandro	9-16
Calidad industrial de mezclas de variedades de trigo harinero contrastantes en fuerza y extensibilidad de la masa MORALES, Víctor, MARTÍNEZ, Eliel, ESPITIA, Eduardo y ROSAS, María del Rosario Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez	17-23
Degradación microbiana de gasolina en suelos agrícolas de Pueblo Nuevo, Guanajuato ÁLVAREZ-MEJÍA, César, AGUIRRE-GÓMEZ, Eduardo, NAVARRO-GARRIDO, Abigail y LÓPEZ-RAMÍREZ, Varinia	24-32
Evaluación de ácidos como catalizadores en la hidrólisis de inulina de <i>Agave Tequilana</i> Weber var. Azul GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio, BERNAL-ARROYO, Beatriz, GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, Claudia Ernestina y SEGOVIANO-GARFÍAS, Nezahualcoyolt	33-38
Fortificación de harina de maíz con nanopartículas de fierro sintetizadas con extracto de moringa (<i>Moringa oleifera</i>) CARRILLO, María, TREJO, Jorge, REYES, Abigail y ZAVALA, Diana	39-45
Evaluación de composta, vermicomposta y excreta de bovino en la producción de maíz (<i>Zea mays</i> L.) DE LUNA-VEGA, Alicia, GARCÍA-SAHAGÚN, María Luisa, RODRÍGUEZ-GUZMÁN, Eduardo y PIMIENTA-BARRIOS, Enrique	46-52
Evaluación de un biofermento elaborado a partir de extractos naturales en cultivo de Brócoli (<i>Brassica oleracea itálica</i>) ZUÑIGA, Walter, MELESIO, Jaime, CORTÉS, Víctor y RAYA, Luis	53-56

Instrucciones para Autores

Formato de Originalidad

Formato de Autorización

Avance en la formación de líneas androestériles y mantenedoras de la esterilidad en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)

JIMÉNEZ-CORDERO, Ángel Andrés*†, SÁNCHEZ-BELLO, Verónica, CARRANZA-CHITICA, Jesús Israel y PADILLA-GARCÍA, José Miguel

Universidad de Guadalajara

Recibido Julio 15, 2016; Aceptado Septiembre 24, 2016

Resumen

Los objetivos fueron formar progenitores androestériles para producción de híbridos, y comparar dos métodos para elección de progenitores B. Experimento uno: en 2008-2015 se obtuvieron 52 pares A/B en retrocruza 2. Después de tres ciclos de cruza AxB hasta 2015, el germoplasma de B transferido es 87.5%. Se harán tres retrocruzas adicionales para alcanzar el 98% del genotipo del progenitor B en la estéril A. En RC₅, las nuevas líneas A se probarán para aptitud combinatoria y determinar su valor como progenitoras de híbridos. Experimento dos: se evaluaron 33 líneas B. Se identificaron cinco con rendimiento y atributos agronómicos superiores o similares a las líneas originales. Si la evaluación de líneas B *per se* proporciona una estimación de la aptitud combinatoria general, solo líneas B experimentales superiores serán esterilizadas, y después se evaluarán para confirmar su aptitud combinatoria.

Aptitud combinatoria, progenitor femenino

Citación: JIMÉNEZ-CORDERO, Ángel Andrés, SÁNCHEZ-BELLO, Verónica, CARRANZA-CHITICA, Jesús Israel y PADILLA-GARCÍA, José Miguel. Avance en la formación de líneas androestériles y mantenedoras de la esterilidad en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016, 3-8: 1-8.

Abstract

Objectives of this research were to develop new superior sorghum A/B lines, and the comparison of two methods for selecting B-lines to be sterilized. Two experiments were conducted. In the first one, in 2015 we obtained 52 A/B pairs in BC₂. After three AxB crossing cycles, it was transferred 87.5% of the B-germplasm into the A-sterile version. In BC₅ the new A-lines will be crossed with R-lines to recognize their combining ability. Experiment two consisted in evaluating 33 selected experimental B-lines in 2012. Five lines were identified as high yielders with good agronomic traits, compared to the original B lines. This group is under backcrossing process, and later it will be evaluated to confirm its good general combining ability.

Combining ability, female lines

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ajc_swlabr@hotmail.com.mx)

†Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El sorgo es el segundo cultivo más importante en superficie sembrada en México. Nuestro país ocupa el cuarto lugar mundial en producción de este grano, con el 11% (http://archive.gramene.org/species/sorghum/sorghum_maps_and_stats.html, consultado abril 2016).

La capacidad del cultivo para producir cosecha en condiciones adversas, en particular con menos humedad que la mayoría de otros cultivos de grano, hace del sorgo una importante fuente de alimento pecuario, comida, fibra y combustible en el agroecosistema global (<http://genome.jgi-psf.org/Sorbi1/Sorbi1.home.html>, consultado abril 2016).

La preferencia por el grano de sorgo en alimentos, proviene de no contener gluten, y es un excelente sustituto del trigo, centeno y cebada (Maunder, 2006). En el período 2005-2015 se sembraron en México en promedio 1'700,000 hectáreas anuales, la producción promedio ascendió a 6'300,000 toneladas y el rendimiento promedio fue de 3.9 toneladas ha-1. Este grano es un producto agrícola de consumo directo en la actividad pecuaria.

La demanda de este grano en dicha actividad es de 8,000 toneladas anuales; en 2015 la importación fue mínima, ya que la producción nacional fue suficiente para cubrir la demanda. El sorgo se destina a la producción de carne de aves, huevo, carne de cerdo y en alimentos balanceados (Asociación Nacional Fabricantes Alimentos para Consumo Animal, 2015). La dimensión del mercado de semilla de este cultivo asciende a 29,000 toneladas anuales. Dicho mercado se encuentra dominado por empresas de Estados Unidos; el precio de la simiente es elevado para las limitadas condiciones socioeconómicas de los productores.

Las semilleras nacionales recurren a genealogías públicas de sorgo en Estados Unidos, lo que reduce sus utilidades y propicia una presencia limitada en el mercado.

Una opción para disminuir el costo en forma aproximada en un 20 o 30% del actual, es disponer de progenitores propios para evitar o minimizar el pago de regalías.

Para obtener semilla híbrida en forma comercial, se requiere de una línea A androestéril con genotipo $rf\ rf$, msc , que se usa como hembra, y una línea restauradora de la fertilidad R con genotipo $Rf\ Rf$, Msc , que se usa como macho (Stephens et al., 1952; Stephens y Holland, 1954; Poehlman, 1965; Quinby y Schertz, 1970).

Estos genes conforman el sistema de androesterilidad génico citoplásmico, en el que está basada toda la industria de semilla híbrida de sorgo a nivel mundial. La planta de sorgo posee alelos nucleares recesivos $rf\ rf$ que impiden la microsporogénesis en las anteras, estas flores no forman polen pero su gineceo es funcional.

Los alelos dominantes $Rf\ Rf$ permiten que se realice la microsporogénesis en forma normal, y las plantas producen polen. Además, en los organelos del citoplasma se presenta el gene de esterilidad msc que también interfiere con la microsporogénesis y otro de fertilidad Msc que contribuye a la formación de polen (Schertz y Stephens, 1966). El primer objetivo del presente trabajo es formar progenitores androestériles para producción comercial de híbridos de sorgo competitivos; para lograrlo se usaron dos metodologías, primero la genealógica para formar líneas B, y en forma posterior el retrocruzamiento para esterilizar dichas líneas (Allard, 1967).

La segunda metodología consiste en evaluar líneas B en F5, como indicador de su posible aptitud combinatoria, para después esterilizar solo las mejores. La aptitud combinatoria general (ACG) se define como el promedio de una línea en combinaciones híbridas y la aptitud combinatoria específica (ACE) como la desviación de una cruce del comportamiento promedio de los padres (Sprague y Tatum, 1942). Estos conceptos permiten seleccionar los progenitores con mejores caracteres (Kenga et al., 2004; Solanki et al., 2007). El segundo objetivo es comparar la eficiencia de los dos métodos de elección de progenitores B.

Tipo de Cultivar	Genes Nucleares	Genes Citoplásmicos	Fenotipo	Formación De polen
Línea a	Rf rf	Msc	Androestéril	No restaura fertilidad
Línea b	Rf rf	Msc	Androfértil	No restaura fertilidad, Solo la mantiene
Línea r	Rf rf	Msc	Androfértil	Restaura fertilidad
Híbrido	Rf rf	Msc	Androfértil	Restaura fertilidad

Tabla 1 Sistema génico citoplásmico de microsporogénesis en sorgo

Materiales y métodos

Las plantas de sorgo se clasifican de acuerdo a su composición genética para esterilidad y fertilidad nuclear y citoplásmica, como se ilustra la Tabla 1.

Experimento 1. Se formaron cinco poblaciones con el cruzamiento entre cuatro líneas B de sorgo mantenedoras de la esterilidad, cuya composición genética para el carácter androesterilidad en el núcleo es rf rf y en el citoplasma Msc. La Tabla 2 muestra las líneas B originales, su genealogía y el grupo racial o varietal al que pertenecen.

Eta 1. Formación de líneas B mejoradas.

Se utilizó el Método Genealógico para mejoramiento de plantas autógamias (Allard, 1967; Briggs y Knowles, 1967; Quinby y Schertz, 1970). La selección individual se practicó en las poblaciones indicadas en la Tabla 2 a partir de F2 en 2008 hasta F5 en 2011, con la metodología descrita en la Tabla 3. Todas las selecciones individuales fueron autofecundadas para asegurar su identidad genética.

Población	Genealogía
B102r x b101r	[(btx378xsc110-6) (btx378xsc110-9) x btx615] x (kafir x milo)
B102r x b28603	[(btx378xsc110-6) (btx378xsc110-9) x btx615] x b28603
B103b x b101r	[mr807 x (btx3197 x sc170-6-4)] x (kafir x milo)
B103b x b28603	[mr807 x (btx3197 x sc170-6-4)] x b28603
B101r x b28603	(kafir x milo) x b28603

Tabla 2 Poblaciones formadas y su genealogía. Fuente: CUCBA 2008

Ciclo	Generación	Resultado
2008 P/V	Formación poblaciones	Cinco poblaciones BxB.
2008-09 O/I	F ₁	Semilla F ₂ de cinco poblaciones BxB.
2009 P/V	F ₂	112 plantas autofecundadas de cinco poblaciones BxB.
2009-10 O/I	F ₃	Semilla F ₄ de cinco poblaciones BxB.
2010 P/V	F ₄	Semilla F ₅ de 105 líneas derivadas de las 5 poblaciones.
2011 P/V	F ₅	Incremento de semilla de 33 líneas F ₅ seleccionadas, derivadas de cinco poblaciones.
2012 P/V	Cruzas AxB	Obtención de 66 pares A/B para el proceso de retrocruzas
2014 P/V	Retrocruza 1	Obtención de 38 pares A/B en retrocruza 1
2015 P/V	Retrocruza 2	Obtención de 52 pares A/B en retrocruza 2

Tabla 3 Proceso de mejoramiento de líneas B de sorgo. Fuente: CUCBA 2008-2015

Etapa 2. Obtención de líneas A. Se utilizó el Método de Retrocruza (Pohelman, 1965; Allard, 1967; Briggs y Knowles, 1967) para transferir todo el genotipo de las líneas B seleccionadas, a líneas A que tienen el gene de esterilidad citoplásmica *msc*.

Las 26 líneas B seleccionadas en F₅ para esterilización se muestran en la Tabla 4, y forman el grupo 1. Se eligieron por su buen fenotipo: planta baja, uniformidad de tamaño y floración, tolerancia a enfermedades, tamaño de panoja grande, buena formación de grano y grano tolerante a intemperismo.

En la Tabla 4 se muestran las líneas B experimentales y su fuente A de esterilidad. En cada par A/B se hicieron tres a cuatro cruzamientos en cada año. El cruzamiento de líneas AxB se realizó en 2012, la retrocruza 1 en 2014 y la retrocruza 2 en 2015.

Donador Esterilidad	Población	Número Líneas
AC101R	BC103BxB ₂ BC101R	10
AC101R	BC103BxB ₂ 8603	13
AC101R	BC101RxB ₂ 8603	1
AC102R	BC102RxB ₂ BC101R	8
AC102R	BC103BxB ₂ BC101R	4

Tabla 4 Grupo 1 Fuentes de esterilidad y poblaciones de las líneas B sometidas a retrocruza. Fuente: CUCBA 2008-2015

Etapa 3. Esta parte del trabajo permitirá evaluar la aptitud combinatoria general y específica de las nuevas líneas A, después que se haya efectuado la retrocruza 5.

Las líneas A obtenidas mediante el procedimiento antes descrito, deben ser cruzadas con líneas R probadoras de la aptitud combinatoria general y específica (Quinby y Schertz, 1970). Los híbridos así formados se evaluarán de acuerdo a un diseño genético apropiado.

La información obtenida permitirá conocer cuales líneas A son las mejores combinadoras, mismas que pueden ser utilizadas extensivamente para buscar combinaciones híbridas con utilidad comercial.

Experimento 2. En 2012 en el campo experimental del CUCBA, con clima Aw₀ (w)(e)g y 1540 metros sobre el nivel del mar, se evaluaron en ensayo de rendimiento 33 líneas B F₅ (grupo 2), obtenidas como parte del proceso de mejoramiento que se indica en la Tabla 3.

Población	Líneas B experimentales
BC102R x B ₂ 8603	BX201, BX202, BX203
	BX219, BX221
BC102R x BC101R	BX204, BX214, BX215
	BX216, BX217
BC103B x BC101R	BX205, BX206, BX207
BC103B x B ₂ 8603	BX208, BX209, BX210
	BX211, BX212, BX213
	BX218, BX220
BC103B x BC102R	BX222, BX223, BX224
	BX224, BX225, BX226
	BX227, BX228, BX229
	BX230, BX231, BX232
	BX233
Testigos	BC101R, BC102R
	BC103B, B ₂ 8603

Tabla 5 Grupo 2 Líneas B de sorgo evaluadas en F₅. Fuente: CUCBA 2012

Las líneas evaluadas se anotan en la Tabla 5. Se usó el diseño bloques al azar y 3 repeticiones para obtener información relativa a características agronómicas y capacidad de rendimiento, como posible indicador temprano de ACG. El propósito es encontrar evidencia si la selección fenotípica practicada en el grupo 1, es tan efectiva como la selección del grupo 2 después de evaluar sus méritos. En el vivero de líneas, continuó el proceso de selección de las líneas del grupo 2, para obtener semilla de la generación F₆ de las 33 líneas B.

Resultados y discusión

Experimento 1. Grupo 1. En 2015 se obtuvieron 52 pares A/B en retrocruza 2 (RC₂), como resultado del proceso de esterilización de las líneas B. Con la cruce inicial y cada una de las posteriores retrocruzas, la proporción del progenitor donador se reduce a la mitad en cada ciclo; si el número de retrocruzas hacia el progenitor donador de esterilidad A es n, la proporción de germoplasma del donador es $(1/2)^n$ (Briggs y Knowless, 1967).

Después de los tres ciclos de cruces AxB realizadas hasta 2015, la proporción del progenitor A donador de esterilidad es $(1/2)^3 = 1/8 = 12.5\%$, mientras el germoplasma de B transferido es 87.5%.

Después de cinco retrocruzas (RC₅) será $(1/2)^6 = 1/64 = 1.6\%$, mientras la proporción del progenitor recurrente B será 98.4%. Así, las líneas A y B serán prácticamente isogénicas, solo diferirán en el gene citoplásmico ms_c de la línea A y el gene citoplásmico Ms_c de la línea B.

Al llegar a la etapa RC₅, será posible cruzar las nuevas líneas A con líneas R probadoras de la aptitud combinatoria, y determinar su valor como progenitoras de híbridos. La técnica de retrocruza permite conocer en detalle y de antemano los caracteres morfológicos y agronómicos de la variedad mejorada. El método proporciona un resultado predecible y repetible; permite transferir características de un progenitor B a otro progenitor A sin modificar la integridad de B (Briggs y Knowless, 1967). También hace posible la recuperación de todos los caracteres favorables del progenitor recurrente (B), e incluye tanto los caracteres de herencia debida a pocos genes como los de herencia cuantitativa, excepto si existen genes ligados en forma estrecha.

Se obtienen mejores resultados cuando el carácter por transferir se identifica con facilidad en el fenotipo de los segregantes (Allard, 1967; Quinby y Schertz, 1970), como es el caso de la esterilidad masculina en este trabajo. En la presente investigación, la selección de los progenitores recurrentes, las líneas B, se realizó durante la etapa 1, por lo que en la etapa 2 de retrocruzas se cuida en forma principal la presencia de la esterilidad masculina y la ganancia en similitud fenotípica entre las líneas A y B. La proporción de homocigosis se obtiene con la fórmula $(2^m-1)/2^m$, donde m es el número de retrocruzas (Briggs y Knowles, 1967). Después de las cinco retrocruzas planeadas para las líneas B, la homocigosis de las líneas A será $(2^5-1)/2^5 = 31/32 = 96.9\%$.

Después de cinco retrocruzas, los loci homocigóticos de las líneas A serán los mismos que los del progenitor recurrente B; esta homocigosis difiere de la que se logra con el método genealógico, que es una combinación de genes de ambos progenitores. La técnica de retrocruzas es un mecanismo poderoso para lograr homocigosis, y cualquier población obtenida en esta forma convergirá rápido hacia el genotipo del progenitor recurrente (Allard, 1967), que es lo que se espera al final del presente proyecto.

Experimento 2. La mayor parte del fitomejoramiento que se realiza en sorgo en el continente americano, está orientado a la obtención de progenitores de híbridos. Durante el proceso se atiende el rendimiento, resistencia a enfermedades, insectos, acame, y en forma primordial mejor calidad de grano o tallo y adaptabilidad como la mejor respuesta al ambiente (www.itis.usda.gov, consultado mayo 2016). Pero el factor que siempre está presente es la capacidad de combinación de la línea para formar híbridos competitivos.

La mejor forma de reconocer este carácter es a través de la evaluación de combinaciones híbridas. Es frecuente que la evaluación de líneas R en cruzamientos se efectúe a partir de F₅, aunque las líneas no sean totalmente homocigóticas. A las líneas B debe insertárseles el gene citoplásmico ms_c para convertirlas en líneas A androestériles, casi siempre a partir de la generación F₄ (Quinby y Schertz, 1970). La evaluación *per se* de las líneas B es posible que proporcione orientación sobre su potencial para formar híbridos superiores (Jiménez-Cordero y Casas-Salas, 1983), y es la hipótesis con la que se realizó esta parte del proyecto. Solo se esterilizarán las mejores líneas derivadas de su evaluación. El criterio considerado es rendimiento de grano y buenas características agronómicas. La Tabla 6 contiene el resultado los análisis de varianza del ensayo de líneas B (Grupo 2).

FV	REN	LPA	EXC	DF
Repeticiones	5.5*	51.6*	29.4ns	10.3n
Genotipos	2.8*	10.4n	90.8*	12.8n
Error	0.59	10.7	18.6	10.6
FV	ACA		P200g	ALP
Repeticiones	0.09n		0.86*	417*
Genotipos	1.8*		0.29ns	372*
Error	0.85		0.25	83.0
REN=rendimiento de grano; LPA=longitud panoja; EXC=excursión; DF=días a flor; ACA=acame; P200g=peso 200 granos. ALP=altura planta; * significativo p≤0.05; n=no significativo.				

Tabla 6 Cuadrados medios en siete variables de 33 líneas B experimentales (Grupo 2) y cuatro líneas B originales. Fuente: CUCBA 2012

El resultado de la evaluación de las líneas B del grupo 2 (Tabla 7), indica que el genotipo BXP217 tiene mayor capacidad de producción (4.17 ton ha⁻¹) que las líneas progenitoras (3.37 a 3.96 ton ha⁻¹) y que el resto del material evaluado. Las líneas experimentales BXP205, BXP216, BXP219, BXP226 y BXP227 mostraron una capacidad de producción (3.94 a 4.17 ton ha⁻¹), que en forma estadística es similar a las líneas originales.

Caracteres agronómicos importantes como el tamaño de planta de las líneas experimentales sobresalientes, se encuentra en un rango de 117 a 141 cm, que es adecuado para producción comercial, son estadísticamente iguales a las líneas B originales (112 a 141 cm), excepto BXP219 con 108 cm. La excursión o tamaño del pedúnculo es adecuado en las líneas experimentales (11 a 27 cm) para producción de híbridos, comparadas con las progenitoras (17 a 23 cm).

La tolerancia al acame, el peso de 200 granos y la madurez estimada como días a floración, son similares en forma estadística entre el material nuevo y el original. El comportamiento de las líneas se vio afectado en alguna medida al presentarse sequía al final de la floración, durante el llenado de grano.

La deficiencia de humedad post-antesis puede reducir en forma significativa el rendimiento debido a la disminución del tamaño del grano, a una muerte prematura de la planta y al aumentar la susceptibilidad a enfermedades (Borrell et al., 2003). La estimación de ACG en sorgo, contribuye a mejorar el vigor de plántulas (Yu y Tuinstra, 2001), rendimiento y días a floración (Estrada y Ángeles, 1975). El híbrido de sorgo explota la heterosis de la cruce de una línea A androestéril con una línea R fértil restauradora de la fertilidad masculina (Orozco y Mendoza, 1983). Para alcanzar la más alta expresión heterótica, se requiere que ambos progenitores posean una alta aptitud combinatoria.

Existe evidencia que sugiere que el comportamiento *per se* de las líneas puede ser un buen estimador de la ACG (Jiménez-Cordero y Casas-Salas, 1983; Mendoza, 1988), ya que se ha identificado correlación significativa entre ambos (Yu y Tuinstra, 2001).

León-Velasco *et al.*, (2009), encontraron coeficientes de regresión con una relación positiva entre el rendimiento *per se* y su respectiva aptitud combinatoria general para las líneas B; estos investigadores concluyeron que el rendimiento *per se* de las dos generaciones de líneas B estudiadas, es un estimador aceptable de su capacidad de combinación.

Aunque serán necesarias evaluaciones posteriores de las líneas B del programa de mejoramiento de sorgo del CUCBA, con base en los resultados de la evaluación que aquí se informa, puede anticiparse que se esterilizarán solo las líneas del grupo superior en rendimiento que se espera presenten un buen nivel de aptitud combinatoria.

Conclusiones

En el experimento 1, se obtuvieron 52 pares A/B en retrocruza 2. Se transfirió el 87.5% del genotipo de las líneas B a sus versiones estériles A. Después de retrocruza 5, estas líneas serán evaluadas para aptitud combinatoria a través del cruzamiento con machos probadores.

En el experimento 2, se evaluaron 33 líneas B en F₅ con buenas características agronómicas.

La evaluación de este segundo grupo de líneas B, indicó la existencia de un material superior en rendimiento a las líneas originales, y otras cinco líneas experimentales con capacidad de producción similar a las progenitoras, además de reunir características agronómicas adecuadas para producción comercial.

Solo se esterilizarán las líneas con mejor capacidad de producción y buenos atributos agronómicos.

Líneas	ALTP cm	LPAN cm	EXC cm	REND ton ha ⁻¹	ACA 1-10	DF días	P200G g
BXP201	109a	21.8	13.4bcd	3.40abcd	9.0ab	82	3.2
BXP202	127abede	22.6	15.8abcd	2.64bcd	6.7ab	82	3.5
BXP203	125abede	24.1	26.0abc	2.11cd	7.3ab	79	2.9
BXP204	117bcde	23.7	17.1abcd	1.52d	7.7ab	81	3.6
BXP205	117bcde	19.2	14.2abcd	4.17abc	8.7ab	84	3.5
BXP206	124abede	20.7	14.0abcd	1.81d	8.3ab	82	3.6
BXP207	120abede	19.3	18.3abcd	2.60bcd	8.3ab	80	3.5
BXP208	124abede	18.3	22.0abc	2.75abcd	8.3ab	78	3.8
BXP209	126abede	19.0	27.0ab	2.90abcd	8.7ab	81	4.0
BXP210	112e	22.4	11.8cd	2.91abcd	8.5ab	82	3.4
BXP211	146a	19.2	10.8d	1.28d	9.3a	80	3.7
BXP212	138abcd	22.0	14.7abcd	2.84abcd	9.0ab	80	2.9
BXP213	132abcd	21.9	7.0d	2.33bcd	8.7ab	78	3.6
BXP214	135abcd	22.2	17.4abcd	2.55bcd	6.7ab	81	3.4
BXP215	127abede	19.6	2.0d	2.52bcd	8.7ab	84	2.8
BXP216	104e	18.8	18.7abcd	3.78abc	7.7ab	81	3.8
BXP217	131abede	17.6	6.6d	4.98a	8.3ab	86	3.8
BXP218	111e	17.8	17.0abcd	2.16bcd	7.3ab	84	4.0
BXP219	108e	21.1	11.1cd	3.94abc	7.3ab	76	3.6
TUKEY 0.05	27.7	ns	13.13	2.33	2.80	ns	ns
BXP220	112de	21.6	15.0abcd	2.31bcd	8.0ab	80	3.7
BXP221	134abcd	17.4	23.2abc	1.74d	9.0ab	78	3.7
BXP222	126abede	21.3	16.6abcd	2.21bcd	8.3ab	80	4.1
BXP223	135abcd	19.3	21.6abcd	3.38abcd	7.3ab	81	3.7
BXP224	128abede	19.9	19.8abcd	3.05abcd	8.0ab	80	3.4
BXP225	137abcd	20.9	18.6abcd	3.39abcd	8.7ab	82	3.7
BXP226	129abede	17.8	12.6cd	4.77ab	7.3ab	78	3.7
BXP227	141abc	20.8	27.3a	4.48abc	8.0ab	80	3.6
BXP228	124abede	20.1	20.4abcd	1.87cd	7.7ab	80	3.5
BXP229	134abcd	19.4	20.3abcd	3.92abc	7.3ab	84	3.2
BXP230	119abede	20.0	21.9abcd	3.43abcd	7.7ab	81	4.1
BXP231	119abede	17.8	18.0abcd	3.59abcd	7.3ab	79	3.8
BXP232	142ab	21.6	20.0acd	1.80d	8.7ab	79	3.2
BXP233	131abede	22.4	21.9abcd	1.52d	6.3b	77	3.8
BC101R	112e	23.0	15.1abcd	3.80abc	7.0ab	81	3.2
BC102R	111e	16.9	18.4abc	3.96abc	8.7ab	80	3.5
BC103B	109e	20.1	13.1cd	3.37abcd	9.0ab	79	3.3
B2 8603	141abc	20.2	19.4abcd	3.74abc	8.7b	79	3.4
TUKEY 0.05	27.7	ns	13.13	2.33	2.80	ns	ns

Tabla 7 Rendimiento y características agronómicas de líneas B de sorgo

ALTP=altura planta; LPAN=largo panoja; EXC=excursión; REND=rendimiento; ACA=acame; DF=días a flor; P200G=peso 200 granos

Referencias

Asociación nacional de fabricantes de alimentos para consumo animal, SC. Memoria Económica. México. 2015. 70 p.

Borrel, A., D. Jordan and G. McLean. "Genetic variation for post-anthesis drought resistant traits in grain sorghum." Proc. 11th Aust. Agron. Conf. 2003. pp 1-15.

Briggs, F.N. and P.F. Knowles. "Introduction to plant breeding." Reinhold Publishing Corp. Davis, CA. 1967. pp. 147-173.

Estrada G., A., y H. H. Ángeles A. “Estimación de la aptitud combinatoria de líneas A y R de *Sorghum bicolor* (L.) Moench.” 1975. *Agrociencia* 21: 77-90.

Integrated Taxonomic Information System (ITIS). Retrieved May 18, 2006, from the Integrated Taxonomic Information System on-line database, www.itis.usda.gov. 2006.

Jiménez-Cordero, A., and J. Casas-Salas. “Relationship between general combining ability, yield and yield components of B-lines.” *Sorghum Newsletter*. 1983. 26:94. University of Arizona.

Kenga, R., S. O. Alabi, and S. C. Gupta. “Combining ability studies in tropical sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench).” *Field Crops Res.* 2004. 88: 251-260.

León-Velasco, H., L. E. Mendoza-Onofre, F. Castillo-González, T. Cervantes-Santana, y Ángel Martínez-Garza. “Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. I. Variabilidad genética y adaptabilidad.” *Agrociencia* 2009. 43(5): 483-496.

León-Velasco, H., Leopoldo E. Mendoza-Onofre, F. Castillo-González, T. Cervantes-Santana, Á. Martínez-Garza. “Evaluación de dos generaciones de híbridos y progenitores de sorgo tolerantes al frío. II: aptitud combinatoria, heterosis y heterobeltiosis.” *Agrociencia* 2009. 43: 609-623.

Maunder, B. Sorghum: “The global grain of the future, from national sorghum producers.” www.sorghumgrowers.com/Sorghum+101. 2006.

Mendoza O., L. E. “Formación de híbridos de sorgo para grano. II. Comportamiento per se de las líneas y su aptitud combinatoria general.” *Rev. Fitotec. Mex.* 1988. 11: 39-47.

Pohelman, J.M. “Breeding field crops.” Ed. Limusa Wiley, México, DF. 1965. pp.301-328.

Allard, R.W. “Principios de la mejora genética de las plantas.” Ed. Omega, Barcelona. 1967. pp. 128-177.

Quinby, J.R. and K.F. Schertz. “Sorghum genetics, breeding and hybrid seed production.” 1970. pp. 73-83. In: *Sorghum production and utilization*. AVI publishing co. Wall, J.S. and W.M. Ross (eds.). Westport, Connecticut.

Schertz, K.F. and J.C. Stephens. “Compilation of gene symbols, recommended revisions and summary of linkages for inherited characters of *Sorghum vulgare*, Pers.” Tech. monograph 3. Texas A&M University. 1966. 41 pp.

Stephens, J.C., G.H. Kuyendall and D.W. George. “Experimental production of hybrid sorghum seed with a three-way cross.” *Agronomy Journal*. 1952. 44:369-373.

Stephens, J.C. and R.F. Holland. “Cytoplasmic male sterility for hybrid sorghum seed production.” *Agronomy Journal*. 1954. 46:20-23.

Solanki, B. G., D. M. Patel, P. B. Patel, and R. T. Desai. “Combining ability in sorghum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] for yield and its attributing traits (II).” *Crop Res. (Hisar)*: 2007. 187-191.

Sprague, G. F., and L. A. Tatum. “General vs. specific combining ability in single crosses of corn.” *J. Amer. Soc. Agron.* 1942. 34: 923-932.

Yu, J., and M. R. Tuinstra. “Genetic analysis of seedling growth under cold temperature stress in grain sorghum.” *Crop Sci.* 2001. 41: 1438-1443.

Calidad de grano en variedades sintéticas tropicales de maíz

ANDRÉS-MEZA, Pablo*†, VÁZQUEZ-CARRILLO, María Gricelda, SIERRA-MACÍAS Mauro y ESPINOSA-CALDERÓN, Alejandro

Recibido Agosto 15, 2016; Aceptado Septiembre 25, 2016

Resumen

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es la principal fuente de energía y proteínas de la población, por ello es indispensable generar variedades de maíz con alto potencial de rendimiento y un mejor perfil de aminoácidos. El objetivo fue determinar las características físicas y calidad de la proteína (ACP) en 16 variedades sintéticas tropicales de maíz, que se cultivaron en siete ambientes del estado de Veracruz y Guerrero, como testigos se usaron las variedades 'VS-536' de endospermo normal y 'V-537C' de ACP, respectivamente. Se cuantificó el contenido de proteína, lisina y triptófano en grano y endospermo. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre variedades (V), ambientes (A) y para la interacción variedades x ambiente (VxA), en calidad proteínica del grano. El contenido de proteína total en las variedades sintéticas varió de 9.8 a 11.5 % en grano y de 7.4 a 8.6 % en endospermo, respectivamente. Los porcentajes de lisina y triptófano en grano entero y endospermo de las variedades ACP variaron de 2.62 a 3.83 y 2.34 a 3.25 g/100 g de proteína. El efecto de la variedad, el ambiente, su interacción y la condición del cultivo afectaron significativamente la calidad del grano.

Zea mays L., variedad sintética, calidad de grano

Abstract

In Mexico, maize (*Zea mays* L.) is the main source of energy and proteins for the population. It is therefore, indispensable to generate corn varieties with a high yield potential and a better amino acid profile. The objective was to determine the physical characteristics, and the quality protein maize (QPM) in 16 synthetic tropical maize varieties. These varieties were grown in seven environments of the states of Veracruz and Guerrero, Mexico; the controls used were normal endosperm 'VS-536' and QPM 'V-537C'. The protein, lysine, and tryptophan content of the kernel and endosperm were quantified. Significant differences ($P \leq 0.01$) were found among varieties (V), environments (E), and the interaction varieties x environment (V x E). Lysine and tryptophan percentages in the kernel and endosperm of varieties QPM ranged from 2.62 to 3.83 and 2.34 to 3.25 g/100 g protein. The effect of the variety, the environment, their interaction and the condition of the crop significantly affected grain quality.

Zea mays L., synthetic variety, humid tropic, kernel quality

Citación: ANDRÉS-MEZA, Pablo, VÁZQUEZ-CARRILLO, María Gricelda, SIERRA-MACÍAS Mauro y ESPINOSA-CALDERÓN, Alejandro. Calidad de grano en variedades sintéticas tropicales de maíz. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016, 3-8: 9-16.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: pandres272@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) juega un papel importante en la nutrición humana y animal en alrededor de 25 países en vías de desarrollo, particularmente en África y América Latina (Prasanna *et al.*, 2001) y proporciona en promedio 37 y 46% del requerimiento diario de proteína y energía requerida por el cuerpo humano (FAO, 2014). Al igual que otros cereales, el maíz presenta un bajo valor biológico comparado con las proteínas de origen animal, por ello en los núcleos familiares de las zonas rurales de México, para compensar estas limitaciones se acostumbra consumir productos derivados de maíz conjuntamente con frijoles, que ayudan a equilibrar en forma limitada esta deficiencia (Krivanek *et al.*, 2007).

El mejoramiento de maíces con alta calidad de proteína (ACP), se inició con el objetivo de mejorar el valor nutricional de la proteína en el grano de maíz (Krivanek *et al.*, 2007); el enfoque comúnmente usado se basa en manipular la mutación *opaco-2* (*o2*), un gene recesivo que incrementa los niveles de lisina y triptófano en el grano de maíz (Ignjatovic-Micic *et al.*, 2010), sin embargo, la incorporación del gene *o2* dentro de cultivares de alto rendimiento no ha sido comercialmente exitoso, debido a su efecto pleitrópico (endospermo suave, susceptibilidad a plagas de granos almacenados, acame, etc.).

Afortunadamente, éstos problemas han sido corregidos mediante la manipulación de tres sistemas genéticos: a) el alelo recesivo simple del gene *opaco-2*, b) los modificadores del endospermo que contiene el *o2o2*, y que aumentan los niveles de lisina y triptófano y, c) los genes que modifican el endospermo suave y lo transforman en endospermo duro (Vasal, 2000; Vivek *et al.*, 2008).

El termino QPM (Quality Protein Maize o ACP, Alta Calidad Proteínica), se refiere al maíz con mayor contenido de lisina y triptófano y un endospermo relativamente duro, que lo hace resistente a las plagas durante el almacenamiento (Galicia-Flores *et al.*, 2011).

La conversión de diferentes grupos de líneas normales a ACP se inició durante el año 2002 dentro del Programa de Maíz del Campo Experimental Cotaxtla (CECOT) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Inicialmente, las líneas fueron cruzadas con la línea CML-144 que actuó como donador del carácter *o2*, las cruas se autofecundaron y las líneas seleccionadas fueron retrocruzadas para recuperar el carácter.

Posterior a este proceso de selección, durante el año 2008, mediante un esquema dialélico se formaron cruas simples para conocer su aptitud combinatoria específica (ACE) y aptitud combinatoria general (ACG) de sus líneas (Andrés-Meza *et al.*, 2011); con las líneas de mayor rendimiento de grano y alta ACG, se integraron 11 sintéticos de maíz (Andrés-Meza *et al.*, 2013), los cuales se han cultivado a través de diferentes localidades en el área tropical del estado de Veracruz y Guerrero.

Bajo este contexto, el objetivo del presente trabajo fue determinar las propiedades físicas y cuantificar los niveles de proteína, lisina y triptófano en grano y endospermo en 16 variedades sintéticas tropicales de maíz a través de ambientes en el estado de Veracruz y Guerrero, México.

Metodología a desarrollar

Se evaluaron en campo 16 variedades de maíz de las cuales, 11 son nuevas variedades sintéticas experimentales de maíz ‘SINT-1C’ (integrado por 20 líneas), ‘SINT-2C’ (10 líneas), ‘SINT-3C’ (9 líneas), ‘SINT-4C’ (12 líneas), ‘SINT-5C’ (12 líneas), ‘SINT-6C’ (9 líneas), ‘SINT-7C’ (8 líneas), ‘SINT-8C’ (6 líneas), ‘SINT-9C’ (6 líneas), ‘SINT-10C’ (8 líneas) y ‘SINT-11C’ (8 líneas), con diferente nivel de endogamia y seleccionadas por su buen comportamiento *per se* y altos efectos de aptitud combinatoria general (Andrés-Meza *et al.*, 2011); tres sintéticos experimentales seleccionados para tolerancia a sequía ‘SINT-TS6’, ‘SINT-LPSC3’ y ‘SINT-3SC’; y dos variedades comerciales ‘VS-536’ y ‘V-537 C’; la primera obtenida mediante la recombinación genética de nueve líneas endogámicas provenientes de los programas de maíz de Cotaxtla, Ver. Iguala, Gro., Rio Bravo, Tamps., y Ocotlán Jal., y la segunda obtenida mediante la recombinación genética de 10 familias de medios hermanos de la población Poza Rica 8763 (Sierra *et al.*, 1992).

Las variedades se sembraron en siete ambientes durante los años 2012 y 2013; cinco ambientes se establecieron en la zona centro del estado de Veracruz, Ver., y dos ambientes se sembraron en el estado de Iguala, Gro. Las fechas de siembra y cosecha, la condición de siembra y las dosis de fertilización se muestran en el Cuadro 1. La fuente de nitrógeno fue urea y la de fósforo superfosfato de calcio triple. Diez días después de la siembra (dds) se aplicó todo el fósforo y la mitad del nitrógeno; el resto del nitrógeno se aplicó 30 dds. El establecimiento de los ensayos en cada localidad coincidió con el inicio de la temporada de lluvias, excepto en el ciclo otoño-invierno en el que se aplicaron suficientes riegos de auxilio (siete riegos) para que las plantas no sufrieran de estrés hídrico.

La unidad experimental fue de dos surcos de 5 m de largo y 0.8 m de ancho. La siembra se hizo a “tapa pie”, que es la forma tradicional en la región. Se depositaron tres semillas por golpe cada 0.4 m para aclarar a dos plantas (62 500 plantas ha⁻¹).

Cuantificación de nitrógeno, lisina y triptófano

Los análisis químicos se realizaron de marzo a diciembre de 2013 en el Laboratorio de Calidad de Maíz del Campo Experimental Valle de México perteneciente al INIFAP. Se molieron 25 semillas por cada muestra de maíz, en un molino Tecator Cyclotec 1093 con tamiz de 0.5 mm. La harina obtenida se sometió a un proceso de desengrasado con éter de petróleo en un extractor intermitente Soxhlet, durante seis horas continuas. Posteriormente, se secaron al aire libre para eliminar el excedente de éter de petróleo (Galicia *et al.*, 2009; Galicia *et al.*, 2012).

La cuantificación de nitrógeno se determinó por medio de un Autoanalizador Technicon II (Technicon Autoanalyzer II, #334-74, 1997) con la metodología de Galicia *et al.* (2009). La cantidad de proteína se estimó a partir del valor de nitrógeno; al multiplicar el porcentaje de nitrógeno (N) x 6.25 (factor de conversión para el maíz) (Vivek *et al.*, 2008).

La cuantificación de lisina se determinó por colorimetría descrito por Villegas *et al.* (1984) modificado por Galicia *et al.* (2011), el cual se basa en la reacción del 2-cloro, 3,5-dinitropiridina. La lectura se llevó a cabo en un lector de microplacas (μ Quant (MQX200), BioTek®) para determinar la densidad óptica (DO) a 390 nm. Por último, la cuantificación de triptófano se realizó de acuerdo con el método de Nurit *et al.* (2009) modificado por Galicia *et al.* (2012), el cual se basa en la reacción del ácido glioxílico.

La lectura se llevó a cabo en un espectrofotómetro de placas para determinar la absorbancia a 560 nm.

Análisis estadístico

Los análisis se realizaron por duplicado en harinas libres de humedad y aceite. Todas las variables se analizaron bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Los análisis de varianza y las pruebas de comparaciones de medias (Tukey) se hicieron con el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 1990).

Localidad	Localización geográfica ¹	Altitud (m)	Condición de siembra	Fecha de siembra/cosecha	Fertilización (Kg ha ⁻¹ de N-P-K)
Cotaxtla 2012B (COT)	18° 56' LN, 96° 11' LO	18	Temporal	20/06/12-06/11/12	161-46-00
El Sauce 2012B (SAU)	18° 42' LN, 96° 04' LO	19	Temporal	26/07/12-27/11/12	161-46-00
Tepetates 2012B (TEP)	19° 11' LN, 96° 20' LO	18	Temporal	18/07/12-24/11/12	140-70-00
Iguala 2012B (IGU)	17° 52' LN, 99° 09' LO	750	Temporal	25/07/12-25/11/12	90-60-00
Cotaxtla 2013A (COT)	18° 56' LN, 96° 11' LO	18	Riego	21/02/13-12/06/13	161-46-00
Cotaxtla 2013B (COT)	18° 56' LN, 96° 11' LO	18	Temporal	26/07/13-23/11/13	161-46-00
Iguala 2013B (COT)	17° 52' LN, 99° 09' LO	750	Temporal	31/07/13-21/11/13	90-60-00

Tabla 1 Características de siembra de siete ambientes para la evaluación de 16 variedades sintéticas de maíz normal y con alta calidad de proteína. 2012-2013

¹LN = latitud norte; LO = longitud oeste

Resultados

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre variedades (V), ambientes (A) y para la interacción variedades x ambiente (V x A), en calidad del grano (Tabla 2). Diferencias que se deben a la variabilidad genética entre variedades debido a sus características genéticas particulares, al efecto del ambiente y manejo del cultivo. Resultados similares son informados por Vidal *et al.* (2008) para maíces nativos de la Sierra de Nayarit, Coutiño *et al.* (2008) en las variedades 'V-229' y 'V-231A'. Los coeficientes de variación fluctuaron de 2.33 a 20.84, valores que sugieren confiabilidad en los resultados (Castillo, 2007).

Fuente de variación	GL	Proteína ^{††} (%)		Triptófano ^{††} (g/100 g proteína)		Lisina ^{††} (g/100 g proteína)	
		Grano	Endospermo	Grano	Endospermo	Grano	Endospermo
Variedad (V)	15	3.89**	1.98**	0.09**	0.05**	1.38**	0.59**
Ambiente (A)	6	19.79**	14.06**	0.22**	0.31**	10.84**	4.99**
Interacción VXA	90	1.54**	1.37**	0.04**	0.03**	0.90**	0.41**
Error	210	0.06	0.22	0.01	0.01	0.14	0.04
CV (%)		2.33	6.04	3.42	6.54	12.03	7.77

Tabla 2 Cuadrados medios y significancia estadística para rendimiento, características físicas y químicas del grano de 16 variedades sintéticas tropicales de maíz normal y de alta calidad proteínica (ACP). 2012-2013

*, ** Diferente de cero a una probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente; GL = grados de libertad; CV = coeficiente de variación; ^{††}informados a base seca, en muestras libres de aceite

Contenido de proteína, lisina y triptófano

El contenido de proteína total en las variedades sintéticas varió de 9.8 a 11.5 % en grano y de 7.4 a 8.6 % en endospermo, respectivamente (Tabla 3), que son valores similares a los reportados (9.5 a 11.4 %) por Zepeda-Bautista *et al.* (2009) en 10 híbridos de cruza simple producidos bajo fertirrigación. En la localidad El Sauce 2012B (A2), se presentaron los valores más altos para proteína en grano entero y endospermo; en tanto que, en la localidad Cotaxtla 2012B (A1) se observaron bajos niveles para estas mismas variables (Tabla 4). Al respecto Vázquez *et al.* (2012), mencionan que temperaturas fuera del óptimo producen efectos negativos sobre la fotosíntesis que impide a la planta a producir y translocar metabolitos hacia el fruto.

El contenido promedio de proteína en grano entero, fue mayor comparado con el endospermo; lo anterior, debido a que durante el análisis las partes constituyentes del grano (pico, pericarpio y germen) influyeron en el valor de la proteína total. De acuerdo con Sánchez *et al.* (2007), mencionan que la composición química del germen presenta altas concentraciones de proteína y aceite, que son de excelente calidad biológica y energía calórica.

El promedio de lisina en grano entero y endospermo de las variedades ACP fueron de 3.20 y 2.60 g/100 g de proteína, respectivamente; valores que resultaron estadísticamente similar a la variedad V-537 C con 3.10 y 2.61 g/100 g de proteína, respectivamente (Tabla 3).

Un comportamiento similar reportaron Mendoza-Elos *et al.* (2006) para un grupo de variedades QPM y Vidal *et al.* (2008) en colectas de maíz nativo de Nayarit.

En Cotaxtla 2013A (A5), el grano entero y endospermo de todos los maíces expresaron los niveles más altos de lisina, lo cual se debe a que en este ciclo en particular se manejó bajo riego y la disponibilidad de agua fue mayor.

Variedad	Proteína ^f (%)		Lisina ^f (g/100 g proteína)		Triptófano ^f (g/100 g proteína)	
	Grano	End ^p	grano	End	Grano	End
V1	10.38d	7.36d	3.71a	3.25a	0.74d	0.63b
V2	10.39d	7.79b	3.35a	2.47c	0.69f	0.55e
V3	9.94f	7.39d	3.83a	2.53b	0.92a	0.65b
V4	10.15e	7.79b	3.71a	2.79b	0.74d	0.63b
V5	9.83f	7.83b	3.37a	2.62b	0.81c	0.63b
V6	10.29e	8.55a	3.05c	2.34d	0.72d	0.55d
V7	10.64c	7.42d	2.99c	2.54b	0.67f	0.55d
V8	10.42d	7.35d	3.06c	2.56b	0.70e	0.52g
V9	10.64c	7.60c	2.55d	2.63b	0.80c	0.60c
V10	11.23a	7.74b	3.14b	2.41d	0.68f	0.57d
V11	10.95b	7.60c	2.62d	2.50b	0.66g	0.58d
V12	11.46a	8.34a	2.93c	2.24f	0.66g	0.54f
V13	11.32a	8.26a	3.23a	2.73b	0.68f	0.60b
V14	11.51a	8.2ba	3.03c	2.30e	0.61h	0.54f
V15	10.44d	7.74b	3.10c	2.61b	0.84b	0.76a
V16	10.96b	7.46d	2.81c	2.29e	0.73d	0.63b

Tabla 3 Características químicas del grano en 16 variedades sintéticas tropicales de maíz normal y de alta calidad proteínica (ACP). 2012-2013

^fMedias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ^pEnd = endospermo; ^finformados a base seca, en muestras libres de aceite; V = variedad; V1 = SINT-1C; V2 = SINT-2C; V3 = SINT-3C; V4 = SINT-4C; V5 = SINT-5C; V6 = SINT-6C; V7 = SINT-7C; V8 = SINT-8C; V9 = SINT-9C; V10 = SINT-10C; V11 = SINT-11C; V12 = SINT-TS6; V13 = SINT-LPSC3; V14 = VS-536; V15 = V-537C; V16= SINT-3SC

En cuanto al contenido de triptófano en grano entero y endospermo, este varió de 0.61 a 0.92 y de 0.52 a 0.76 g/100 g de proteína, respectivamente; particularmente en la variedad SINT-3 (V3) el nivel de triptófano en grano entero, resultó estadísticamente superior a la variedad testigo V-537C (V15) con 0.92 y 0.84 g/100 g proteína, respectivamente; en tanto que, el contenido de triptófano en endospermo resultó de 0.65 y 0.76 g/100 g de proteína, respectivamente.

Al respecto, la localidad de Iguala durante el año 2012B (A7) presentó bajos niveles de este aminoácido; mientras que para el año 2013B, presentó los niveles más altos. Lo anterior infiere fuertes variaciones climáticas que afectaron positivamente el contenido de triptófano.

Ambiente	Proteína ^f (%)		Triptófano ^f (g/100 g proteína)		Lisina ^f (g/100 g proteína)	
	Grano	Endospermo	Grano	Endospermo	Grano	Endospermo
A1	9.75f	7.22d	0.71c	0.57d	3.00b	2.78b
A2	11.95a	8.60a	0.62e	0.53e	2.93b	2.20c
A3	10.93c	8.12bc	0.67d	0.56d	3.00b	2.05d
A4	9.95e	7.15d	0.67d	0.63c	2.67c	2.78b
A5	10.31d	8.43ab	0.79b	0.46f	4.17a	2.94a
A6	10.40d	6.96d	0.81a	0.67b	-	-
A7	11.33b	7.96c	0.83a	0.76a	-	-

Tabla 4 Influencia del ambiente sobre las características químicas del grano en 16 variedades sintéticas tropicales de maíz normal y de alta calidad proteínica (ACP). 2012-2013

^fMedias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ^finformados a base seca, en muestras libres de aceite; A = ambiente; A1 = Cotaxtla 2012B; A2 = El Sauce 2012B; A3 = Tepetates 2012B; A4 = Iguala 2012B; A5 = Cotaxtla 2013a; A6 = Cotaxtla 2013B; A7 = Iguala 2013B

Conclusiones

El efecto de la variedad, el ambiente, su interacción y la condición del cultivo afectaron significativamente la calidad del grano. El contenido promedio de proteína en grano entero, fue mayor comparado con el endospermo.

En la localidad El Sauce 2012B (A2), se presentaron los valores más altos para proteína en grano entero y endospermo; en tanto que, en la localidad Cotaxtla 2012B (A1) se observaron bajos niveles para estas mismas variables.

El régimen hídrico afectó las concentraciones de lisina en grano entero y endospermo.

Es necesario realizar los análisis de calidad en endospermo, ya que ofrece mayor información sobre la variación presente de proteínas, y no confiar solamente en los análisis del grano entero.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Calidad de Maíz del Campo Experimental Valle de México y al Campo Experimental Cotaxtla dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Referencias

Andrés-Meza P, López-Collado CJ, Sierra-Macías M, López-Romero G, Leyva-Ovalle OR, Palafox-Caballero A, Rodríguez-Montalvo FA. Combining ability in maize lines using a diallel cross. *Trop. Subtrop. Agroecosystems*. 2011; 13: 525-532.

Andrés-Meza P, Sierra-Macías M, Palafox-Caballero A, Rodríguez-Montalvo FA, Espinosa CA. Líneas de maíz convertidas al carácter de alta calidad de proteína. *Universidad y Ciencia*. 2013; 29(3): 317-323.

Billeb SAC, Bressani R. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2001; 51: 86-94.

Bressani R. Opaque 2 corn in human nutrition and utilization. *In: Quality protein maize. 1964-1994. Proceedings of the international symposium on quality protein maize.* (eds Larkins, B. A and Mertz, E. T.) EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas MG Brasil. 1994; p: 41-63.

Castillo MLE. Introducción al SAS para Windows. Universidad Autónoma Chapingo. México, DF. 2007.

Coutiño EB, Vázquez CMG, Torres MB, Salinas M. Calidad de grano, tortilla y botanas de dos variedades de maíz de la raza Comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* 2008; 31(Núm. Esp. 3): 9-14.

FAO. Food and Agriculture Organization/World Health Organization. Rome, Italy. 2014.

Galicia L, Miranda A, Gutiérrez MG, Custodio O, Rosales A, Ruiz N, Surles R, Palacios N. Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal: protocolos de laboratorio 2012. CIMMYT. Mexico, DF. 2012.

Galicia L, Nurit E, Rosales A, Palacios-Rojas N. Laboratory protocols 2009: Maize nutrition Quality and plant tissue analysis laboratory. CIMMYT. Mexico, DF. 2009.

Galicia-Flores, L.; Islas-Caballero, C.; Rosales-Nolasco, A. y Palacio-Rojas, N. Método económico y eficiente para la cuantificación colorimétrica de lisina en grano de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 2011; 34: 285-289.

Gutiérrez RA, Scott MP, Leyva OOR, Menz M, Betrán J. Phenotypic Characterization of quality protein maize endosperm modification and amino acids contents in a segregating recombinant inbred population. *Crop Sci.* 2008; 48: 1714-1722.

Ignjatovic-Micic D, Stankovic G, Markovic K, Mladenovic-Drinic S, Lazic-Jancic V, Denic M. Kernel modifications and tryptophan content in QPM segregating generation. *Genetika.* 2010; 42(2): 267-278.

Krivanek AF, De Groote H, Gunaratna NS, Diallo AO, Friesen D. Breeding and disseminating Quality protein Maize (QPM) for Africa. *African Journal of Biotechnology.* 2007; 6(4): 312-324.

Melesio CJL, Preciado ORE, Terrón IAD, Vázquez CMG, Herrera MP, Amaya GA, Serna SSO. Potencial productivo, propiedades físicas y valor nutrimental de híbridos de maíz de alta calidad proteínica. *Agric. Téc. Méx.* 34(2): 225-233.

Mendoza-Elos M, Andrio-Enríquez E, Juárez-Goiz JM, Mosqueda-Villagómez C, Latournerie-Moreno L, Castañón-Nájera G, López-Benítez A, Moreno-Martínez E. Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia.* 2006; 22: 153-161.

Morales GM. Efecto del consumo de maíz de alta calidad proteínica en niño(a)s de familias indígenas de las regiones Mazateca y Mixe del Estado de Oaxaca: Una estrategia agronómica de desarrollo entre campesinos que practican agricultura de subsistencia. (Tesis Doctoral) Montecillo, Texcoco, Edo. de Mexico. Colegio de Postgraduados. 2002.

Nurit E, Tiessen A, Pixley K, Palacios-Rojas N. Reliable and inexpensive colorimetric method for determining protein-bound tryptophan in maize kernels. *J. Agri. Food Chem.* 2009; 57: 7233-7238.

Nuss ET, Tanumihardjo SA. Quality protein maize: closing the protein inadequacy gap in vulnerable populations. *Advances in Nutrition.* 2011; 2(3): 217-224.

Ortega EI, Villegas E, Vasal SK. A comparative study of protein changes in normal and Quality protein maize during tortilla making. *Cereal Quemistry.* 1986; 63(5): 446-451.

Poey DFR. El mejoramiento integral del maíz: valor nutritivo y rendimiento; hipótesis y métodos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, DF. 1978.

Prasanna BM, Vasa SK, Kassahun B, Singh NN. Quality protein maize. *Current Science.* 2001; 81(10): 1308-1319.

Salinas MY, Gómez MNO, Cervantes MJE, Sierra MM, Palafox CA, Betanzos ME, Coutiño EB. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 2010; 1(4): 509-523.

Salinas MY, Vázquez CMG. Metodologías de análisis de la calidad Nixtamalera-Tortillera en maíz. INIFAP. Campo Experimental Valle de México. Folleto Técnico Núm. 23. México, D.F. 2006.

Sánchez FC, Salinas MY, Vázquez CMG, Aguilar GNGA. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 2007; 57(3): 295-301.

SAS Institute Inc. SAS, Version 9.1. Cary, NC 27513, USA. SAS Institute, Inc. 1990.

Sierra MM, Rodríguez M FA, Castillo GRA, Preciado ORE, Márquez SF. VS-536 Variedad Sintética de Maíz para el Trópico de Veracruz y Regiones Similares. INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla. Folleto Técnico Núm. 2. Veracruz, México. 1992.

Vasal SK. Quality Protein Maize Story. Proceedings of the Workshop on Improving Human Nutrition through Agriculture: The Role of International Agricultural Research (IHNA'00), IRRI. 2000.

Vázquez CMG, Mejía AH, Tut Couoch C, Gómez MN. Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los Valles Altos Centrales de México. Revista Fitotecnia Mexicana. 2012a; 35(1): 23-31.

Vázquez CMG, Santiago RD, Salinas MY, Rojas MI, Arellano VJL, Velázquez CGA, Espinosa CA. Interacción genotipo-ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en Valles Altos de Tlaxcala, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 2012b; 35(3): 229-237.

Vidal, V. A., M.; Vázquez, G. C.; Coutiño, B. E.; Ortega, A. C.; Ramírez, J. L. D.; Valdivia, R. B.; Guerrero, M. J. H.; Caro, F. J. V. y Cota, O. A. Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la sierra de Nayarit, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 2008; 31(Núm. Especial 3): 15-21.

Villegas E, Ortega E, Bauer R. Chemical Methods used at CIMMYT for Determining Protein Quality in Cereal Grains. CIMMYT. El Batán, Mexico, DF. 1984.

Vivek BS, Krivanek AF, Palacios-Rojas N, Twumasi-Afriyie S, Diallo AO. Breeding quality protein maize (QPM): Protocols for developing QPM cultivars. CIMMYT. México, DF. 2008.

Zarkadas CG, Hamilton RI, Yu ZR, Choi VK, Khanizadeh S, Rose NGW, Pattison PL. Assessment of the protein Quality of 15 new northern adapted cultivars of Quality protein maize using amino acids analysis. J Agric Food Chem. 2000; 48: 5351-5361.

Zepeda-Bautista R, Carballo-Carballo A, Muñoz-Orozco A, Mejía-Contreras JA, Figueroa-Sandoval B, González-Cossio FV, Hernández-Aguilar C. Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. Agrociencia. 2009; 43(2): 143-152.

Calidad industrial de mezclas de variedades de trigo harinero contrastantes en fuerza y extensibilidad de la masa

MORALES, Víctor*†, MARTÍNEZ, Eliel, ESPITIA, Eduardo y ROSAS, María del Rosario

Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez

Recibido Julio 10, 2016; Aceptado Septiembre 25, 2016

Resumen

En el presente trabajo de investigación se compararon cinco formulaciones de mezclas harinas obtenidas a partir de trigo suave variedad Urbina S2007 y trigo duro variedad Kronstad F2004 en relación a su calidad reológica de masa y calidad galletera. Las pruebas de calidad indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre formulaciones C y D, registrando volúmenes de sedimentación (SED) de 48.33-37.66 mL, tiempo de amasado (Mixograma-TA) de 2.5-2.6 min, fuerza de gluten (Alveograma-W) de $279-208 \cdot 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, índice de elasticidad (Alveograma-P/L) de 1.04-1.1, el diámetro de galleta (Wg) de 32.9-33.6 cm, altura de galleta entre 5.8-6.7 cm y factor galletero entre 5.23-5.26. Lo que indica que las formulaciones poseen características reológicas deseables para producir galleta.

Trigo Suave, Sedimentación, Mixograma-TA, Alveograma-W y Calidad Galletera

Abstract

In the present research were compared five formulations of flour mixtures obtained from soft wheat variety Urbina S2007 and hard wheat variety Kronstad F2004 in relation to their rheological dough quality and biscuit quality. Quality tests indicate significant differences ($P < 0.05$) between formulations C and D, recording sedimentation volume (SED) of 48.33-37.66 mL, dough mixing time (Mixograph-TA) of 2.5-2.6 min, Gluten strength (Alveograph-W) of $279-208 \cdot 10^{-4} \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, index of elasticity (Alveograph-P/L) of 1.04-1.1, biscuit diameter (Wg) between 30.7-34.9 cm, biscuit height between 5.8-6.7 cm and biscuit factor of 5.23-5.26. It is indicating that formulations possess desirable rheological characteristics to produce biscuit.

Soft Wheat, Hard Wheat Sedimentation, Mixograph-TA, Alveograph-W and Biscuit Quality

Citación: MORALES, Víctor, MARTÍNEZ, Eliel, ESPITIA, Eduardo y ROSAS, María del Rosario. Calidad industrial de mezclas de variedades de trigo harinero contrastantes en fuerza y extensibilidad de la masa. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016, 3-8: 17-23.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: victor_morales79@hotmail.com)

† Investigador contribuyente como primer autor.

Introducción

Las variedades de trigo harinero (*Triticum aestivum*) que se siembran en México deben cumplir con los estándares de calidad de uso final que se requieren. La producción del trigo harinero es de calidad variable. Una práctica común de la industria molinera para mejorar la calidad de las harinas de panificación es hacer mezclas de trigos duros con suaves que reúnan las características de calidad demandada por la industria panificadora nacional. Por lo que el objetivo de esta investigación fue diferenciar la calidad de uso final de mezclas de harina de trigo suave Urbina S2007 y de trigo duro Kronstad F2004 producido bajo sistema de riego.

Marco Teórico

En México el trigo (*Triticum ssp*) se cultiva en alrededor de 23 estados, de lo cual el 80% de la producción se concentra en la zona norte (principalmente en el noroeste) y en Guanajuato, en el ciclo otoño-invierno (O-I) bajo condiciones de riego; y el resto se produce, en regiones del centro y el altiplano central, en el ciclo primavera-verano (P-V) en condiciones de temporal. En 2014, la producción total de trigo en grano de nuestro país ascendió a 3,669, 813 ton, de los cuales el Estado de México, Tlaxcala y Puebla aportan 112,941 ton. Respecto al rendimiento medio nacional es de $5.1 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, y el Estado de México, Tlaxcala y Puebla que registran en promedio $2.1 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$, $1.95 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$ y 3.6 ton/ha respectivamente (SIAP-SAGARPA, 2016).

México requiere de una producción de trigo de 7 millones de toneladas de harina panificable, de las cuales solo produce trigo en el orden de 3.5 millones de toneladas por lo que es necesario importar 4.5 millones (CANIMOLT, 2014.)

La calidad industrial de uso final del trigo está regida por la variedad que se cultiva, pero las características se afectan por condiciones de manejo agronómico (nutrientes en el suelo, fertilización nitrogenada, fechas de siembra, control de plagas y enfermedades) y por condiciones climatológicas durante el ciclo de cultivo (temperatura ambiental, fotoperiodo [horas de luz natural] y disponibilidad de agua). Los criterios de calidad de grano y harinas para uso final se correlacionan en base en las propiedades físicas (peso hectolitro, dureza, granulometría, absorción de agua, entre otras), químicas (cantidad y calidad de proteína) y de procesamiento (tolerancia de la masa al sobre amasado, fuerza y extensibilidad de masa así como volumen de pan), las cuales se determinan principalmente en función de la composición del grano de trigo (Salazar, 2000).

La harina de trigo harinero contiene proteínas de reserva llamadas gluteninas y gliadinas, las cuales al proceso de masado e hidratación conforman el complejo visco elástico soluble en agua denominado gluten, mismo que confiere a la masa las propiedades de fuerza y extensibilidad (Hoseney, 1991).

En México, el trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) se clasifica en cuatro grupos con base a las variables como trabajo mecánico para romper la burbuja de masa en el alveografo (W) y la relación tenacidad/extensibilidad de la masa (P/L). Las variedades se caracterizan de acuerdo a estos parámetros como: Grupo 1 de gluten fuerte (F), con $W > 300 \times 10^{-4} \text{ J}$; Grupo 2 de gluten medio-fuerte (MF), con $200 \times 10^{-4} \text{ J} \geq W \leq 300 \times 10^{-4} \text{ J}$; Grupo 3 de gluten débil o suave, con $W < 200 \times 10^{-4} \text{ J}$; y, el Grupo 4 lo forman los genotipos de gluten tenaz (T) con $P/L > 1.2$ (Salazar, 2000).

Respecto a lo anterior, las variedades mexicanas se identifican con la letra y año de liberación en su nombre, como ejemplo esta la variedad Urbina S2007 de gluten suave o débil que se liberó el año 2007 y la variedad Kronstad F2004 de gluten fuerte que se liberó en el año 2004 (Martínez C. E., *et. al.*; 2012).

Materiales y Métodos

Las variedades que se seleccionaron para el experimento fueron Kronstad F2004 evidenciada como trigo duro del grupo 1 y Urbina S2007 caracterizada como de trigo suave del grupo 3.

Las muestras de grano de las variedades seleccionadas fueron obtenidas del campo experimental de Roque- Celaya, Guanajuato, producidas y cosechadas bajo condiciones de riego durante el ciclo primavera-verano de 2013. A continuación, el grano se trasladó para su análisis al Laboratorio de Calidad de Trigo de INIFAP, Campo Experimental del Valle de México (CEVAMEX), ubicado en Km 13.5 carretera los Reyes- Texcoco, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México.

Las muestras de 3 kg de grano de las variedades se analizaron se determinó el peso hectolitro por el método (AACC-Método 55-10), dureza por el método de aperlado (AACC Método 55-20), humedad por método FOSS NIR System (AACC Método 39-10). Una vez acondicionado el trigo, se pasó a la molienda mediante con el molino Brabender Modelo 880-200 (AACC Método 26-20).

A continuación, estableció el diseño del experimento como análisis de varianza simple con tres repeticiones considerando los tratamientos en función de la combinación de proporciones de harina de las dos variedades seleccionadas.

Los cinco tratamientos corresponden a las siguientes combinaciones entre harinas:

Formulación A (Urbina al 0%-Kronstad al 100%).

Formulación B (Urbina al 25%-Krostad al 75%).

Formulación C (Urbina al 50%-Krostad al 50%).

Formulación D (Urbina al 75%-Krostad al 25%).

Formulación C (Urbina al 100%-Kronstad 0%).

A partir de la harina previamente cernida se dosificaron y homogenizaron las mezclas de harina en base a su formulación. La repetición del tratamiento peso 300 g.

A las mezclas de harina se les determinó proteína y humedad por el método de espectrofotometría de infrarrojo cercano, mediante el equipo automatizado FOSS NIR System (AACC Método 39-10), sedimentación mediante el método de Zeleni (AACC Método 56-61).

La evaluación reológica de las masas se determinó mediante el uso del alveografo de Chopin de 60 g utilizando el software Alveolink NG (AACC Método 54-30) y el mixografo de 10 g (AACC Método 54-40).

A continuación se elaboraron las galletas por el (AACC Método 10-50D) determinando el factor galletero.

Las variables respuesta fueron: peso hectolitro ($\text{kg} \cdot \text{hL}^{-1}$), dureza (%), humedad en grano (%), proteína en grano (%), volumen de sedimentación (ml), proteína en harina (%), humedad en harina (%), tiempo de amasado (min), estabilidad al amasado (min), tolerancia al sobreamasado (mm), altura del mixograma (mm), fuerza de la masa (W_{x10-4J}) y la relación tenacidad-extensibilidad (P/L), Índice de Expansión (G), relación de tenacidad/índice de expansión (P/G), índice de absorción (Ie), Ancho de galleta (cm), Altura de galleta (cm), Factor galletero (FG) y evaluación sensorial de la galleta.

El proceso estadístico se realizó utilizando el software SAS versión 9.1, aplicando el análisis de varianza y una prueba de comparación de medias por el método de tukey a $\alpha=0.05$ para identificar las diferencias entre mezclas de harinas (SAS, 2002).

Resultados y Discusiones

A continuación se presentan los resultados de caracterización física, química y de molienda del grano de las variedades Urbina S2007 y Kronstad F 2004.

Parámetro	Unidades	Variedades	
		Urbina S2007	Kronstad F2004
Humedad	%	11.1±0.3	11.3±0.2
Peso Hectolitro	kg/HL	74.4±3.2	78.6±2.5
Dureza	%	68±4	42±3
Proteína	%	11.7±0.2	12.2±0.3
Harina	%	63.1±0.3	59.44±0.2
Salvado	%	24.8±0.3	24.5±0.2
Granillo	%	3±0.2	8.7±0.2
Salvadillo	%	9.2±0.3	7.3±0.2

[n= 15]. Tamaño de muestra a $P \leq 0.05$.

Tabla 1 Caracterización física y de molienda del grano de Variedades Urbina S2007 y Kronstad F2004

Los perfiles de caracterización física, química y de molienda del grano corresponden al perfil de cada una de las variedades. De acuerdo con Solís *et. al.*, (2008) la variedad Urbina S 2007 es una variedad perteneciente al grupo de trigos suaves o galleteros y la variedad Kronstad F2004 citado por Camacho *et. al.* (2007) coincide con características de un variedad perteneciente al grupo I.

Los parámetros fisicoquímicos de las mezclas de harina formuladas se presentan en la Tabla 2.

En este se observa que en contenido de proteína de las mezclas es elevado lo que indica son de buena actitud panadera. Las Formulaciones B, C y D muestran una sedimentación que tiende a disminuir en función del incremento de la proporción de harina de la Variedad Urbina S2007, pero que se caracterizan como de comportamiento de trigo intermedio (1/2 fuerte). Los volúmenes de sedimentación de las formulaciones puras A y E son con trigos Duros y Suaves respectivamente, estos volúmenes de sedimentación coinciden con los reportado Morales *et. al.* (2014) y Solís *et. al.* (2008).

Mezclas	Composición de Mezclas	Humedad (%)	Proteína	Sedimentación
			(%)	(mL)
Formula A	Urbina 0%- Kronstad 100 %	12.2a	11.5a	59.66a
Formula B	Urbina 25%- Kronstad 75%	12.0a	11.4a	54.00b
Formula C	Urbina 50%- Kronstad 50%	11.8ab	11.3ab	48.33c
Formula D	Urbina 75%- Kronstad 25%	11.7b	11.1bc	37.66d
Formula E	Urbina 100%- Kronstad 0%	11.4c	10.7c	31.66e

[a,b]Valores indican diferencia significativa a $P \leq 0.05$.

Tabla 2 Evaluaciones de Fisicoquímica de las Formulaciones de Harina

Los parámetros mixográficos de las mezclas se muestran en la Tabla 3.

Los resultados indican diferencia significativa a $P \leq 0.05$ entre formulaciones para las variables TA, EA y AL.

Mezclas	Composición de Mezclas	TA	EA	TSA	AL
		(min)	(mm)	(mm)	(mm)
Formula A	Urbina 0%-Kronstad 100 %	3.8a	3.3a	8.33a	70.66 ^a
Formula B	Urbina 25%-Kronstad 75%	3.0b	2.7b	10.33a	67.00ab
Formula C	Urbina 50%-Kronstad 50%	2.6c	1.9c	12.33a	63.33bc
Formula D	Urbina 75%-Kronstad 25%	2.5c	1.5c	12.33a	58.33d
Formula E	Urbina 100%-Kronstad 0%	1.8d	1.2c	14.33a	59.00dc

[a,b]Valores indican diferencia significativa a $P \leq 0.05$. TA= Tiempo de Amasado, EA= Estabilidad de Amasado, TSA= Tolerancia al Sobre amasado, ALM= Altura del Mixograma.

Tabla 3 Evaluación Mixográfica de las Formulaciones

La formulación B requiere de un tiempo de amasado de 3 minutos y contrastándola con la formulación D que es menor el tiempo con 2.5 minutos. Respecto al amasado, las formulaciones A y B muestran mayor estabilidad. La altura del mixograma indica que a medida que en las formulaciones aumenta la proporción de harina de Urbina S2007 es menor la altura del mismo, coincide con Morales *et. al.* (2015). Los parámetros alveográficos de las mezclas se presentan en el cuadro 4 y cuadro 5. En este se observa que existe diferencia significativa a $P \leq 0.05$ de los parámetros P, W, P/L, P/G y P.

Mezclas	Composición de Mezclas	P	L	G
		(mm)	(mm)	
Formula A	Urbina 0%-Kronstad 100 %	141.0a	99.3a	22.1 ^a
Formula B	Urbina 25%-Kronstad 75%	124.6a	91.6a	21.3a
Formula C	Urbina 50%-Kronstad 50%	93.0b	91.3a	21.2a
Formula D	Urbina 75%-Kronstad 25%	85.0b	76.3a	21.1a
Formula E	Urbina 100%-Kronstad 0%	58.3c	90.3a	19.4a

[a,b]Valores indican diferencia significativa a $P \leq 0.05$. P= Tenacidad, L= Extensibilidad, G=Índice de Expansión

Tabla 4 Evaluación Alveográfica de las Formulaciones- Tenacidad y Extensibilidad

Mezclas	Composición de Mezclas	W	P/L	P/G	Tipo de Gluten
		10 E-4 J*g-1			
Formula A	Urbina 0%-Kronstad 100 %	529.6a	1.42a	6.36a	F-T
Formula B	Urbina 25%-Kronstad 75%	405.3b	1.36a	5.88a	F-T
Formula C	Urbina 50%-Kronstad 50%	279.0c	1.04a b	4.42b	M-F
Formula D	Urbina 75%-Kronstad 25%	208.0d	1.11a	4.37b	M-F
Formula E	Urbina 100%-Kronstad 0%	137.3e	0.66b	2.78c	D-E

[a,b]Valores indican diferencia significativa a $P \leq 0.05$. P= Tenacidad, L= Extensibilidad, G=Índice de Expansión, W= Fuerza General, P/L= Relación de Tenacidad/ Extensibilidad, P/G=Relación de Tenacidad/Índice de Expansión, F-T= Fuerte Tenaz, M-F= Medio Fuerte y D-E. = Débil Extensible.

Tabla 5 Evaluación Alveográfica de las Formulaciones- Tipo de Gluten

Las formulaciones A y B presentan la mayor tenacidad con 141 mm y 124.6 respectivamente. Las formulaciones C y D requieren un trabajo de amasado menor, W fue en el intervalo de 208-279 10E-4J, P/L fue en el intervalo de 1.04-1.1 y P/G del intervalo de 4.37-4.42, característico de trigos medios fuertes (Salazar *et. al.*; 2000). Los valores de W, P/L y P/G de las formulaciones A y E coinciden con lo reportado por Morales *et. al.* (2014) y Camacho *et. al.* (2007). El índice de absorción de humedad disminuye a medida de que aumenta la proporción de harina de Urbina S2007.

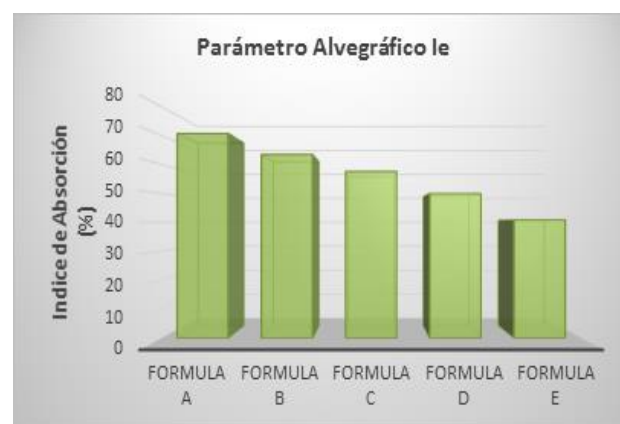


Gráfico 1 Comportamiento de Índice de Absorción de las Mezclas

Los resultados de evaluación de la aptitud galletera de las formulaciones se muestran en el cuadro a continuación.

Mezclas	Composición de Mezclas	Wg (cm)	Lg (cm)	FG	Evaluación Galletera
Formula A	Urbina 0%- Kronstad 100 %	30.7d	6.7a	4.56b	Muy Buena
Formula B	Urbina 25%- Kronstad 75%	32.0cd	6.6a	4.86b	Muy Buena
Formula C	Urbina 50%- Kronstad 50%	32.9bc	6.3a	5.23ab	Excelente
Formula D	Urbina 75%- Kronstad 25%	33.6ab	6.4a	5.26ab	Excelente
Formula E	Urbina 100%- Kronstad 0%	34.9a	5.8a	5.96a	Excelente

[a,b]Valores indican diferencia significativa a $P \leq 0.05$. Wg= Diámetro de Cinco Galletas, Lg= Altura de Cinco Galletas, FG=Factor Galletero

Tabla 6 Evaluaciones de Calidad Galletera de las Formulaciones

De acuerdo a los resultados se encontró diferencia significativa entre formulaciones a $P \leq 0.05$ en las variables de Wg y FG. Las formulaciones C y D muestran Wg entre 32.6-33.6 cm de diámetro y FG entre 5.23-5.26 respectivamente.

La evaluación de estas formulaciones indica una excelente aptitud galletera, que son similares a lo reportado para Urbina S2007 por Morales *et. al.* (2015).

Conclusiones

De las formulaciones mezcladas con harina obtenida de las variedades contrastantes en fuerza y extensibilidad Urbina S2007 y Kronstad F2004, las formulaciones de harina C y D presentan contenido de Proteína en Harina, de Volumen de Sedimentación, TA-mixograma y EA-mixograma, P/L-alveograma y P/G-alveograma, Wg y FG dentro de las características de aptitud para galleta de los grupos de trigo suave y medio-fuerte, por lo que se recomienda su uso para obtener galleta excelente calidad.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó mediante una estancia de Investigación en el Laboratorio del Calidad de Trigo del CEVAMEX-INIFAP.

La Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez Puebla apoyo la estancia de investigación mediante el programa de movilidad docente con recurso de PIFI en 2014.

Este Trabajo dedicado con mucho cariño, esperando la pronta recuperación de salud de Itzel Morales Torres, amada hija del primer autor.

Referencias

- American Association of Cereal Chemists (2005). Approved Methods of the AACC, 10th ed. The Association: St. Paul, MN.
- Camacho Casas Miguel Alfonso, Figueroa López Pedro, Van Finkel Maarten, Peña Bautista Roberto Javier, Fuente Davila Guillermo (2007). Kronstad F2004 Nueva Variedad de Trigo Harinero para el Noreste de México. Folleto técnico 55.INIFAP. ISBN 978-970-43-0247-4
- CANIMOLT (2014). Reporte Estadístico al 2014. Cámara Nacional de la Industria
- Hosseney, R.C. (1991). Principios de Ciencia y Tecnología de los cereales. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 321 p.
- Martínez-Cruz, E. Espitia-Rangel, E., Villaseñor Mir, H. E., Santa-Rosa R. H., Rodríguez- García M. F., Huerta-Espino J., Peña-Bautista R. J. (2012). La calidad de la masa y su relación con las proteínas del trigo harinero. Folleto técnico 52.INIFAP. ISBN 978-607-425-823-3.

Martínez-Cruz, E., Espitia-Rangel, E., Villaseñor-Mir H.E., Molina-Galán J.D., Benitez-Riquelme I., Santacruz-Varela A., Peña-Bautista R.J. (2010). Diferencias reológicas de la masa de trigo en líneas recombinantes. II. Relaciones de los loci Glu-1 y Glu-3. *Agrociencia* 44:631-641. Molinera de Trigo, México.

Morales Víctor, Martínez Eliel, Espitia Eduardo y Bardomiano Jaime (2015). Evaluación de calidad de mezclas de harina de avena y harina de trigo para galleta. *Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias* 2015, 2-4: 608-615.

Morales, V., Martínez, E., & Fajardo, D. S. G. (2014). Calidad de harina y masa de trigo harinero de temporal. In *Ciencias Agropecuarias Handbook T-II: Congreso Interdisciplinario de Cuerpos Académicos* (pp. 223-231). ECORFAN.

Salazar Z.A (2000). Calidad industrial del trigo para su comercialización. In: *el trigo de temporal en México* Villaseñor M.H.E. y Espitia E.E. (Eds.) Chapingo Estado de México, México, SAGAR, INIFAP; CIRCE, CEVAMEX. (Libro Técnico No. 1).p 192-207.

SAS Institute (2002). *SAS/STAT User's Guide: GLM VARCOMP*. 6.04. Fourth ed. Cary, NC, USA. pp: 996.

SIAP-SAGARPA (2016). Servicio de información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Obtenido de la red. www.siap.gob.mx. Abril 2016.

Solís Moya, E., Huerta Espino, J., Pérez Herrera, P., Ramírez Ramírez, A., Villaseñor Mir, H. E., Espitia Rangel, E., & Borodanenko, A. (2008). Urbina S2007: nueva variedad de trigo harinero para la región 'El Bajío'. *Agricultura técnica en México*, 34(1), 113-118.

Degradación microbiana de gasolina en suelos agrícolas de Pueblo Nuevo, Guanajuato

ÁLVAREZ-MEJÍA, César†, AGUIRRE-GÓMEZ, Eduardo', NAVARRO-GARRIDO, Abigail' y LÓPEZ-RAMÍREZ, Varinia*'

Coordinación de Ingeniería Ambiental, Instituto Tecnológico Superior de Abasolo
'Coordinación de Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

Recibido Julio 09, 2016; Aceptado Agosto 31, 2016

Resumen

La introducción accidental o provocada de gasolina en suelos agrícolas en la región del Bajío mexicano es un problema ambiental persistente. Las constantes fugas de tomas de combustible en la zona provocan la pérdida de cultivos de interés agrícola, y favorecen la selección de microorganismos capaces de emplear dicha mezcla de hidrocarburos como fuente de energía. Con el fin de determinar la diversidad microbiana en zonas contaminadas con gasolina, en este trabajo, nos enfocamos al aislamiento y caracterización de microorganismos con capacidad degradadora de gasolina en suelos agrícolas próximos al municipio de Pueblo Nuevo en el estado de Guanajuato. La microbiota aislada fue identificada por pruebas bioquímicas y moleculares e incluye cepas de los géneros *Pseudomonas sp.*, *Enterobacter sp.* y *Bacillus sp.*

Diversidad microbiana, Hidrocarburos, Biorremediación, Ecología microbiana

Abstract

The accidental or caused introduction of gasoline in agricultural soils in the Mexican Bajío is a persistent environmental problem. Constant leakage of fuel in the area cause the loss of crops of agricultural interest, and derivating in the selection of microorganisms capable of using this mixture of hydrocarbons as energy source. In order to determine the microbial diversity in areas contaminated with gasoline, in this work, we focus on isolation and characterization of microorganisms with ability to use gasoline in agricultural soils next to the municipality of village, new in the State of Guanajuato. The microbiota isolated was identified by biochemical and molecular tests and includes strains of the genera *Pseudomonas sp.*, *Enterobacter sp.* and *Bacillus sp.*

Microbial diversity, Hydrocarbons, Bioremediation, Microbial ecology

Citación: ÁLVAREZ-MEJÍA, César, AGUIRRE-GÓMEZ, Eduardo, NAVARRO-GARRIDO, Abigail y LÓPEZ-RAMÍREZ, Varinia. Degradación microbiana de gasolina en suelos agrícolas de Pueblo Nuevo, Guanajuato. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016. 3-8: 24-32.

* Correspondencia al Autor (email: valopez@itesi.edu.mx)

† Investigador contribuyente como primer autor

Introducción

En la actualidad, existe un riesgo constante hacia el medio ambiente debido al incremento de las actividades económicas y sociales de las comunidades, y este riesgo se incrementa en la producción de nuevos compuesto orgánicos, que no se encuentran presentes en la naturaleza y del cual se degradación se vuelve difícil, entre estos compuestos se encuentran los combustibles, y aunque ellos han sido derivados del petróleo, su composición actual y concentraciones durante la refinación, los convienrte en compuestos orgánicos permanentes (COP's).

Para la remoción de ellos, se puede realizar por métodos fisicoquímicos, como la fotólisis, a través del uso de compuestos químicos que permiten la oxidación, aunque este último es eficiente en la remoción, genera nuevos compuestos y afecta la diversidad microbiana y vegetal del sitio impactado, por ello, se estudian actualmente la implementación de nuevas estrategias biológicas para la recuperación de estos sitios, considerando que existe microorganismos que son capaces, de manera natural, de degradar compuestos xenobióticos.

Para poder desarrollar metodologías para biorremediar un suelo contaminado, es necesario aislar microorganismos de dicho medio (Lisek, Paszt, & Trzcíński, 2014).

Los microorganismos pueden ser obtenidos a partir del enriquecimiento de cultivos, donde la mayor tasa de crecimiento o la concentración final celular se puede utilizar como criterio de selección (Geetha, Joshi, & Kathrotiya, 2013).

Existen estudios donde se ha determinado que las bacterias tienen un alto potencial en la recuperación de sitios contaminados con gasolina, ayudando en la recuperación incluso de la población vegetal dañada (Roy et al., 2014), debido a que pueden degradar varios componentes provenientes de los hidrocarburos de petróleo como son los hidrocarburos aromáticos polinucleares (PAHs), hidrocarburos monoaromáticos o hidrocarburos alifáticos de n-alcenos (Geetha et al., 2013).

El objetivo de este trabajo fue identificar bacterias degradadoras de gasolina presente en suelo contaminado, debido a la presencia de fugas del combustible en un predio cercano a la comunidad de "Loma de San Antonio" entre los municipios de Pueblo Nuevo e Irapuato en el estado de Guanajuato.

Metodología

Ubicación de la zona de muestreo

Las muestras fueron colectadas en una toma de gasolina clandestina que presentó una fuga de combustible (Figura 1), la cuál está localizada a una distancia de 7.387 km de la carretera Irapuato-Pueblo Nuevo en la comunidad de Loma de San Antonio a un costado del Canal de Coria (20.570621,-101.310999).

Toma de muestras

Se seleccionaron 13 puntos de muestreo alrededor del punto de fuga, delimitando el área por la presencia de vegetación con síntomas de estres (Figura 1). Se tomaron muestras de suelo a una profundidad de 20 cm. Las muestras se preservaron en bolsas de polietileno con sello hermético y se conservaron a 4°C hasta su procesamiento.

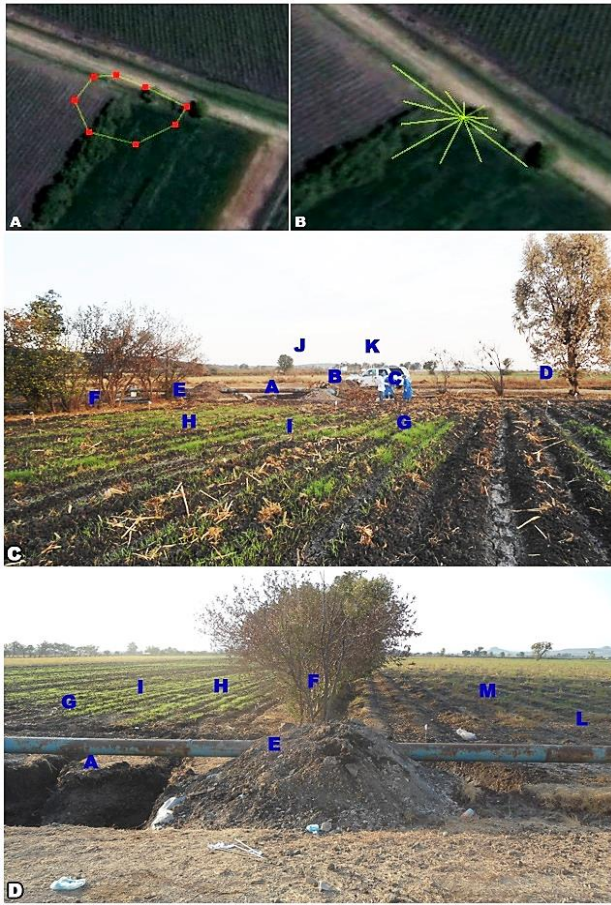


Figura 1 Sitios de muestreo. A. Mancha delimitada por sequía de vegetación causada por la contaminación de gasolina. B. Mapa del muestreo radial en la zona dañada. C y D. Puntos de muestreo

Aislamiento de microorganismos degradadores de gasolina

El aislamiento de microorganismos con capacidad de degradar la gasolina, se realizó a través de una técnica de enriquecimiento. Se inoculó inicialmente 50 mL de medio mineral Bushnell-Haas (Bushnell & Haas, 1941) suplementado con 0.04 % de extracto de levadura y 1 mL de gasolina, con 1 g de suelo. Los matracos fueron incubados a temperatura ambiente a 120 rpm durante una semana.

Posteriormente se utilizaron 2 mL de cultivo y se inocularon nuevamente en 50 mL de medio mineral Bushnell-Haas con 1 mL de gasolina y 0.02% de extracto de levadura, se incubaron a temperatura ambiente a 120 rpm por una semana. Finalmente se utilizaron 2 mL de cultivo para inocular 50 mL de medio mineral Bushnell-Haas y 2 mL de gasolina como única fuente de carbono, incubándose a temperatura ambiente a 120 rpm durante dos semanas. Al terminar el enriquecimiento de la muestra, se utilizaron 100 μ L de este cultivo y se espatularon en cajas Petri con agar nutritivo y agar YPD, incubándose a temperatura ambiente por 48 hrs. Los cultivos axénicos fueron obtenidos a partir de resiembras secuenciales en agar nutritivo, para posteriormente inocular 10 mL de caldo nutritivo, incubándose a temperatura ambiente, a 120 rpm durante 24 hrs. Se utilizó alternativamente al enriquecimiento, siembra directa de diluciones seriales de las muestras colectadas en agar nutritivo y papa dextrosa agar (PDA).

Caracterización bioquímica y molecular de los aislados

La identificación de los aislados se realizó a través de pruebas bioquímicas (actividad de catalasa, oxidasa, almidasa, utilización de citrato y fermentación de lactosa), características microscópicas, coloniales, y a través de la amplificación y secuenciación del gen 16S rDNA, empleando los oligonucleótidos 27F:5'-AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3' y 1492R:5'-TACGGYTACCTTGTTACGACTT-3'. (Pérez-Gutiérrez et al., 2013).

Para ello, se realizó la extracción de ADN total empleando el método reportado en el Manual de Laboratorio Molecular Cloning (Maniatis, Fritsch, & Sambrook, 1982).

La reacción de polimerización se llevó a cabo en el termociclador TC-3000 de la marca TECHNE.

El programa de amplificación incluyó 30 ciclos, con paso de desnaturalización a 95°C/30 s, alineamiento de oligos a 50°C/30 s y polimerización a 72°C/2 min.

La integridad del material genético, así como de los productos de amplificación se verificó por electroforesis en gel de agarosa al 0.8%.

La secuenciación de los productos de PCR se realizó en la unidad de secuenciación del Laboratorio de Genómica para la Biodiversidad (LANGEBIO) del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV-IPN).

Se utilizó el programa BLASTn para el análisis comparativo utilizando la base de datos de Nucleotide collection nr/nt de NCBI (Sayers et al., 2009), aplicando un valor de expectancia de 10, límites de coincidencia/incompatibilidad de 4, -5 y un costo por introducción de huecos de 6 y 5 de extensión.

Reconstrucción filogenética

El diseño y la construcción del árbol filogenético se realizó empleando las secuencias de los aislados obtenidos y aquellas que por análisis BLASTn, presentaron la mejor calificación de identidad con los aislados (Tabla 2; Números de acceso:

KF817747.1, KF788246.1, KC920586.1, JQ398852.1, GQ280808.1, FJ227312.1, JF441244.1, JN999831.1, KF515653.1, HQ324912.1, JF681286.1, KF437632.1, JF825890.1, HQ840771.1, KU862318.1, JX196957.1, KF751674.1, KC790300.1, KT943977, JF895527.1, KC139411.1, KF746895.1) correspondientes a las cepas *Enterobacter ludwigii*, *Enterobacter* sp. F65, 09-M1 y VITNC1, *Bacillus cereus* MG209 y bh11, *Serratia marcescens* A4 y *Serratia marcescens* subsp. *marcescens* JLZM21, *Pseudomonas plecoglossicida* LJ3, *Pseudomonas putida* P-1017-1, *Pseudomonas montelli* EU45, *Pseudomonas* sp. DHC8, Raj12, N1, D9-1, Yangling-14, SSKSD6, SK9, R873, Ebht3, *Citrobacter braakii* Hb-7 y *Citrobacter* sp. W-137-1, respectivamente.

Las secuencias se alinearon en el programa *BioEdit* (Hall, 1999) con la herramienta *ClustalW* (Thompson, Higgins, & Gibson, 1994) usando los parámetros estándar. Una vez alineadas y editadas las secuencias, se realizó la búsqueda del modelo de sustitución en el programa *JModelTest* 2.1.7 v20150530 (Posada, 2008).

El árbol filogenético se elaboró en el programa *MEGA5.2* (Tamura et al., 2011) empleando como método de reconstrucción máxima verosimilitud, con el modelo de sustitución *General Time Reverse* (GTR+G).

La distribución discreta Gamma fue utilizada para modelar las diferencias evolutivas entre los sitios (4 categorías (G = 1.2206), obtenido con el programa *JmodelTest* con un LnL=-7725. En la reconstrucción filogenética se utilizó un Bootstrap de 1100.

Resultados

Aislamiento microbiano

Los microorganismos obtenidos a través de las dos estrategias descritas en la metodología, permitieron la obtención de 116 aislados microbianos. Su distribución través de la tinción Gram, así como sus características coloniales y celulares de los aislados mostró que 43 son Gram positivos y 69 Gram negativos, de los cuales 37 fueron bacilos y 32 cocobacilos. La diversidad encontrada fue variable dependiendo del sitio de colecta de la muestra (Gráfico 1).

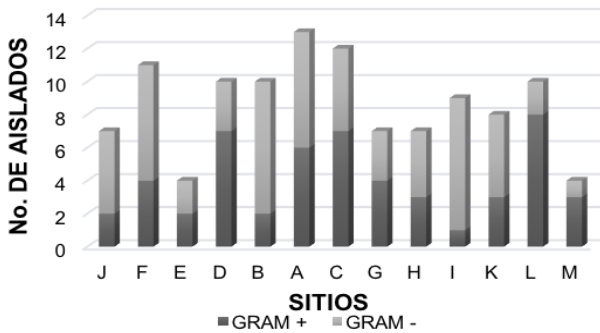


Gráfico 1 Distribución de aislados por punto de muestreo

El acomodo de las columnas está en base a la localización de los puntos de muestreo con respecto al sitio de fuga que corresponde al punto A.

Identificación de los aislados

De ésta colección, fueron seleccionados 50 aislados, considerando sus características macro y microscópicas, a los cuales se les realizó una caracterización bioquímica, para determinar su respuesta frente a las pruebas de actividad de catalasa y oxidasa, movilidad, hidrólisis de almidón, utilización de citrato, crecimiento en medio Vogues Proskauer y agar Mac-Conkey (Tabla 1; Holt, Krieg, Sneath, Staley, & Williams, 1994).

	C	OX	MOV	HA	UC	VP	FL	F.L	Aislado seleccionado
PG1									
PG2									AG1
PG3									AG2
PG4									
PG5									
PG6									AG3
PG7									
PG8									
PG9									AG4
PG10									AG5
PG11									
PG12									AG6
PG13									
PG14									AG7
PG15									
PG16									
PG17									
PG18									AG8
PG19									AG9
PG20									AG10
PG21									AG11
PG22									
PG23									
PG24									
PG25									
PG26									AG12
PG27									
PG28									AG13
PG29									
PG30									
PG31									
PG32									
PG33									
PG34									
PG35									
PG36									
PG37									
PG38						N			
PG39									
PG40									
PG41									
PG42									
PG43									AG14
PG44									
PG45									
PG46									AG15
PG47									
PG48									
PG49									
PG50									AG16

Negativo
 Positivo

Tabla 1 Resultados de las pruebas bioquímicas (C: Catalasa, OX: Oxidasa, MOV: movilidad, H.A: Hidrólisis de almidón, UC: Utilización de Citrato, VP: Voges-Proskauer, FL (EMB): Fermentación de Lactosa (Medio EMB), F.L (M.C): Fermentación de Lactosa (Mac-Conkey). N.- Presenta oxidación del medio cambiando a color negro

Se seleccionaron 16 aislados con características bioquímicas distintas, para caracterizarlos molecularmente por medio de la amplificación y secuenciación del gen 16S rDNA. En la Tabla 2 se muestran los resultados de la comparación genética contra la base de datos nr/nt.

Aislado	Punto de muestreo	Especie	% Cobertura	% Identidad	Tamaño de secuencia (nt)
AG1	F	<i>Enterobacter</i> sp. MTNC1	98	96	1240
AG2	F	<i>Enterobacter</i> sp. 09-M1	99	78	1051
AG3	G	<i>Pseudomonas</i> sp. Yangling 14	99	99	1167
AG4	A	<i>Bacillus cereus</i> MG209	99	97	1167
AG5	D	<i>Serratia marcescens</i> subsp. <i>marcescens</i> JLMZ21	98	97	1171
AG6	A	<i>Pseudomonas</i> sp. Ebht3	99	93	1205
AG8	C	<i>Pseudomonas</i> sp. SSKSD6	99	92	1220
AG9	C	<i>Pseudomonas</i> sp. NI	98	93	1226
AG10	D	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> R873	99	99	1196
AG11	E	<i>Pseudomonas peccoglossici</i> da LJ3	98	94	1173
AG12	G	<i>Pseudomonas putida</i> 5IIANH	88	71	1060
AG13	H	<i>Citrobacter</i> sp. W-137-1	92	90	1220
AG14	B	<i>Pseudomonas peccoglossici</i> da LJ3	97	94	1204
AG15	C	<i>Pseudomonas montellii</i> EU45	87	90	1197

Las secuencias correspondientes a los aislados AG7 y AG16 se eliminaron del análisis por la baja calidad que presentaban.

Tabla 2 Resultados del análisis comparativo de secuencias en la base de datos GeneBank de NCBI

Reconstrucción Filogenética

Para determinar la filiación genética de los aislados, se realizó una reconstrucción filogenética empleando como marcador molecular, un fragmento de aproximadamente 1100 nucleótidos del gen 16S rDNA (Figura 3). Las secuencias tipo de microorganismos con las que se compararon nuestros aislados correspondían a los principales blancos obtenidos mediante análisis tipo BLASTn.

Reconstrucción Filogenética

Para determinar la filiación genética de los aislados, se realizó una reconstrucción filogenética empleando como marcador molecular, un fragmento de aproximadamente 1100 nucleótidos del gen 16S rDNA (Figura 2).

Las secuencias tipo de microorganismos con las que se compararon nuestros aislados correspondían a los principales blancos obtenidos mediante análisis tipo BLASTn.

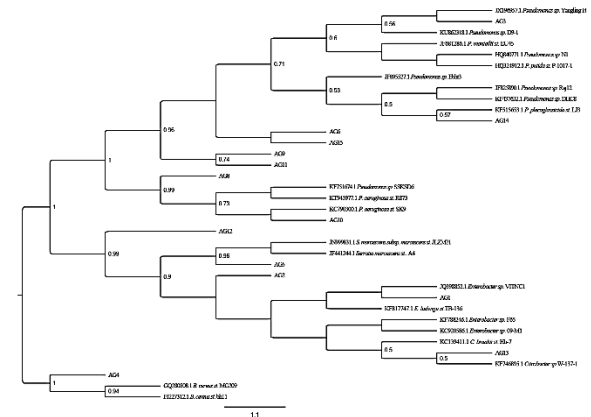


Figura 2 Reconstrucción filogenética del gen 16S rDNA de los aislados obtenidos. La historia evolutiva fue obtenida por el método de máxima verosimilitud basado en el modelo General-Time-Reverse (GTR+G). El análisis involucró 36 secuencias de nucleótidos con 952 posiciones. Los valores de Bootstrap ≥ 0.5 se indican.

Discusión de resultados

La emisión accidental al ambiente de derivados del petróleo, como la gasolina, hacen necesaria la implementación de técnicas eficientes para su remoción, con el fin de afectar en menor medida el ecosistema en la zona impactada.

En nuestro estudio, nos enfocamos en el aislamiento e identificación de bacterias con capacidad de degradar gasolina presentes en suelos agrícolas cercanos a tomas de dicho combustible, que presentan un potencial biotecnológico en biorremediación, a través de aislados naturales y autóctonos.

La caracterización bioquímica nos permitió observar la diversidad metabólica de los aislados.

Por su parte, la caracterización molecular mostró una distribución de los aislados en tres clados principales, donde las cepas AG1 y AG13 se asociaron con los géneros *Enterobacter* spp y *Citrobacter* spp, ambos géneros son de interés clínico (Dziri et al., 2016), aunque existen reportes asociados a cepas de *Enterobacter* spp y *Citrobacter* spp con capacidad de degradar compuestos aromáticos policíclicos y poliestireno (Sekhar et al., 2016; Singh, Srivastava, Gupta, & Gupta, 2011).

El aislado AG5 se agrupa con especies de *Serratia marcescens*, con un soporte estadístico de 0.96, lo que sugiere que dicho aislado se identifica con la cepa propuesta. En un reporte, Wongsa y col. (2004), aislaron y caracterizaron una cepa de *Serratia marcescens* capaz de degradar compuestos aromáticos de gasolina, así como keroseno y aceite lubricante, hasta en un 60% (Wongsa et al., 2004).

Por otro lado, aunque en este clado se agruparon los aislados AG2 y AG12, su filiación genética no es clara pero sugiere que están emparentados con la familia *Enterobacteriaceae*.

El clado con mayor proporción de OTUs, agrupó a los aislados (AG3, AG6, AG8, AG9, AG10, AG11, AG14 y AG15) con especies del género *Pseudomonas* (Figura 2).

Este resultado muestra la diversidad genética asociada a este género y que puede ser encontrada en los sitios contaminados con hidrocarburos.

Por ejemplo, John y col. (2012), aislaron e identificaron de suelo contaminado con diésel cepas de *Pseudomonas putida* y *Alcaligenes faecalis*, capaces de degradar hidrocarburos aromáticos policíclicos (John, Essien, Akpan, & Okpokwasili, 2012).

El aislado AG4, el único Gram positivo que se seleccionó para secuenciar, se relacionó con *Bacillus cereus*. Se ha reportado que dada la capacidad de especies del género *Bacillus* por esporular puede ser aislado con mayor frecuencia de muestras de suelo, dado que las esporas pueden tolerar con éxito las condiciones cambiantes del suelo. Asimismo, se han reportado *Bacillus subtilis* con capacidad de emplear el petróleo como fuente de carbono (Das & Mukherjee, 2007).

Conclusiones

La introducción accidental o intencional de gasolina en suelos afecta el desarrollo de especies vegetales de interés agrícola. La identificación y caracterización de bacterias con capacidad de utilizar gasolina como fuente de carbono permitirá el diseño de estrategias para remediar zonas impactadas. Los aislados bacterianos identificados en este trabajo dan la pauta para generar consorcios microbianos y establecer las condiciones de manejo y aplicación en caso de la introducción de gasolina en suelos de interés agrícola, para favorecer su recuperación.

Agradecimientos

Queremos agradecer a los miembros del Laboratorio de Diversidad e Interacción Microbiana (ITESI) y al Laboratorio de Bioquímica y Microbiología Ambiental (ITESA) por su apoyo durante la realización de experimentos y las discusiones de resultados.

Fuentes de financiamiento

Este trabajo fue realizado gracias al apoyo del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (PIFOCA-2015).

Contribución de los autores

El diseño experimental estuvo a cargo de VLR y CAM, el desarrollo de experimentos fue realizado por EAG y AGN, los análisis de los datos y escritura del artículo por CAM y VLR. Todos los autores revisaron y aprobaron la versión final de este artículo.

Referencias

- Bushnell, L. D., & Haas, H. F. (1941). The Utilization of Certain Hydrocarbons by Microorganisms. *Journal of Bacteriology*, 41(5), 653–673.
- Das, K., & Mukherjee, A. K. (2007). Crude petroleum-oil biodegradation efficiency of *Bacillus subtilis* and *Pseudomonas aeruginosa* strains isolated from a petroleum-oil contaminated soil from North-East India. *Bioresource Technology*, 98(7), 1339–1345.
- Dziri, R., Klibi, N., Andrea, C., Ben, L., Bellaaj, R., Ben, K., ... Torres, C. (2016). Characterization of extended-spectrum β -lactamase (ESBL)-producing *Klebsiella*, *Enterobacter*, and *Citrobacter* obtained in environmental samples of a Tunisian hospital. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 86(2), 7–10.
- Geetha, S. J., Joshi, S. J., & Kathrotiya, S. (2013). Isolation and Characterization of Hydrocarbon Degrading Bacterial Isolate from Oil Contaminated Sites. *APCBEE Procedia*, 5, 237–241.
- Hall, T. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows 95/98/NT. *Nucleic Acids Symposium Series*, 41, 95–98.
- Holt, J. H., Krieg, N. R., Sneath, P. H. a., Staley, J. T., & Williams, S. T. (1994). *Bergey's manual of determinative bacteriology ninth edition*. European Journal of Paediatric Neurology: EJPN: Official Journal of the European Paediatric Neurology Society, 13(6), 560.
- John, R. C., Essien, J. P., Akpan, S. B., & Okpokwasili, G. C. (2012). Polycyclic Aromatic Hydrocarbon-degrading Bacteria from Aviation Fuel Spill Site at Ibeno, Nigeria. *Bull Environ Contam Toxicol*, 88, 1014–1019.
- Lisek, A., Paszt, L. S. A. S., & Trzciński, P. (2014). Identification and Assessment of Genetic Similarity of Soil Bacterial Isolates of *Pseudomonas* spp. Using Molecular Techniques. *Polish Journal of Microbiology*, 63(3), 291–298.
- Maniatis, T., Fritsch, E. F., & Sambrook, J. (1982). *Molecular cloning: a laboratory manual (Cold Spring)*. New York: Cold Spring Harbor.
- Pérez-Gutiérrez, R.-A., López-Ramírez, V., Islas, Á., Alcaraz, L. D., Hernández-González, I., Olivera, B. C. L., ... Olmedo-Alvarez, G. (2013). Antagonism influences assembly of a *Bacillus* guild in a local community and is depicted as a food-chain network. *The ISME Journal*, 7(3), 487–97.
- Posada, D. (2008). jModelTest - Phylogenetic Model Averaging. *Mol. Biol. Evol.*, 25(7), 1253–1256.
- Roy, A. S., Baruah, R., Borah, M., Singh, A. K., Deka Boruah, H. P., Saikia, N., ... Chandra Bora, T. (2014). Bioremediation potential of native hydrocarbon degrading bacterial strains in crude oil contaminated soil under microcosm study. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 94, 79–89.

Sayers, E. W., Barrett, T., Benson, D. A., Bryant, S. H., Canese, K., Chetvernin, V., ... Ye, J. (2009). Database resources of the National Center for Biotechnology Information. *Nucleic Acids Research*, 37(SUPPL. 1), 5–15.

Sekhar, V. C., Nampoothiri, K. M., Mohan, A. J., Nair, N. R., Bhaskar, T., & Pandey, A. (2016). Microbial degradation of high impact polystyrene (HIPS), an e-plastic with decabromodiphenyl oxide and antimony trioxide. *Journal of Hazardous Materials*, 318, 347–354.

Singh, G., Srivastava, S., Gupta, S., & Gupta, N. (2011). Evaluation of Carbazole Degradation by *Enterobacter* sp. Isolated from Hydrocarbon Contaminated Soil. *Rec. Res. Sci. Tech.*, 11(3), 44–48.

Tamura, K., Peterson, D., Peterson, N., Stecher, G., Masatoshi, N., & Kumar, S. (2011). MEGA5: Molecular Evolutionary Genetics Analysis Using Maximum Likelihood, Evolutionary Distance, and Maximum Parsimony Methods. *Mol. Biol. Evol.*, 28(10), 2731–2739.

Thompson, J. D., Higgins, D. G., & Gibson, T. J. (1994). CLUSTAL W: Improving the sensitivity of progressive multiple sequence alignment through sequence weighting, position-specific gap penalties and weight matrix choice. *Nucleic Acids Research*, 22(22), 4673–4680.

Wongsa, P., Tanaka, M., Ueno, A., Hasanuzzaman, M., Yumoto, I., & Okuyama, H. (2004). Isolation and characterization of novel strains of *Pseudomonas aeruginosa* and *Serratia marcescens* possessing high efficiency to degrade gasoline, kerosene, diesel oil, and lubricating oil. *Current Microbiology*, 49(6), 415–422.

Evaluación de ácidos como catalizadores en la hidrólisis de inulina de *Agave Tequilana* Weber var. Azul

GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio*†, BERNAL-ARROYO, Beatriz, GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, Claudia Ernestina y SEGOVIANO-GARFÍAS, Nezahualcoyolt´

Departamento de Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI). Irapuato, Gto 36821, México

Departamento de Ciencias Ambientales, Universidad de Guanajuato, Campus Irapuato-Salamanca. México

Recibido Agosto 15, 2016; Aceptado Septiembre 17, 2016

Resumen

En este trabajo se muestra un estudio del efecto del ácido clorhídrico y sulfúrico sobre la hidrólisis de inulina de agave en la producción de miel. A fin de determinar las mejores condiciones de operación de esta etapa, se aplicó un diseño factorial 23 empleando como factores la temperatura, el tipo y la concentración del ácido, y como variables respuesta el porcentaje de hidrólisis medido como contenido de azúcares reductores (AR) con el método DNS y la concentración de 5-Hidroximetilfurfural (HMF) utilizando el método de White. Una vez realizado el análisis de varianza de los ensayos y la prueba de efectos se determinó que todos los factores e interacciones son estadísticamente significativos con un valor $p < 0.05$. Siendo el tipo de ácido el factor más significativo. Las condiciones de operación a las que se alcanzó mayor porcentaje de hidrólisis del 79% y contenido de HMF dentro de parámetros de norma fueron empleando ácido sulfúrico al 0.5% con una temperatura de 80 °C.

Hidrólisis ácida, agave, miel de agave, diseño factorial

Abstract

This paper presents a study of the effect of hydrochloric and sulfuric acid on the hydrolysis of inulin from agave in the production of syrup. In order to determine the best operating conditions of this stage, a factorial design 23 was applied using the temperature, type and concentration of acid as factors, whilst as response variables were used the percentage of hydrolysis measured as the content of reducing sugars (AR) with DNS method and the concentration of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) using the method of White. Once completed the analysis of variance of tests and test effects, it was determined that all factors and interactions are statistically significant at value of $p < 0.05$. It is must pointed out that the type of acid is the most significant factor. The operating conditions to which the greatest percentage of hydrolysis of 79% was reached and HMF content, within standard parameters, were using 0.5% sulfuric acid at a temperature of 80 °C.

Acid hydrolysis, agave, agave syrup, factorial design

Citación: GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio, BERNAL-ARROYO, Beatriz, GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, Claudia Ernestina y SEGOVIANO-GARFÍAS, Nezahualcoyolt. Evaluación de ácidos como catalizadores en la hidrólisis de inulina de *Agave Tequilana* Weber var. Azul. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016. 3-8: 33-38.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: refugio.gonzale@itesi.edu.mx)

† Investigador contribuyente como primer autor.

Introducción

El Agave es un cultivo importante en la industria en México debido a las numerosas bebidas fermentadas y destiladas obtenidas a partir de la gran variedad de especies disponibles (Ávila y col, 2011). El *Agave tequilana* Weber variedad azul, es una de las especies económicamente más importantes ya que constituye la materia prima para la producción de tequila (Montañez y col, 2011).

Esta industria demanda anualmente un millón de toneladas de cabezas de agave, lo que genera un volumen similar de hojas que no se utilizan, esto ha llevado a la búsqueda de productos alternativos, como son la miel de agave y la inulina, para aprovechar estos residuos.

La miel de agave se define como la sustancia dulce natural producida por la hidrólisis de los oligosacáridos del agave (NMX FF110-SCI-2008), en los últimos 10 años este edulcorante ha tenido mucha demanda como sustituto del azúcar debido a su bajo índice glucémico (Foster-Powell, y col, 2002), capacidad antioxidante (Phillips y col, 2009), y propiedades antibacteriales (Davidson y Ortiz de Montellano, 1983). Existen diversos métodos para la hidrólisis del jugo de agave como son hidrólisis térmica, ácido-térmica y enzimática.

La hidrólisis térmica tiene la desventaja que durante el proceso pueden producirse algunos fenómenos desfavorables tales como las reacciones de Maillard que resultan en compuestos indeseables, tales como furfural e hidroximetilfurfural (HMF), que causa sabores desagradables y aromas en el producto terminado (Mancilla-Margalli y López, 2002 ; Waleckx y col, 2008).

En cuanto a la hidrólisis enzimática una de sus principales ventajas es la alta especificidad de acción de las enzimas lo que hace que no se produzcan reacciones secundarias inesperadas.

Sin embargo, este proceso tiende a ser más caro que el método tradicional debido a los gastos de las enzimas (agregar enzimática).

La hidrólisis ácida es el método más utilizado debido a su eficiencia y bajo costo (Kumar y col., 2009 y Saucedo y col, 2010) sin embargo, dependiendo de la intensidad de las condiciones de hidrólisis (temperatura, tiempo de reacción y concentración de ácido), se puede tener la formación de subproductos tóxicos como HMF (Saucedo -Luna y col., 2010).

Por lo tanto con el fin de aumentar el rendimiento de fructosa en la producción de miel, manteniendo los límites de generación de subproductos como el HMF es necesario hacer una evaluación de la hidrólisis ácido térmico a fin de determinar las mejores condiciones de operación para esta etapa.

Para el desarrollo de este trabajo primero se hizo una evaluación del porcentaje de hidrólisis utilizando diferentes condiciones (temperatura, tipo y concentración de ácido) mediante el empleo de un diseño factorial 3^2 , sin dejar de lado la concentración de HMF, posteriormente se hizo un análisis de varianza de factores para determinar si estos o sus interacciones tienen o no efecto significativo sobre ambas variables respuesta y con ello determinar las condiciones de operación más adecuadas.

Materiales y métodos

Materiales

Para los ensayos de hidrólisis se empleó inulina soluble comercial marca Preventy® proveniente de *Agave tequilana* Weber variedad azul, fructosa estándar, HCl, H₂SO₄, ácido 3,5-DNS, hidróxido de sodio, sal de Rochelle, fenol, sulfito de sodio, ácido cítrico monohidratado, fosfato disódico, carbonato de sodio, solución Carrez I y II, todos grado analítico (Sigma-Aldrich). Se usó el equipo UV-vis Cary 50 para las determinaciones de azúcares reductores y HMF.

Diseño de experimentos

Se propuso un diseño factorial 2³ para evaluar el efecto de la temperatura (80°C y 95°C), el tipo de ácido (HCl y H₂SO₄) y la concentración del ácido (0.3 % y 0.5 %), en la hidrólisis de inulina de agave, considerando como variables respuesta el porcentaje de hidrólisis, medido como el contenido de azúcares reductores, y la concentración de HMF.

Hidrólisis ácido-térmica

Azúcares reductores en Inulina soluble.

Se preparó una solución al 30% p/v de inulina de agave.

Previo a someter la solución de inulina a la hidrólisis se evaluó el contenido inicial de azúcares reductores a 540nm utilizando el método DNS, para ello se empleó una curva de calibración de fructosa estándar.

Hidrólisis de inulina.

El proceso de hidrólisis se llevó a cabo en base al diseño de experimentos propuesto.

Se colocaron 50 ml de solución de inulina al 30% en un matraz Erlenmeyer, se le adicionó la solución de ácido y se colocó en la parrilla eléctrica por un tiempo de 1h, la concentración de ácido y temperatura se varió según el tratamiento. Una vez finalizada la etapa de hidrólisis las muestras fueron neutralizadas con carbonato de sodio 2 M, posteriormente se determinaron tanto el contenido de azúcares reductores a 540 nm por el método DNS (Miller 1959), como el HMF por el método espectrofotométrico White (Zappalá, 2005).

Análisis de datos. Los resultados experimentales fueron analizados mediante un ANOVA factorial con un nivel de significancia $p < 0.05$ y prueba de interacción de efectos empleando el Software JMP statistical Discovery® de SAS. Cabe mencionar que todos los tratamientos se realizaron por cuadruplicado y completamente al azar.

Resultados y discusión

Diseño de experimentos. En la tabla 1. Se muestra el diseño factorial empleado para los ensayos de hidrólisis de inulina de agave.

Tratamiento	Valor real			Valor codificado		
	X ₁	X ₂ (% w/v)	X ₃ (°C)	x ₁	x ₂	x ₃
1	HCl	0.3	80	-1	-1	-1
2	HCl	0.5	80	-1	1	-1
3	HCl	0.3	95	-1	-1	1
4	HCl	0.5	95	-1	1	1
5	H ₂ SO ₄	0.3	80	1	-1	-1
6	H ₂ SO ₄	0.5	80	1	1	-1
7	H ₂ SO ₄	0.3	95	1	-1	1
8	H ₂ SO ₄	0.5	95	1	1	1

Tabla 1 Diseño factorial 2³ para la hidrólisis de inulina de agave

X₁, x₁: Valor real y codificado del tipo de ácido

X₂, x₂: Valor real y codificado de concentración de ácido

X₃, x₃: Valor real y codificado de temperatura

Azúcares reductores en Inulina soluble.

Para la determinación de la concentración de los azúcares reductores se empleó una curva de calibración de fructosa estándar, mostrada en el Grafico 1.

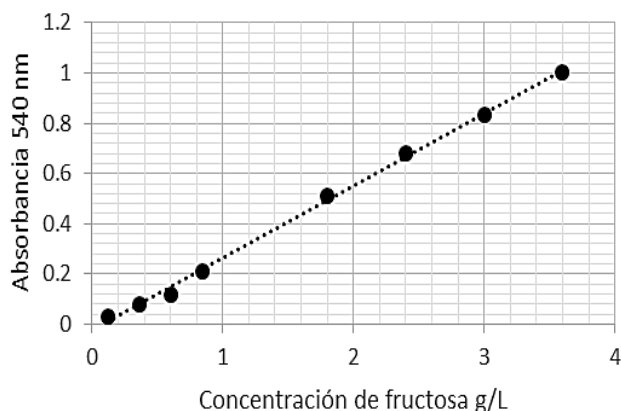


Grafico 1 Curva de calibración de fructosa medida a 540 nm

La ecuación de la recta empleada con un valor de ajuste R^2 de 0.99 fue:

$$y = 0.2876x - 0.0253 \quad (1)$$

Se encontró que la solución al 30% de inulina comercial contiene inicialmente 23 g/L de azúcares reductores, lo que equivale a 7.6% es decir no es inulina completamente pura. Este dato es importante para ser considerado en el resultado final de hidrólisis.

Hidrólisis de inulina.

Los resultados obtenidos de la concentración de azúcares reductores y contenido de hidroximetilfurfural en la hidrólisis ácido-térmica de la inulina de agave para cada uno de los tratamientos del diseño de experimentos se muestra en la Tabla 2 y 3 respectivamente.

Tratamiento	Valor codificado			Variable respuesta(Azúcares reductores g/L)			
	x ₁	x ₂	x ₃	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
1	-1	-1	-1	106.83	113.49	108.95	117.4
2	-1	1	-1	136.16	135.01	140.65	147.49
3	-1	-1	1	161.05	175.32	173.13	178.06
4	-1	1	1	103.04	100.92	105.27	99.192
5	1	-1	-1	160.52	152.32	146.03	152.21
6	1	1	-1	204.24	216.8	239.8	219.93
7	1	-1	1	173.47	168.14	184.25	178.78
8	1	1	1	245.82	249.91	228.11	231.66

Tabla 2 Respuesta de azúcares reductores en la hidrólisis ácido-térmica de inulina de agave

R₁, R₂, R₃, R₄: Réplica 1, 2, 3 y 4 respectivamente

Tratamiento	Valor codificado			Variable respuesta (Hidroximetilfurfural mg/Kg)			
	x ₁	x ₂	x ₃	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄
1	-1	-1	-1	14.04	13.27	10.76	11.6
2	-1	1	-1	50.63	48.56	29.89	42.93
3	-1	-1	1	43.68	47.21	49.85	49.92
4	-1	1	1	73.2	68.74	62.66	67.52
5	1	-1	-1	44.32	45.68	48.51	46.82
6	1	1	-1	39.77	33.12	29.03	31.42
7	1	-1	1	31.03	31.07	33.08	33.29
8	1	1	1	48.98	50.27	53.89	52.185

Tabla 3 Respuesta de hidroximetilfurfural en la hidrólisis ácido térmica de inulina de agave

R₁, R₂, R₃, R₄: Réplica 1, 2, 3 y 4 respectivamente

En la tabla 2 se observa que los tratamientos con mayor concentración de azúcares reductores (mayor porcentaje de hidrólisis) son el 6 y 8 correspondientes a H₂SO₄ al 0.5 % con 80 y 95 °C respectivamente. Sin embargo con respecto al contenido de hidroximetilfurfural para estos mismos tratamientos se observa que para el tratamiento 8 este parámetro rebasa los 40 mg/kg que es el límite permitido en base a la norma NMX-FF-110-SCFI-2008.- Alimentos jarabe de agave 100% especificaciones y métodos de prueba-, y para el tratamiento 6 este parámetro es de 33 mg/kg.

Análisis de datos.

Se determinó mediante un ANOVA factorial que las medias de todos los tratamientos tienen una diferencia significativa, esto se afirma con una probabilidad del 96%.

En la tabla 4 se muestra la prueba de interacción de efectos para la variable respuesta concentración de azúcares reductores,

Fuente	Suma de cuadrados	Relación F	Prob>F
Tipo ácido	83.8683	9.3059	0.0055
Concentración	1929.6506	214.1120	<.0001
Temperatura	1745.9652	193.7304	<.0001
Tipo ácido*Concentración	1234.8055	137.0127	<.0001
Tipo ácido *Temperatura	1328.3501	147.3923	<.0001
Concentración*Temperatura	145.0844	16.0984	0.0005
Tipo ácido*Concentración *Temperatura	1122.7192	124.5757	<.0001

Tabla 4 Prueba de efectos de la variable respuesta “Concentración de azúcares reductores”

Donde se puede observar que los factores temperatura, concentración y tipo de ácido así como sus interacciones excepto la de tipo de ácido-temperatura afectaron de manera significativa la cantidad de inulina hidrolizada durante los tratamientos, siendo el factor tipo de ácido el que presenta mayor efecto seguido de la interacción entre tipo de ácido y concentración.

Así mismo se hizo el análisis estadístico de datos para la variable respuesta de la concentración de hidroximetilfurfural, encontrándose que si existen diferencias significativas de las medias de los tratamientos con un factor de correlación de 0.97. En la tabla 5 se muestra la prueba de interacción de efectos para esta variable respuesta.

Fuente	Suma de cuadrados	Relación F	Prob>F
Tipo ácido	36349.298	359.0862	<.0001
Concentración	3248.635	32.0925	<.0001
Temperatura	2518.463	24.8793	<.0001
Tipo ácido*Concentración	14477.572	143.0205	<.0001
Tipo ácido *Temperatura	193.617	1.9127	0.1790
Concentración *Temperatura	3832.085	37.8563	<.0001
Tipo ácido *Concentración *Temperatura	3581.391	35.3797	<.0001

Tabla 5 Prueba de efectos de la variable respuesta “Concentración de hidroximetilfurfural”

Donde se puede observar que todos los factores así como sus interacciones afectan de manera significativa la concentración de hidroximetilfurfural durante los tratamientos, siendo el factor concentración se ácido y temperatura los que presentan mayor efecto, ya que bajo condiciones ácidas y alta temperatura se favorece la formación de este compuesto.

Conclusiones

Se observó mayor formación de HMF y concentración de AR cuando se aplican condiciones de temperatura y concentraciones de ácido más drásticos.

Con el empleo de HCl se logró un menor porcentaje de hidrólisis que va del 36% - 62% comparado con el H₂SO₄ donde se obtuvieron porcentaje de hidrólisis de 65-86%.

De acuerdo a los resultados obtenidos podemos aseverar que la mejor condición de hidrólisis de inulina fue usando H₂SO₄ al 0.5% a una temperatura de 80°C ya que se obtuvo un buen porcentaje de hidrolizado de 79% y una concentración de 33 mg/kg de HMF parámetro dentro del límite permisible por la normatividad mexicana.

Referencias

Ávila Fernández, A., Galicia Lagunas, N., Rodríguez Alegría, M., Olvera, C., y López-Munguía, A. (2011). Production of functional oligosaccharides through limited acid hydrolysis of agave fructans. *Food Chemistry*, 129(2), 380-386

Davidson, J. R., and Ortiz de Montellano, B. R. (1983). The bacterial properties of an Aztec wound remedy. *Journal of Ethnopharmacology*, 8, 149-161.

Foster-Powell, K., Holt, S. H. A., and Brand-Miller, J. C. (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76, 5–56.

Mancilla, M. y M. López. (2006). Water-soluble carbohydrates and fructan structure patterns from *Agave* and *Dasyliirion* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 7832-7839.

Miller, G. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry* 31: 420-428.

Montañez, J., Venegas, J., Vivar, M. (2011). Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del *Agave tequiliana* Weber Azul. *Bioagro*. 23(3): 199-206.

NMX-FF-110-SCFI-2008. (2009) Alimentos jarabe de agave 100% especificaciones y métodos de prueba. Secretaría de Economía. Diario Oficial de la Federación (2009).

Phillips, K. M., Carlsen, M. H., and Blomhoff, R. (2009). Total antioxidant content of alternatives to refined sugar. *Journal of the American Dietetic Association*, 109,64–71.

Saucedo-Luna, J., Castro-Montoya, A. J., Rico, J. L., & Campos-García, J. (2010). Optimization of acid hydrolysis of bagasse from *Agave tequilana* Weber. *Revista mexicana de ingeniería química*, 9(1), 91-97.

Waleckx, A. Gschaedler, B. Colonna-Ceccaldi, P. Monsan. (2008). Hydrolysis of fructans from *Agave tequilana* Weber var. azul during the cooking step in a traditional tequila elaboration process. *Food Chem.*, 108:40–48

Zappalà, M., Fallico, B., Arena, E., Verzera, A. (2005) Methods for the determination of HMF in honey: a comparison. *Food Control* 16: 273–277.

Fortificación de harina de maíz con nanopartículas de hierro sintetizadas con extracto de moringa (*Moringa oleifera*)

CARRILLO, María*†, TREJO, Jorge, REYES, Abigail y ZAVALA, Diana

Recibido Julio 05, 2016; Aceptado Septiembre 09, 2016

Resumen

La anemia ferropénica es uno de los padecimientos que en México aún no ha sido erradicado. Para contribuir a su tratamiento se propone el uso de la nanotecnología, que se aplica en diferentes áreas modificando moléculas biológicas. El objetivo de este trabajo fue fortificar harina de maíz con nanopartículas de hierro (FeNps) sintetizadas con extracto de hojas de moringa (*M. oleifera*), una planta con alto valor nutritivo, las cuales se obtuvieron a partir del extracto de *M. oleifera* y de una solución de FeSO₄. La formación de las FeNps se confirmó por espectrofotometría de absorción y por microscopía electrónica de barrido. Las FeNps se adicionaron a harina de maíz para elaborar tortillas, y se les cuantificó el contenido de cenizas, se determinó su vida útil y se evaluaron sensorialmente. El contenido de minerales en la tortilla elaborada con harina adicionada y sin adicionar FeNps fue de 2.1 y 1.6 % respectivamente. Éstas tuvieron buena aceptación sensorial e incrementaron su vida útil hasta por 23 días. La fortificación de harina de maíz con FeNps para elaborar tortillas es una alternativa viable para la prevención de la anemia ferropénica.

Anemia ferropénica, nanopartículas, síntesis verde, fortificación

Citación: CARRILLO, María, TREJO, Jorge, REYES, Abigail y ZAVALA, Diana. Fortificación de harina de maíz con nanopartículas de hierro sintetizadas con extracto de moringa (*Moringa oleifera*). Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016, 3-8: 39-45.

Abstract

Iron deficiency anemia is one of the conditions that Mexico has not yet been eradicated. To help treatment using nanotechnology, it applied in different areas proposes modifying biological molecules. The aim of this work was to fortify corn flour with iron nanoparticles (FeNps) synthesized with moringa leaf extract (*M. oleifera*), a plant with high nutritional value. The FeNps were obtained from *M. oleifera* extract and FeSO₄ solution. The formation of FeNps was confirmed by absorption spectrophotometry and by scanning electron microscopy. The FeNps were added to corn flour for tortillas, and they quantified the ash content, life was determined and evaluated sensorially. The mineral content in flour tortillas made with added without adding FeNps was 2.1 and 1.6% respectively. They had good sensory acceptance and increased life up to 23 days. Fortification of corn flour for tortillas FeNps is a viable option for the prevention of iron deficiency anemia alternative.

Iron deficiency anemia, nanoparticles, green synthesis

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: hmonroysalazar@gmail.com)

† Investigador contribuyente como primer autor.

Introducción

La anemia por deficiencia de hierro es uno de los problemas nutricionales de mayor magnitud en el mundo. La OMS estima que un 24.8% de la población mundial padece anemia (OMS, 2012). En México, a pesar de conocer su etiología y tener a disposición el conocimiento de cómo enfrentarla y de saber que las intervenciones son de bajo costo, aún no se ha podido superar este problema (De la Cruz-Góngora et al., 2013).

Aunque en el mercado existen alimentos como, cereales, leche y alimentos para lactantes que han sido fortificados con FeSO_4 , esta fortificación no ha ayudado a disminuir los niveles de anemia en la población, esto debido a que el hierro empleado no es fácilmente asimilado por el organismo y a que los alimentos fortificados no son de consumo general entre la población.

En los últimos años la industria alimentaria ha crecido, y dentro de este campo la nanotecnología, que ha empezado a encontrar aplicaciones modificando moléculas biológicas mediante ingeniería. Los nanomateriales permiten una mejor encapsulación y liberación de los ingredientes activos en comparación con los agentes tradicionales (Soto y López, 2011).

Debido al impacto que tiene la síntesis de nanomateriales en el medio ambiente, se están buscando nuevas alternativas para la producción de las nanopartículas (Nps) que sean más amigables con la naturaleza, también conocidas como síntesis verde, y que produzcan una menor cantidad de desechos tóxicos, extractos de plantas han sido empleados con éxito. *M. oleifera* es una planta que tiene uso alimenticio, y cuyas hojas, flores y raíces son altamente apreciados por su valor nutritivo (Martín et al., 2013).

Por lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo fortificar tortillas de maíz mediante la adición de nanopartículas de hierro (FeNps) sintetizadas con extracto de *Moringa oleifera*, con la finalidad de contribuir al tratamiento de la anemia ferropénica.

Materiales y métodos

Obtención del extracto

Las hojas secas de *M. oleifera* se adquirieron con un productor local en Cd. Valles, S.L.P. Para obtener el extracto de *M. oleifera* se usó el método de maceración. Se colocaron 10 g de hojas secas y pulverizadas en 100 mL de agua desionizada y se mantuvieron a 30°C a 136 rpm durante 24 horas en un agitador de mesa digital *Shaker* Ika KS 4000 i control. El extracto se filtró en papel filtro de poro mediano (0.19 mm con retención de partículas de 8-12 μm), se esterilizó por filtración en membrana Whatman de 2 μm y se almacenaron a 4°C hasta su uso.

Síntesis verde de FeNps

Para la síntesis de las FeNps se hicieron algunas modificaciones a la técnica descrita por Eltayeb (2015). A 50 mL del extracto acuoso de hojas de *M. oleifera* se mezclaron con 50 mL de solución de FeSO_4 0.1 M en un matraz Erlenmeyer, y se dejaron en agitación a 40° durante 24 h (Figura 1). La solución de FeNps se almacenó a 4°C para su posterior análisis.

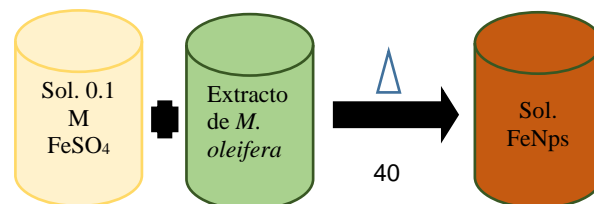


Figura 1 Esquema de la síntesis de nanopartículas de hierro

Caracterización fisicoquímica de la solución de FeNps

A la solución de FeNps se le determinó el pH y el potencial redox; se le realizó su espectro de absorción y se observó por microscopía electrónica de barrido.

pH y potencial redox

A la solución obtenida de FeNps se le midió el pH y el potencial redox con un potenciómetro OAKTON 2700, durante la reducción de los iones de Fe el pH disminuye, se le midió el pH en los 7 días posteriores para comprobar que éste no disminuye y que las Nps permanecen estables (Puiso et al., 2014).

Espectrofotometría UV-Vis.

Se realizó un espectro de absorción del extracto de *M. oleifera*, de la solución de FeSO_4 y de FeNps.

Para medir cada muestra 0.1 mL se diluyó con 2 mL de agua desionizada y se midió a absorbancia en un intervalo de 200-600 nm usando un espectrofotómetro marca Thermo modelo Genesis 10 UV se usó como blanco agua desionizada (Eltayeb, 2015).

Microscopía electrónica de barrido.

La morfología de las Nps se analizó mediante microscopía electrónica de barrido en un equipo de microscopía electrónica de barrido por efecto de campo (FE-SEM por sus siglas en inglés) marca FEI modelo INSPECT F-50.

Las FeNps se esparcieron sobre una cinta adhesiva de carbono, la cual fue montada sobre un disco de latón y se le tomó una foto al disco donde se encontraban las muestras con la intención de enfocar dentro de la cámara del microscopio.

Una vez que se cerró la cámara de la muestra se esperó para que se generara vacío con la intención de que no hubiera interferencias con la muestra. Se usó un voltaje de 2.00 y 5.00 kV y se seleccionó la opción de imagen por electrones retrodispersados.

Fortificación de harina de maíz con FeNps

A 100 g de harina de maíz nixtamalizado se le adicionaron 30 mL de la solución de FeNps y 15 mL de agua. Con la masa así preparada se elaboraron tortillas. La NOM-051-SSA-2010 considera que la ingesta diaria recomendada (IDR) de Fe para la población mexicana es de 17 mg, y Cervera et al. (2004) reportan que para los niños es de 15 mg. Considerando que una tortilla fortificada con FeNps contiene 3 mg, se recomienda ingerir tres tortillas diarias, ya que el consumo de otros alimentos que contienen Fe contribuirán también a alcanzar la IDR.

El consumo de tortillas puede variar dependiendo de los hábitos alimenticios de cada persona. También se elaboraron tortillas de la manera tradicional sin adición alguna. A las tortillas así elaboradas se les realizó análisis químico proximal. Todos los análisis se realizaron por triplicado. Así mismo, es importante recordar que la población a la que estará destinado este alimento, será la población infantil.

Análisis químico proximal

Con la finalidad de conocer el cambio en el contenido de nutrientes, a la tortilla con y sin solución de FeNps se les realizó el análisis químico proximal (humedad, cenizas, fibra, proteínas, lípidos y carbohidratos) (AOAC, 2012).

Determinación de cenizas.

Para la determinación de cenizas se pusieron a peso constante 3 crisoles, para esto se colocaron en una estufa Marca Binder a 100°C por 24 h, posterior a éste se sacaron y colocaron en un desecador y se pesaron en una balanza semianalítica marca OHAUS modelo Pioneer cada hora hasta que no hubiera una diferencia mayor de 0.05 g en cada medición. Posteriormente se pesaron 5 g de la muestra en cada crisol y se colocaron en una mufla a 550 °C por 24 h. Se anotó el peso final de cada crisol y se calculó el contenido de cenizas presentes (Ecuación 1).

$$\% \text{ de cenizas} = \frac{\text{Peso final} - \text{Peso inicial}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100 \quad (1)$$

La información nutrimental y el contenido energético se obtuvieron de acuerdo a lo indicado en la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados. . Estos se determinaron a partir de las tablas de valor nutritivo de los alimentos de mayor consumo en México (Ledezma et al., 2010).

Estudio de vida útil

La vida útil de las tortillas adicionadas con y sin FeNps, se estableció a partir de su análisis microbiológico y su evaluación sensorial. Cada tercer día se realizó el análisis microbiológico. La muestra se almacenó en bolsas plásticas oscuras con la intención de proteger de la luz, en refrigeración a una temperatura de 4°C. El fin de su vida útil se consideró como el tiempo en que se excedieron los límites microbiológicos que especifica el Proyecto de calidad microbiológica de alimentos potencialmente peligrosos, que emite la Secretaría de Salud. El número de días de vida útil se consideró aquel en el que los evaluadores detectaron un cambio en el producto almacenado adicionado con y sin FeNps y uno recién elaborado.

Se elaboraron dos lotes de tortillas. Un lote con FeNps y otro lote sin FeNps. Cada lote constó de 7 paquetes con 15 tortillas cada uno. Cada tercer día se sacó un paquete en refrigeración a 4 °C y se le hicieron análisis microbiológicos (*S. aureus* y coliformes totales).

Evaluación sensorial

A las personas que participaron en estas pruebas firmaron una carta de consentimiento informado. En una primera etapa, la evaluación sensorial se llevó a cabo en las instalaciones de la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Huasteca de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Además de una prueba de aceptación usando una escala hedónica, se usó una prueba de comparación por pares no direccionada. A un panel de 25 jueces no entrenados (n=25). Se proporcionaron dos muestras de tortilla: una que fortificada con la solución de FeNps y otra que no. Las muestras se codificaron con números aleatorios y a cada juez se le proporcionaran por escrito las instrucciones para la prueba (Anexo 4). Los resultados de la prueba se analizaron mediante la prueba de χ^2 con un intervalo de confianza de 95 % (Carrillo y Zavala, 2012).

Análisis estadístico

Para determinar si existen diferencias significativas entre las muestras se aplicó un análisis de varianza (ANDEVA) de una vía. A un nivel de significancia del 5 % ($p= 0.05$). Los parámetros estadísticos se calcularon empleando el paquete PASW Statics 18 (PASW, 2009). Las características descriptivas de las muestras se presentaron como frecuencias (%) con sus respectivos intervalos de confianza al 95 %. Todos los análisis se realizaron por triplicado.

Discusión de resultados

Síntesis de FeNps

Debido al proceso de biorreducción se observó un cambio de coloración en las soluciones de extracto de *M. oleifera* y la de FeSO_4 0.1 M.

En la solución de FeNps se apreció un cambio de coloración después de 24 h en agitación a 40 °C, lo que sugiere la formación de Nps coloidales de Fe en la solución.

El proceso de reducción en este caso fue rápido debido a que este se lleva en horas, como el proceso de biorreducción de las nanopartículas de plata, las cuales se pueden encontrar a partir de las 6 hrs (Roy et al., 2015).

En este tipo de procesos se espera que los átomos de Fe se arreglen por si solos y pasen de un estado de oxidación Fe^{2+} a Fe^0 (Ullah et al., 2015).

En el Gráfico 1 el pico observado a una longitud de onda de 450 nm en el espectro de absorbancia de la solución de FeNps 50:50 se atribuye a la excitación del plasmón, lo que indica la posible presencia de la FeNps.

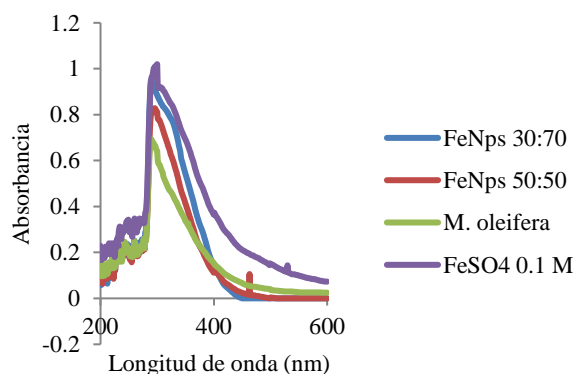


Gráfico 1 Espectro de absorción de FeNps

Microscopía electrónica de barrido

En parte superior de la Figura 2, se observan agregados de nanomaterial con una coloración blanca esto se observó a una magnificación de 40 000 x, sin embargo se encontraron partículas separadas de éstos, las cuales al ser medidas por el software mostraron tamaños desde 50 nm a 95 nm evidenciando la presencia de nanomateriales, esto debido a que se considera como nanopartículas a aquellas con un tamaño menor de 100 nm de diámetro que exhiben propiedades nuevas y mejoradas (Syed et al., 2013). Las Nps observadas no mostraron una estructura circular, ya que fueron estructuras irregulares o cristalinas, lo que hace pensar que son agregados de Nps. Esta formación de agregados fue muy similar a la producción de FeNps mediante *Lawsonia inermis* realizada por Nassem y Akhyar (2015).

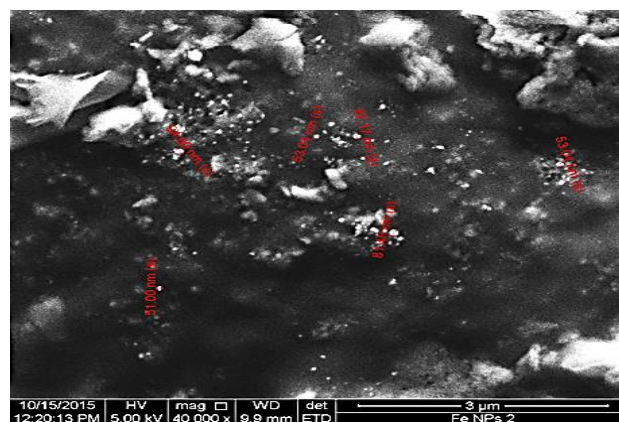


Figura 2 Microscopía electrónica de barrido de nanopartículas de Fe con aumento a 40,000 x y 5.00 kV (HV: Alto voltaje, kV: kilovoltios, Mag: Magnificación, WD: Distancia de trabajo, µm: micrómetros)

Análisis químico proximal

La solución de FeNps se adicionó a la harina de maíz nixtamalizado. Los resultados del análisis químico proximal de la tortilla (Tabla 1) mostraron un incremento en el contenido de minerales en la tortilla fortificada con FeNps.

El consumo de tres tortillas aportará 9 mg de Fe, mientras que la Ingesta Diaria Recomendada es de 15 mg de Fe para niños.

Macronutriente	Tortillas de maíz con FeNps	Tortillas de maíz sin fortificar
Proteínas (%)	3.9	3.9
Lípidos (%)	1.5	1.5
Carbohidratos (%)	39.6	39.6
Cenizas (%)	2.1	1.6
Fibra cruda (%)	1.2	1.2

Tabla 1 Composición química de tortillas elaboradas con harina de maíz fortificada con FeNps y sin fortificar

Evaluación sensorial y vida útil de tortillas de maíz

Se llevó a cabo la evaluación sensorial de tortillas de maíz fortificadas y tortillas sin fortificar. Las tortillas fortificadas se evaluaron por un panel no entrenado (n=25) mediante una prueba de nivel de agrado, usando una escala hedónica; el 45 % de los evaluadores expresó que las tortillas gustan mucho. Hubo una preferencia mayor hacia las tortillas fortificadas con FeNps en comparación a las tortillas que no las contenían, 11 de los evaluadores indicaron que las tortillas elaboradas con la harina fortificada les gustó mucho, mientras que solo 5 de los panelistas indicaron que les gustó mucho la tortilla con harina sin fortificar. No hubo panelistas que indicaran que las tortillas elaboradas con harina fortificada con FeNps les disgustaran.

La vida útil de las tortillas fortificadas con FeNps (23 días) fue tres veces mayor que la de las tortillas sin fortificar (7 días). La vida útil se evaluó de acuerdo a lo establecido en la NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan.

Al realizar los análisis microbiológicos se encontró que las tortillas fortificadas con FeNps el proceso de crecimiento de microorganismos era más lento, encontrándose bacterias hasta el día 11 y superando el límite establecido por la norma (<30 UFC/g) hasta el día 23, mientras que la tortilla sin fortificar tuvo un periodo de vida de 7 días y un crecimiento de microorganismos más rápido (Gráfico 2).

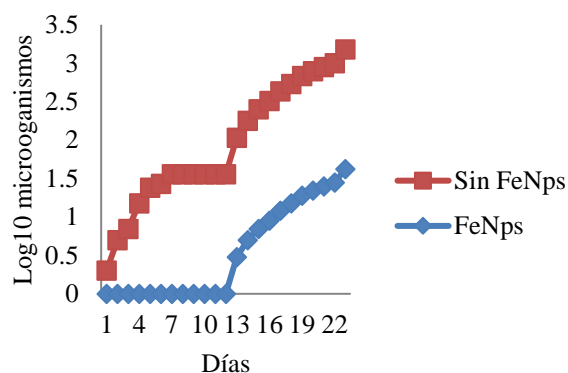


Gráfico 2 Crecimiento de coliformes totales en tortillas fortificadas con FeNps y tortillas sin fortificar

Conclusiones

Al adicionar FeNps sintetizadas con extracto de *M. oleífera* a la harina de maíz nixtamalizado se incrementó el contenido de minerales en la tortilla, además de que se extendió su vida útil. Aunque faltan estudios por realizar, los resultados obtenidos en este trabajo constituyen un punto de partida para la implementación de políticas públicas para la fortificación de alimentos.

Referencias

AOAC (2012). Official Methods of Analysis of AOAC International (Décimo novena ed.). AOAC International.

Carrillo Inungaray, M. L., & Zavala Cuevas, D. (2012). Gestión de la calidad en el área química biológica. Porrúa Personal Print.

CARRILLO, María, TREJO, Jorge, REYES, Abigail y ZAVALA, Diana. Fortificación de harina de maíz con nanopartículas de hierro sintetizadas con extracto de moringa (*Moringa oleífera*). Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016

De la Cruz G, V., Villalpando, S., Mundo Rosas, V., & Shamah Levy, T. (2013). Prevalencia de anemia en niños y adolescentes mexicanos: comparativo de tres encuestas nacionales. *Salud pública de México*, 55(2).

Diario Oficial de la Federación. (2010). NOM-051-SCFI/SSA1-2010, especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados. México.

Eltayeb M, A. (2015). Green synthesis, antimicrobial and cytotoxic effects of silver nanoparticles mediated by *Eucalyptus camaldulensis* leaf extract. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 382-386.

Ledesma S, J. A., Chávez V, A., Pérez G, R. F., Mendoza Martínez, E., & Calvo Carrillo, C. (2010). *Composición de Alimentos* (Segunda ed.). México: McGraw-Hill.

Martín, C., Martín, G., García, A., Fernández, T., Hernández, E., & Puls, J. (2013). Potenciales aplicaciones de *Moringa Oleifera*. Una revisión crítica. *Pastos y forrajes*, 36, 137-149.

Naseem, T., & Akhyar F, M. (2015). Antibacterial Activity of Green Synthesis of Iron Nanoparticles Using *Lawsonia inermis* and *Gardenia jasminoides* Leaves Extract. *Journal of Chemistry*.

Organización Mundial de la Salud. (2012). Strategic approach to operationalizing selected end decade goals: reduction of iron deficiency anemia. Ginebra.

Roy, K., Sarkar C, K., & Ghosh C, K. (2015). Single-step novel biosynthesis of silver nanoparticles using *Cucumis sativus* fruit extract and study of its photocatalytic and antibacterial activity. *Digest Journal of Nanomaterial and Biostructures*, 10(1), 107-115.

Soto Chilaca, G., & López Malo, A. (2011). Nanotecnología en alimentos. *Temas selectos de Ingeniería en Alimentos*, 11-21.

Syed, B., Devaraju, R., Kumara S, K., Parthasarathy, S., Holalu U, K., Yashavantha, R., & Sreedharamurthy, S. (2013). Plants: Emerging as Nanofactories towards Facile Route in Synthesis of Nanoparticles. *BioImpacts*, 3(3), 111-117.

Ullah, N., Li, D., Xiandong, S., Yasin, S., Muhammed U, M., Van E, S. S., & Wei, Q. (2015). Photo-irradiation based biosynthesis of silver nanoparticles by using an ever green shrub and its antibacterial study. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*, 10(1), 95-105.

Evaluación de composta, vermicomposta y excreta de bovino en la producción de maíz (*Zea mays* L.)

DE LUNA-VEGA, Alicia*†, GARCÍA-SAHAGÚN, María Luisa, RODRÍGUEZ-GUZMÁN, Eduardo y PIMIENTA-BARRIOS, Enrique

Universidad de Guadalajara. Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Km 15.5 Carretera Guadalajara-Nogales, Las Agujas, Zapopan Jal.

Recibido Agosto 08, 2016; Aceptado Septiembre 14, 2016

Resumen

El uso de fertilizantes inorgánicos y fertilizantes orgánicos se requiere en todo sistema de producción agrícola, para aumentar los rendimientos de los cultivos. La aplicación excesiva de fertilizantes inorgánicos ha generado un aumento en la contaminación del medio ambiente. Sin embargo, al aplicar fertilizantes orgánicos las condiciones del suelo mejoran, dando lugar a un aumento en el crecimiento y la producción. Este trabajo se planteó como objetivo evaluar el efecto de los fertilizantes orgánicos solos y combinados con fertilizantes inorgánicos en la producción de maíz. El experimento se realizó en el Rancho Borundas, Tototlán, Jalisco. Se evaluaron seis tratamientos, incluyendo fertilización convencional 180-60-00 (N - P - K); Fertilizantes orgánicos como estiércol bovino, compost y Vermicompost aplicados en dosis de 10 toneladas ton ha⁻¹, en ambos casos combinados con o sin fertilizantes inorgánicos, distribuidos en un diseño de cuatro bloques completos al azar repetidos. Los resultados obtenidos en la variable altura, peso, diámetro de la planta, longitudes de la mazorca, longitud del grano, rendimiento de grano por oído y producción por hectárea registraron una variabilidad muy significativa entre los tratamientos combinados, efectos simples e interacciones de los factores involucrados (Pr <0,01). La aplicación de Vermicompost con adición de fertilizantes inorgánicos fue la más destacada en todas las variables, presentando el mayor rendimiento de grano por oído y por hectárea con 0,218 kg y 10,5 toneladas, respectivamente. El Vermicompost con adición de fertilizante inorgánico fue notablemente el mejor crecimiento y producción de grano de maíz; Los resultados demuestran la importancia del manejo integrado de fertilizantes inorgánicos y fertilizantes orgánicos para mejorar la producción de maíz.

Maíz QPM, control etológico, control biológico

Citación: DE LUNA-VEGA, Alicia, GARCÍA-SAHAGÚN, María Luisa, RODRÍGUEZ-GUZMÁN, Eduardo y PIMIENTA-BARRIOS, Enrique. Evaluación de composta, vermicomposta y excreta de bovino en la producción de maíz (*Zea mays* L.). Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016, 3-8: 46-52.

Abstract

The use of inorganic fertilizers and organic fertilizers are required in all system of agricultural production, to increase crop yields. Excessive inorganic fertilizer application has generated an increase in pollution of the environment. However, when applying organic fertilizers the soil conditions improves, resulting in an increase in growth and production. This work was raised as objective to evaluate the effect of organic fertilizers alone and combined with inorganic fertilizers in maize production. The experiment was conducted at the Borundas Ranch, Tototlán, Jalisco. Six treatments were evaluated, including conventional fertilization 180-60-00 (N - P - K); organic fertilizers as bovine manure, compost and Vermicompost applied in doses of 10 ton ton ha⁻¹, in both cases combined with or without inorganic fertilizers, distributed in a four repeated randomized complete block design. The results in the variable plant height, weight, diameter Equatorial and polar length of cob, grain yield per ear and production per hectare, recorded a highly significant variability between treatments combined, simple effects and interactions of factors involved (Pr < 0.01). Application of Vermicompost with addition of inorganic fertilizers was the most outstanding in all the variables, presenting the highest yield of grain per ear and per hectare with 0.218 kg and 10.5 tons, respectively. The Vermicompost with addition of inorganic fertilizer was notably the best growth and production of maize grain; the results demonstrate the importance of the integrated management of inorganic fertilizers and organic fertilizers to improve maize production.

***Zea mays*, organic fertilizers, production, inorganic fertilizers to improve maize production**

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: jl_leana@hotmail.com)

† Investigador contribuyente como primer autor.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta originaria de América, su producto es uno de los granos básicos que alimentan a la humanidad, siendo el más importante a nivel mundial (Kato *et al.*, 2009), desde el punto de vista alimentario, económico, político y social (SAGARPA-SIAP, 2011). El 80% de la producción mundial se concentra en diez países donde Estados Unidos ocupa el primer lugar con 40%, China el segundo con 20%, Brasil el tercero con 6% y México en cuarto con 3% de la producción mundial (FAO, 2012).

El uso excesivo de fertilizantes inorgánicos para aumentar la producción de maíz en México, ocasiona múltiples impactos al medio ambiente; de acuerdo al Diagnóstico del Agua en las Américas (2008), del total de descargas contaminantes, el 14% corresponde al Nitrógeno (Foro Consultivo, Científico y Tecnológico, 2012). El mal uso de fertilizantes, predispone el ataque de fitopatógenos (Apodaca y Quintero, 2008), que causan una disminución en el rendimiento e incrementa el costo de producción (Ariño *et al.*, 2009).

La propuesta para alcanzar altos rendimientos de maíz se basa en el uso de mejoradores de suelos para mejor aprovechamiento de nutrimentos (Martínez, 2010); el efecto de la nutrición influye en el rendimiento y productividad de maíz (Mendoza *et al.*, 2002).

Para satisfacer las necesidades nutrimentales del cultivo de maíz, se requieren altas cantidades de abonos orgánicos, que implica tener una elevada disponibilidad de residuos orgánicos para su elaboración y condiciones adecuadas para su almacenaje y aplicación. Una alternativa viable es usar bajas cantidades de abonos orgánicos y complementar con fertilizantes inorgánicos (López-Martínez *et al.*, 2001).

Se propone realizar una agricultura sustentable para conservar, mejorar y hacer un uso eficiente de los recursos naturales a través del manejo integrado del suelo, el agua y recursos biológicos disponibles, que contribuyen a la conservación del ambiente y a la producción agrícola mejorada y sostenible (FAO, 2012), en búsqueda de una alternativa sostenible para aumentar la producción de maíz mediante el uso de abonos orgánicos y para sustituir a los fertilizantes inorgánicos.

La composta es un abono orgánico que se obtiene a través de un proceso de fermentación aeróbica, que se puede elaborar con materiales locales de las diversas zonas del país, por lo que se pueden hacer variaciones de acuerdo a la materia prima disponible en otras regiones.

El composteo es una forma importante de reciclar elementos orgánicos residuales de la agricultura y la ganadería. Una de las principales tecnologías es el uso de composta que el productor puede elaborar en su unidad de producción, utilizando los materiales que dispone localmente. (De Luna y Vázquez, 2009). Se planteó como objetivo evaluar el efecto de los abonos orgánicos solos y combinados con fertilizantes inorgánicos en la producción de maíz.

Materiales y métodos

El trabajo fue realizado en el Rancho Borundas en Tototlán Jalisco. Se localiza al centro oriente de Jalisco, en las coordenadas 20°05'00" a los 20°38'15" de latitud norte y 102°39'00" a los 102°52'10" de longitud oeste; a una altura de 1,800 metros sobre el nivel del mar.

El clima que predomina se clasifica en semiseco con otoño e invierno semicálido, sin cambio térmico invernal bien definido.

La temperatura media anual es de 20.1° C y tiene una precipitación media anual de 820.8 milímetros, con régimen de lluvias en los meses de junio a octubre. Los vientos dominantes son en dirección variable. El promedio de días con heladas al año es de 12.7. Se utilizó como semilla el maíz de ciclo intermedio precoz P 2069; como abonos orgánicos se usó el estiércol bovino, composta, vermicomposta en dosis de 10 ton ha⁻¹, y como fertilizantes inorgánicos urea y superfosfato triple para suministrar N y P, con la fórmula técnica recomendada de 180-60-00 (N-P-K), para suelos con alto potencial (De Luna *et al.*, 2010) Los tratamientos fueron obtenidos bajo un arreglo bifactorial: donde el factor “A” son los abonos orgánicos y como factor “B” con y sin fertilización inorgánica, dando un total de seis tratamientos (Tabla 1).

Las variables medidas fueron: altura de planta, peso de mazorca, longitud polar y diámetro ecuatorial de mazorca, rendimiento de grano por planta y hectárea. Para el establecimiento del experimento se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones cada tratamiento, la parcela experimental fue de 5 surcos de 20 m de largo, con parcela útil de un surco central de 18 m de largo, eliminando un metro lineal en cada extremo para evitar efecto de orilla, de donde se tomaron diez plantas de forma aleatoria como unidades experimentales. La siembra se llevó a cabo el 4 de junio de 2015 bajo condiciones de campo, a siembra directa manual, a una profundidad de 5 cm, con distancia entre planta de 30 cm y 80 cm entre surco. Los abonos orgánicos aplicados fueron: Vermicomposta y estiércol de bovino, composta los cuales se suministraron en dos aplicaciones, una al momento de la siembra, que se realizó directa al fondo del surco y otra a 40 días después de la siembra a un lado del tallo de la planta; la dosis que se utilizó para la aplicación de abonos orgánicos fue de 10 ton ha⁻¹.

Factor “A” (orgánicos)	Factor “B” (inorgánicos)	Tratamientos	
a1= Estiércol de bovino	b1= Sin Fertilizante inorgánico	T1	a1b1: Estiércol de bovino
a2= Composta	b2= Con Fertilizante inorgánico	T2	a1b2: Estiércol bovino + Fertilizante
a3= Vermicomposta		T3	a2b1: Composta
		T4	a2b2: Composta + Fertilizante
		T5	a3b1: Vermicomposta
		T6	a3b2: Vermicomposta + Fertilizante

Tabla 1 Tratamientos estudiados en el cultivo de maíz

La aplicación de fertilizantes inorgánicos se realizó manualmente a los 10, 40 y 60 días después de la siembra, aplicándolos de forma directa a la planta a 10 cm aproximadamente del tallo de la planta, conforme a la fórmula técnica recomendada de 180-60-00 de N, P y K (De Luna *et al.*, 2010)

Para el control fitosanitario se realizaron las prácticas agronómicas según se requerían, durante el ciclo del cultivo. Los resultados se sometieron al análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey al 0.05% de probabilidad para la comparación de medias, lo anterior mediante la aplicación del programa estadístico Statistix (Statistix, 2005).

Resultados y discusión

Altura de planta: el análisis de varianza indica diferencia altamente significativa entre tratamientos de abonos orgánicos con y sin fertilización inorgánica (Pr<0.01). La variabilidad encontrada en los tratamientos, se debe al efecto altamente significativo (Pr<0.01) de los abonos orgánicos, de la fertilización inorgánica e interacciones entre sí.

En relación al efecto individual originado por la aplicación de abonos orgánicos, los abonos orgánicos sobresalientes son la composta y la vermicomposta al registrar valores de 2.61 m para ambos (Tabla 2).

T	AP	PM	DE	LP	RG	P
Factor A Fertilización orgánica						
A 1	2.59 b	0.261 b	4.64 b	23.58 b	0.157 c	9.42 c
A 2	2.61 a	0.293 a	4.88 a	22.25 c	0.171 b	10.26 b
A 3	2.61 a	0.305 a	4.91 a	23.9 a	0.173 a	10.387 a
Factor B Fertilización inorgánica						
B 1	2.56 b	0.268 b	4.64 b	22.29 b	0.127 b	7.62 b
B 2	2.65 a	0.304 a	4.98 a	24.86 a	0.207 a	12.42 a

Tabla 2 Respuesta de la fertilización orgánica e inorgánica en la producción de maíz

T = Tratamiento

AP= Altura de la planta (m)

PM= Peso de mazorca (gr)

DE= Diámetro ecuatorial (cm)

LP= Longitud polar (cm)

RG= Rendimiento en grano (kg)

P= Producción (ton ha-1)

La aplicación de abono orgánico vermicomposta con fertilizante inorgánico y composta con fertilizante inorgánico fueron los más sobresalientes en altura de planta ambos con 2.66 (Tabla 3), respectivamente lo que se asemeja con los resultados reportados por Alarcón *et al.* (2001), quienes señalan que la combinación de estiércol de bovino con fertilizante inorgánico incrementó la altura de planta de maíz a 2.60 m.

T	AP	PM	DE	LP	RG	P
T 1	2.56 d	0.257 c	4.56 d	22.05 d	0.126 e	7.56 c
T 2	2.62 b	0.264 c	4.72 c	25.10 a	0.188 c	11.28 b
T 3	2.56 cd	0.278 bc	4.77 c	22.21 cd	0.128 d	7.68 c
T 4	2.66 a	0.307 b	5.00 b	24.30 b	0.124 b	12.84 b
T 5	2.57 c	0.270 c	4.60 d	22.62 c	0.129 d	7.74 c
T6	2.66 a	0.341 a	5.22 a	25.18 a	0.218 a	10.50 a
CV	0.23	4.62	0.90	0.96	0.35	3.2

Tabla 3 Valores promedio y resultados de prueba de Tukey en las variables en el cultivo de maíz

* Valores en columna con misma literal son estadísticamente iguales entre sí.

La menor altura de planta se presentó con la aplicación de abono orgánico de estiércol bovino sin fertilización inorgánica, con 2.56 m. Por su parte como efecto individual, la aplicación inorgánica resultó ser superior a la orgánica, al registrar la mayor altura de planta con 2.65 m (Tabla 3).

En peso de mazorca, el análisis de varianza indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos combinados de abonos orgánicos con y sin fertilización inorgánica ($Pr < 0.01$). También señala que la variabilidad encontrada en los tratamientos, se debe al efecto altamente significativo ($Pr < 0.01$) de los abonos orgánicos, de la fertilización inorgánica e interacciones entre sí. La aplicación del abono orgánico vermicomposta con adición de fertilizante inorgánico resultó ser el más sobresaliente en peso de mazorca con 0.341 kg; mientras que el menor peso se presentó con la aplicación de abono orgánico de estiércol bovino sin fertilización inorgánica con 0.257 kg. Con relación a los abonos orgánicos, el más sobresaliente es la vermicomposta con un valor de 0.305 kg. La aplicación inorgánica resultó ser la más sobresaliente, al registrar un mayor peso de fruto de 0.304 kg (Tabla 3).

El mayor peso de mazorca resultó en vermicomposta con adición de fertilizante inorgánico; lo que coincide con Macías *et al.* (2012), quien señala que el peso de fruto de chile jalapeño (*Capsicum annum*) se incrementó con la aplicación de abono orgánico de estiércol de bovino con fertilizante inorgánico, registró un promedio de 15.2 g de peso fresco en comparación con los abonos sin fertilización inorgánica. Para las variables diámetro ecuatorial y longitud polar de mazorca, el análisis de varianza indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos combinados de abonos orgánicos con y sin fertilización inorgánica ($Pr < 0.01$).

La variabilidad encontrada en los tratamientos en ambas variables se debe al efecto altamente significativo ($Pr < 0.01$) de los abonos orgánicos, de la fertilización inorgánica e interacciones entre sí.

La aplicación de abono orgánico vermicomposta con adición de fertilizante inorgánico resultó ser la más sobresaliente con 5.22 cm de diámetro ecuatorial y 25.18 cm de longitud polar de la mazorca.

Con relación a los abonos orgánicos, según la prueba de Tukey el más sobresaliente es la vermicomposta con valores de 4.91 cm de diámetro y 23.9 cm de longitud polar. La aplicación inorgánica resultó ser sobresaliente al registrar 4.98 cm de diámetro ecuatorial y 24.86 cm de longitud polar de mazorca (Tabla 3).

El mayor diámetro ecuatorial y longitud polar de mazorca resultó en aplicación de vermicomposta con fertilizante inorgánico y composta con fertilizante inorgánico, superando los resultados a lo reportado por Gutiérrez y Machado (2012), donde encontraron valores en el diámetro y longitud de mazorca altamente significativos entre tratamientos con abono orgánico estiércol de bovino, encontrando un incremento considerable en cuanto a los demás sin fertilización inorgánica.

En la variable rendimiento de grano por mazorca, el análisis de varianza indica una diferencia altamente significativa entre los tratamientos combinados de abonos orgánicos con y sin fertilización inorgánica ($Pr < 0.01$).

La variabilidad encontrada en los tratamientos, se debe al efecto altamente significativo ($Pr < 0.01$) de los abonos orgánicos, de la fertilización inorgánica e interacciones entre sí.

La aplicación de abono orgánico vermicomposta con fertilizante inorgánico según la prueba de Tukey resultó ser el más sobresaliente en rendimiento de grano por mazorca con 0.218 kg; mientras que, el menor rendimiento de grano por mazorca se presentó con la aplicación de abono orgánico estiércol bovino sin fertilización inorgánica con 0.126 kg (Tabla 3). Con relación a los abonos orgánicos, según la prueba de Tukey el más sobresaliente fue la vermicomposta con 0.173 kg de grano por mazorca. Referente a la aplicación inorgánica esta resultó ser la más sobresaliente con la mayor producción de grano por mazorca de 0.207 kg (Tabla 2).

Los resultados demostraron que los abonos orgánicos combinados con fertilizantes inorgánicos presentaron los mayores valores de producción de grano por mazorca; donde la fertilización inorgánica se ve apoyada con los abonos orgánicos que son considerados como materiales que aportan materia orgánica y carbono, además aporta nutrimentos a través del tiempo, dependiendo del tipo de material orgánico, condiciones biológicas, edáficas y ambientales; tal y como coincide con lo mencionado por Meléndez y Molina (2003) quien señala que la adición de un abono orgánico incrementa la aportación de nutrimentos de la planta a largo plazo, mismos que influyen de manera favorable en el desarrollo vegetativo y producción de las plantas de maíz.

El uso de abonos orgánicos transformados en materiales asimilables para las plantas con la adición de fertilizantes inorgánicos son una forma más completa de nutrir a la planta, lo que concuerda con lo citado por Sosa (2005) quien señala que la aportación de una fertilización complementada de abonos orgánicos con fertilizantes inorgánicos favorecen el crecimiento vegetativo y producción de grano en cultivo de maíz.

En la producción de grano por hectárea (ton ha^{-1}), el análisis de varianza registró una diferencia altamente significativa ($\text{Pr}<0.01$) entre los tratamientos combinados. También señala que la variabilidad en los tratamientos, se debe al efecto altamente significativo ($\text{Pr}<0.01$) de los abonos orgánicos, de la fertilización inorgánica e interacciones entre sí. La aplicación de vermicomposta con adición de fertilizante inorgánico resultó ser la mejor, al registrar un valor de 10.5 ton ha^{-1} , y la menor para el abono estiércol bovino sin fertilización inorgánica con 7.56 ton ha^{-1} .

Para el efecto simple de los abonos orgánicos, el más sobresaliente fue el de vermicomposta al registrar $10.38 \text{ ton ha}^{-1}$. La fertilización inorgánica resultó la más sobresaliente al registrar $12.42 \text{ ton ha}^{-1}$ (Tabla 3). El rendimiento de grano se presentó con la vermicomposta y adición de fertilizante inorgánico, que supera los 8.73 ton ha^{-1} reportado por Gutiérrez y Machado (2012) donde encontraron valores en el diámetro y longitud de mazorca altamente significativos entre tratamientos con abono orgánico y estiércol de bovino, encontrando un incremento considerable en cuanto a los demás sin fertilización inorgánica, a su vez señalan que el rendimiento del grano de maíz se ve influido por factores biológicos y ambientales que se relacionan entre sí, ya que no necesariamente la producción depende exclusivamente de las características agronómicas de las variedades con las que se trabaje.

Conclusiones

El uso de abonos orgánicos combinados con inorgánicos incrementa notablemente el crecimiento y producción de las plantas de maíz. Los abonos orgánicos con un buen manejo agronómico muestran ser una alternativa sustentable y amigable con el medio ambiente.

La vermicomposta con adición de fertilizante inorgánico fue el mejor en la producción de grano de maíz. Se demuestra la importancia del manejo integrado de abonos orgánicos y fertilizantes inorgánicos para mejorar la producción de maíz.

Referencias

Alarcón del C., L. A., R. De la Garza G., C. Vega S., y R. Morones R. 2001. Efecto de estiércol bovino combinado con fertilizante químico sobre la productividad de un suelo cultivado con maíz bajo riego. *Agraria* 17:35-66.

Apodaca S., M. A., y J. A. Quintero B. 2008. Pudrición de la mazorca. I Curso de Manejo Sustentable del Maíz: resultados de investigación en el norte de Sinaloa. Fundación Produce Sinaloa, SAGARPA y Gobierno del estado de Sinaloa. Los Mochis, Sinaloa, México. 71 p.

Ariño, A., M. Herrera; T. Juan, G. Estopañan, J. Carramiñana J., C. Rota, and A. Herrera. 2009. Influence of agriculture practices on the contamination of maize by fumonisins and mycotoxins. *J. Food Protection* 72:5.

De Luna, V.,A. y Vázquez E.A.. 2009. Elaboración de abonos orgánicos, Segunda edición, Universidad de Guadalajara, México, pp. 86.

De Luna, V, A; Vázquez D L, O, A; Vázquez N., J; Sánchez, S.,F; Escalante, M., R 2010. Agroecología y bromatología de los cultivos forrajeros, Primera edición, Universidad de Guadalajara, México, pp. 194.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura). 2012. Agricultura de conservación.

<http://www.fao.org/ag/ca/es/11.html>.

(Consultado: 16 Nov 2012).

Foro Consultivo, Científico y Tecnológico. 2012.

García S., J. A., y M. de J. Santiago C. 2004. Importaciones de maíz en México: Un análisis espacial y temporal. Investigación Económica (UNAM) 63:131-160.

Gutiérrez M., J. E., y G. Machado S. 2012. Efecto de la fertilización orgánica y sintética sobre el crecimiento y rendimiento de tres variedades de maíz (*Zea mays* L.) y su rentabilidad económica en Dulce nombre de Jesús, Darío, Matagalpa. Trabajo de graduación. Universidad Nacional Agraria. Facultad de Agronomía. Departamento de Producción Vegetal. Managua, Nicaragua. 37 p. INIFAP. 2012. Disponible en línea: [http://www.inifapcirpac.gob.mx/pagina/Campos Experimentales/CETecomán.html](http://www.inifapcirpac.gob.mx/pagina/Campos_Experimentales/CETecomán.html) (Consultado: 10 Oct 2012).

Kato T., A., C. Mapess, L. M. Mera O., J. A. Serratos H., y R. A. Baye B. 2009. Origen y diversificación del maíz: Una revisión analítica. Universidad nacional Autónoma de México. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad. México, D. F. 116 p.

López M., J. D., y A. Díaz E. 2001. Efecto de abonos orgánicos sobre humedad del suelo y rendimiento en maíz (*Zea mays* L.). AgroFaz. Universidad Juárez del estado de Durango. Facultad de Agricultura y Zootecnia. Venecia, Durango, México. 8 p.

López-Martínez, J. D., A. Díaz-Estrada, E. Martínez-Rubín, y R. D. Valdez-Cepeda. 2001. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra Latinoamericana 19:293-299.

Macías D., R., R. L. Grijalva C., F. Robles C. 2012. Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. Revista de Ciencias Biológicas y de la Salud (México) 3:32-38.

Martínez M., M. R. 2010. Proyecto Especial de Producción de Maíz de Alto Rendimiento (PROEMAR). Informe de Evaluación y Seguimiento. Colegio de Postgraduados. México. 157 p.

Meléndez, G., y E. Molina. 2003. Fertilizantes: Características y manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San José. Costa Rica. 132 p.

Mendoza R., R., E. Hernández R., J. I. Cortes F., A. Turrent F., L. A. Lerma V., y Aceves R. E. 2002. Tecnologías sobre fertilización, densidad de población y variedades en maíz a escala comercial. Terra Latinoamericana 20:485-495.

SAGARPA-SIAP (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2011. Situación Actual y Perspectivas del Maíz en México 1996-2012. 208 p.

Sosa O. 2005 los estiércoles y su uso como enmiendas orgánicas. Agromensajes 16:30-34.

Evaluación de un biofermento elaborado a partir de extractos naturales en cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea itálica*)

ZUÑIGA, Walter*†, MELESIO, Jaime, CORTÉS, Víctor y RAYA, Luis

Recibido Febrero 25, 2016; Aceptado Septiembre 07, 2016

Resumen

En la actualidad han surgido técnicas nuevas que buscan resarcir el daño causado por la agricultura convencional, entre estas encontramos la utilización de biofertilizantes, aplicados al suelo y/o planta con el fin de sustituir parcial o totalmente la fertilización sintética, así como, disminuir la contaminación que genera. La mayor demanda de abonos orgánicos por los productores agrícolas son los fermentados líquidos que al aplicarse al suelo tienen importantes beneficios entre los que destacan el aumento en los nutrientes (Armenta 2010). El objetivo de este trabajo es la evaluación de dos diferentes formulaciones de biofermentos elaborados a partir de residuos orgánicos en comparación con un fertilizante comercial. Para determinar la eficacia del biofermento se realizó un análisis estadístico empleando un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento, considerando las siguientes variables: altura de planta, longitud de la raíz, producción de florete y peso fresco de la planta; esto fue para tener un resultado más concreto. Este proyecto, está enfocado a reducir los gastos de la producción agrícola, de los agricultores de la región, implementando así esta técnica de fertilización el agricultor tendrá una alternativa propia, accesible y sustentable con el medio ambiente.

Biofermentos, Fertilización, Agricultura, Brócoli

Citación: ZUÑIGA, Walter, MELESIO, Jaime, CORTÉS, Víctor y RAYA, Luis. Evaluación de ácidos como catalizadores en la hidrólisis de inulina de *Agave Tequilana* Weber var. Azul. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016. 3-8: 33-38.

Abstract

Today has created new techniques that seek to repair the damage caused by conventional agriculture, among these are the use of bio-fertilizers applied to the soil and / or plant to partially or totally replace synthetic fertilizers, as well as reduce pollution it generates. Increased demand for organic fertilizers by farmers are fermented liquid that when applied to the soil have important benefits among which the increase in nutrients (Armenta 2010). The aim of this work is the evaluation of two different formulations of bioferments made from organic waste compared to a commercial fertilizer. To determine the effectiveness of biofermento a statistical analysis using a completely randomized design with four replicates per treatment, considering the following variables were: plant height, root length, fresh foil production plant weight; this was to have a more concrete results. This project is aimed at reducing the cost of agricultural production, farmers in the region, thus implementing this fertilization technique farmer will own alternative, affordable and environmentally sustainable.

Bioferments, Fertilization, Agriculture, Broccoli

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: wazuniga@itess.edu.mx)

† Investigador contribuyente como primer autor.

Introducción

En el mundo, es cada vez más importante la biofertilización, no solo por los rendimientos que suelen alcanzarse, sino también, por lo económico de su aplicación y su contribución a la preservación del medio. Entre los biofertilizantes más estudiados, se encuentran las micorrizas que son capaces de establecer una relación simbiótica con las raíces de las plantas, ya que actúan como un activador de la regeneración del sistema vegetativo y las bacterias del género *Azospirillum*, organismos fijadores de nitrógeno que viven en estrecha relación con las plantas en la rizosfera (Sosa 2013)

En México, el mayor impacto de los biofertilizantes fue en los años 70's y 80's con la fijación biológica de nitrógeno en soya y garbanzo, donde se logró sustituir la fertilización nitrogenada, la utilización de inoculantes comerciales a base de *Rhizobium*, fue una práctica generalizada por los productores agrícolas, además de ser recomendada por los centros de investigación (Armenta 2010)

Los costos de la producción agrícola van en aumento cada año, la posibilidad de obtener ganancias adecuadas a partir de la inversión hecha por el agricultor es menor, los costos de los insumos agrícolas como fertilizantes e insecticidas varían tanto en su precio como en su efectividad, con ello la contaminación de los suelos y contaminación de los matos acuíferos, ocasionado por la residualidad que deja de este tipo de insumos agrícolas, está aumentando y con ello los costos de la agricultura en la búsqueda de técnicas que ayuden a mitigar el desorden ambiental surgido a partir de la revolución verde.

En la actualidad la agricultura debe estar basada en la optimización de recursos, disminución de costos y la sustentabilidad, son los retos a los que se enfrentan los agricultores. Los fertilizantes naturales, compostas, abonos verdes y biofermentos son una alternativa para atenuar los altos costos dentro de la agricultura y disminuir el impacto ambiental.

La elaboración de los biofermentos a partir de extractos naturales promueve una fertilización amigable con el medioambiente además de promover el reciclaje de elementos naturales considerados como basura, la producción agrícola se volverá autosuficiente, el agricultor podrá elaborar sus propios abonos disminuyendo la inversión en fertilizantes sintéticos.

Los biofermentos elaborados a partir de estiércol vacuno como principal componente son ricos en macro y micronutrientes, elementos que ayudaran al cultivo, para un mejor desarrollo vegetativo, concluyendo en una producción sana sin residuos químicos que dañen al consumidor final de la cadena agrícola.

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

Elaboración del Biofermento a partir de Extractos Naturales

1. Materia Prima.
 - 1.1. Ceniza.
 - 1.2. Suero de leche.
 - 1.3. Melaza.
 - 1.4. Estiércol.
 - 1.5. Agua.
2. Biodigestor.
3. Método.
 - 3.1. Acondicionamiento de biodigestor.
 - 3.2. Mezcla de materia Prima.
4. Reposo y fermentación.
5. Análisis físico químico.



Figura 1 Preparación del Biofermento

Establecimiento del cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea itálica*).

1. Plántula.
2. Método.
3. Trasplante.
4. Toma de Datos.
 - 4.1. Altura.
 - 4.2. Profundidad de Raíz.
 - 4.3. Diámetro florete.
 - 4.4. Peso Florete.
 - 4.5. Peso Fresco área vegetativa.
5. Análisis de Datos.



Figura 2 Toma y Registro de Datos del cultivo

Metodología a desarrollar

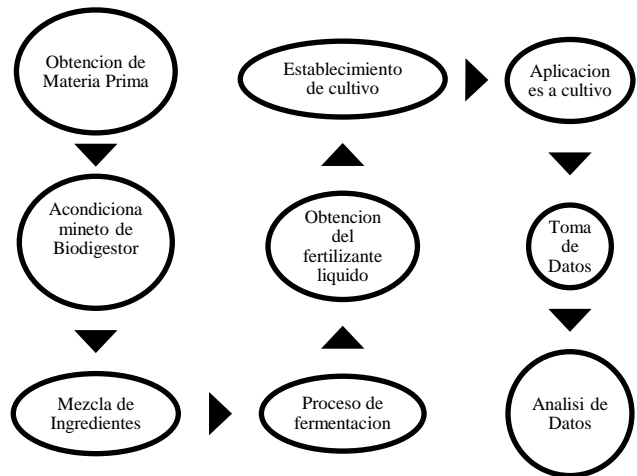


Figura 3

Resultados

De acuerdo a los a análisis físico químicos de los fermentos, se observó una mejor calidad en el fermento mejorado, en los macro nutrientes el nitrógeno fue de 0.45 % y potasio 0.55, lo que respecta a fósforo es menor en relación con el fermento normal con 0.48 de éste y 0.12 del mejorado.

Parámetro	Fermento Normal	Fermento Mejorado
% Nitrógeno total	0.240	0.45
% P ₂ O ₅	0.480	0.12
% K ₂ O	0.493	0.55
Hierro ppm	66.5	153
Cobre ppm	5.3	3.3
Manganeso ppm	12.4	11.2
Zinc ppm	2.3	5
Boro ppm	3.1	9.3

Tabla 1 Resultados de Análisis Físico Químicos de biofermentos

La aplicación de los fermentos al cultivo, muestra una similitud de efectos de estos con el fertilizante comercial, en cuanto altura de planta el mejor fue el fermento mejorado con 27.9 cm. el fertilizante comercial obtuvo 27.3, en cuanto al diámetro de florete, el mejor fue al que se aplicó el comercial con 9 cm. el fermento mejorado obtuvo 8.2 cm.

Parámetro	Fermento Normal	Fermento Mejorado	Fertilizante Comercial	Testigo
Altura (cm.)	27.8	27.9	27.3	25.3
Prof. de raíz (cm.)	18.9	17.7	18.4	17.8
Peso florete (gr.)	250	168	220	198
Diámetro Florete (cm.)	8.6	8.2	9	8.8
Peso fresco (gr.)	670	681	675	678

Tabla 2 Resultados de Análisis de características de cultivo

Anexos

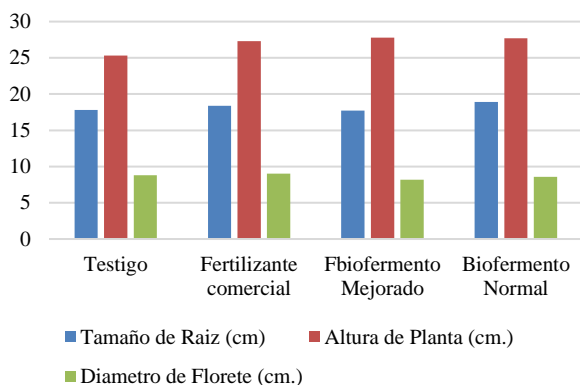


Gráfico 1 Resultados de crecimiento y desarrollo del cultivo de brócoli

Agradecimiento

Agradecemos al Instituto Tecnológico Superior de Salvatierra y al Parque Agroindustrial Xonotli, por las facilidades en la realización de este proyecto.

Conclusiones

En conclusión, el biofermento es de gran eficacia para el desarrollo de cultivos hortícolas como el brócoli, la aplicación de este tipo de fertilizantes orgánicos, es una alternativa adecuada para disminuir los costos de la el cuidado del medioambiente ya que los materiales utilizados para su elaboración son de bajo costo y naturales sin agentes químicos.

Referencias

Armenta Bojórquez, A, García C, Báez R. (2010). Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra Ximhai*, 6(1), 51 - 56.

Bernardo, M. A. (2010). *Agricultura Organica "Temas de Actualidad"*. Mexico: Plaza y Valdes.

Soria Fregoso, M. d, Ferrera R, Etchevers J (2001). Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de. *Revista TERRA*, 19(4), 353 - 362.

Sosa, D. B. (2013). Resultados de la aplicación de biofertilizantes a base de *Azospirillum* y micorrizas en asociaciones de cultivos hortícolas en condiciones de semiprotegido. *Revista Centro Agrícola*, 40(1).

[Titulo en Times New Roman y Negritas No.14]

Apellidos en Mayusculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor
Correo institucional en Times New Roman No.10 y Cursiva

(Indicar Fecha de Envio: Mes, Dia, Año); Aceptado(Indicar Fecha de Aceptación: Uso Exclusivo de ECORFAN)

Resumen

Titulo

Objetivos, metodología

Contribución

(150-200 palabras)

Abstract

Title

Objectives, methodology

Contribution

(150-200 words)

Keywords

Indicar (3-5) palabras clave en Times New Roman y Negritas No.11

Cita: Apellidos en Mayúsculas -1er Nombre de Autor †, Apellidos en Mayusculas -2do Nombre de Autor. Titulo del Paper. Título de la Revista. 2015, 1-1: 1-11 – [Todo en Times New Roman No.10]

† Investigador contribuyendo como primer autor.

©ECORFAN-Bolivia

www.ecorfan.org/bolivia

Introducción

Texto redactado en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Explicación del tema en general y explicar porque es importante.

¿Cuál es su valor agregado respecto de las demás técnicas?

Enfocar claramente cada una de sus características

Explicar con claridad el problema a solucionar y la hipótesis central.

Explicación de las secciones del artículo

Desarrollo de Secciones y Apartados del Artículo con numeración subsecuente

[Titulo en Times New Roman No.12, espacio sencillo y Negrita]

Desarrollo de Articulos en Times New Roman No.12, espacio sencillo.

Inclusión de Graficos, Figuras y Tablas-Editables

En el *contenido del artículo* todo gráfico, tabla y figura debe ser editable en formatos que permitan modificar tamaño, tipo y número de letra, a efectos de edición, estas deberán estar en alta calidad, no pixeladas y deben ser notables aun reduciendo la imagen a escala.

[Indicando el titulo en la parte inferior con Times New Roman No.10 y Negrita]

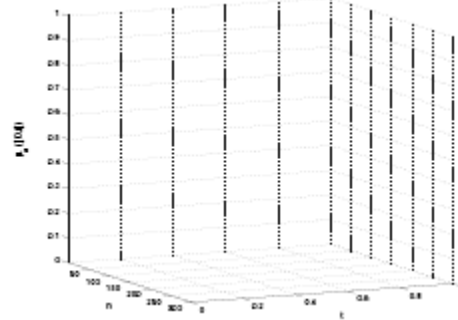


Grafico 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

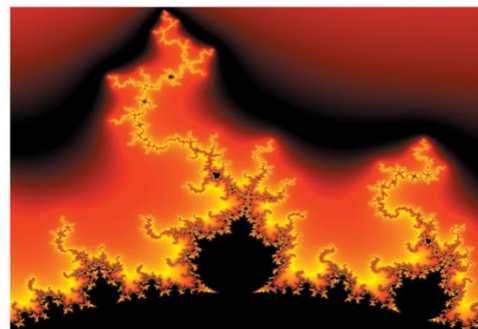


Figura 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

Tabla 1 Titulo y Fuente (en cursiva).

No deberan ser imágenes- todo debe ser editable.

Cada artículo deberá presentar de manera separada en **3 Carpetas**: a) Figuras, b) Gráficos y c) Tablas en formato .JPG, indicando el número en Negrita y el Titulo secuencial.

Para el uso de Ecuaciones, señalar de la siguiente forma:

$$Y_{ij} = \alpha + \sum_{h=1}^r \beta_h X_{hij} + u_j + e_{ij} \quad (1)$$

Deberán ser editables y con numeración alineada en el extremo derecho.

Metodología a desarrollar

Dar el significado de las variables en redacción lineal y es importante la comparación de los criterios usados

Resultados

Los resultados deberán ser por sección del artículo.

Anexos

Tablas y fuentes adecuadas.

Agradecimiento

Indicar si fueron financiados por alguna Institución, Universidad o Empresa.

Conclusiones

Explicar con claridad los resultados obtenidos y las posibilidades de mejora.

Referencias

Utilizar sistema APA. **No** deben estar numerados, tampoco con viñetas, sin embargo en caso necesario de numerar será porque se hace referencia o mención en alguna parte del artículo.

Ficha Técnica

Cada artículo deberá presentar un documento Word (.docx):

Nombre de la Revista

Título del Artículo

Abstract

Keywords

Secciones del Artículo, por ejemplo:

1. *Introducción*
2. *Descripción del método*
3. *Análisis a partir de la regresión por curva de demanda*
4. *Resultados*
5. *Agradecimiento*
6. *Conclusiones*
7. *Referencias*

Nombre de Autor (es)

Correo Electrónico de Correspondencia al Autor

Referencias

Formato de Originalidad



Sucre, Chuquisaca a ____ de ____ del 20 ____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables por lo que deberán firmar los autores antes de iniciar el proceso de revisión por pares con la reivindicación de ORIGINALIDAD de la siguiente Obra.

Artículo (Article):

Firma (Signature):

Nombre (Name)

Formato de Autorización



Sucre, Chuquisaca a _____ de ____ del 20 _____

Entiendo y acepto que los resultados de la dictaminación son inapelables. En caso de ser aceptado para su publicación, autorizo a ECORFAN-Bolivia a difundir mi trabajo en las redes electrónicas, reimpresiones, colecciones de artículos, antologías y cualquier otro medio utilizado por él para alcanzar un mayor auditorio.

I understand and accept that the results of evaluation are inappealable. If my article is accepted for publication, I authorize ECORFAN-Bolivia to reproduce it in electronic data bases, reprints, anthologies or any other media in order to reach a wider audience.

Artículo (Article):

Firma (Signature)

Nombre (Name)

Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias

“Avance en la formación de líneas androestériles y mantenedoras de la esterilidad en sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench)”

JIMÉNEZ-CORDERO, Ángel Andrés, SÁNCHEZ-BELLO, Verónica, CARRANZA-CHITICA, Jesús Israel y PADILLA-GARCÍA, José Miguel
Universidad de Guadalajara

“Calidad de grano en variedades sintéticas tropicales de maíz”

ANDRÉS-MEZA, Pablo, VÁZQUEZ-CARRILLO María Gricelda, SIERRA-MACÍAS Mauro y ESPINOSA-CALDERÓN, Alejandro

“Calidad industrial de mezclas de variedades de trigo harinero contrastantes en fuerza y extensibilidad de la masa”

MORALES, Víctor, MARTÍNEZ, Eliel, ESPITIA, Eduardo y ROSAS, María del Rosario
Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez

“Degradación microbiana de gasolina en suelos agrícolas de Pueblo Nuevo, Guanajuato”

ÁLVAREZ-MEJÍA, César, AGUIRRE-GÓMEZ, Eduardo, NAVARRO-GARRIDO, Abigail y LÓPEZ-RAMÍREZ, Varinia
Instituto Tecnológico Superior de Abasolo
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

“Evaluación de ácidos como catalizadores en la hidrólisis de inulina de *Agave Tequilana* Weber var. Azul”

GONZÁLEZ-PONCE, María del Refugio, BERNAL-ARROYO, Beatriz, GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, Claudia Ernestina y SEGOVIANO-GARFÍAS, Nezahualcoyolt'

“Fortificación de harina de maíz con nanopartículas de hierro sintetizadas con extracto de moringa (*Moringa oleifera*)”

CARRILLO, María, TREJO, Jorge, REYES, Abigail y ZAVALA, Diana

“Evaluación de composta, vermicomposta y excreta de bovino en la producción de maíz (*Zea mays* L.)”

DE LUNA-VEGA, Alicia, GARCÍA-SAHAGÚN, María Luisa, RODRÍGUEZ-GUZMÁN, Eduardo y PIMIENTA-BARRIOS, Enrique
Universidad de Guadalajara

“Evaluación de un biofermento elaborado a partir de extractos naturales en cultivo de Brócoli (*Brassica oleracea itálica*)”

ZUÑIGA, Walter, MELESIO, Jaime, CORTÉS, Víctor y RAYA, Luis

