

Ciencias de la Química y Agronomía

Handbook T-I

PÉREZ-SOTO, Francisco
FIGUEROA-HERNÁNDEZ, Esther
GODÍNEZ-MONTOYA, Lucila
ROCHA-QUIROZ, Jaime

Directores

Caracterización físico-química
de la producción agropecuaria y sus derivados

ECORFAN®

Volumen I

Para futuros volúmenes:
<http://www.ecorfan.org/handbooks/>

ECORFAN Ciencias de la Química y Agronomía

El Handbook ofrecerá los volúmenes de contribuciones seleccionadas de investigadores que contribuyan a la actividad de difusión científica de la Universidad Autónoma Chapingo en su área de investigación en Ciencias de la Química y Agronomía. Además de tener una evaluación total, en las manos de los directores de la Universidad Autónoma Chapingo se colabora con calidad y puntualidad en sus capítulos, cada contribución individual fue arbitrada a estándares internacionales (RENIECYT-LATINDEX-UNIVERSIA- DIALNET- ResearchGate- DOI- REBID- ScholarGoogle- DULCINEA CLASE- Sudoc-HISPANA- SHERPA- eREVISTAS- Mendeley), el Handbook propone así a la comunidad académica, los informes recientes sobre los nuevos progresos en las áreas más interesantes y prometedoras de investigación en Ciencias de la Química y Agronomía.

Pérez-Soto, Francisco · Figueroa-Hernández, Esther · Godínez-Montoya, Lucila · Rocha-Quiroz, Jaime

Editores

Ciencias de la Química y Agronomía

Universidad Autónoma Chapingo. Julio, 2017.

ECORFAN®

Editores

Pérez-Soto, Francisco
Figueroa-Hernández, Esther
Godínez-Montoya, Lucila
Rocha-Quiroz, Jaime

Universidad Autónoma Chapingo

ISBN-978-607-8534-38-8
Sello Editorial ECORFAN: 607-8324
Número de Control HCQA: 2017-01
Clasificación HCQA (2017): 210717-0103

©ECORFAN-México, S.C.

Ninguna parte de este escrito amparado por la Ley Federal de Derechos de Autor ,podrá ser reproducida, transmitida o utilizada en cualquier forma o medio, ya sea gráfico, electrónico o mecánico, incluyendo, pero sin limitarse a lo siguiente: Citas en artículos y comentarios bibliográficos ,de compilación de datos periodísticos radiofónicos o electrónicos. Para los efectos de los artículos 13, 162,163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169,209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal de Derechos de Autor. Violaciones: Ser obligado al procesamiento bajo ley de copyright mexicana. El uso de nombres descriptivos generales, de nombres registrados, de marcas registradas, en esta publicación no implican, uniformemente en ausencia de una declaración específica, que tales nombres son exentos del protector relevante en leyes y regulaciones de México y por lo tanto libre para el uso general de la comunidad científica internacional. HCQA es parte de los medios de ECORFAN (www.ecorfan.org)

Prefacio

Una de las líneas estratégicas de la misión y visión universitaria ha sido la de impulsar una política de ciencia, tecnología e innovación que contribuya al crecimiento económico, a la competitividad, al desarrollo sustentable y al bienestar de la población, así como impulsar una mayor divulgación en beneficio del índice de desarrollo humano, a través de distintos medios y espacios, así como la consolidación de redes de innovación de la investigación, ciencia y tecnología en México.

La Universidad Autónoma Chapingo visualiza la necesidad de promover el proceso de la investigación, proporcionando un espacio de discusión y análisis de los trabajos realizados fomentando el conocimiento entre ellos y la formación y consolidación de redes que permitan una labor investigativa más eficaz y un incremento sustancial en la difusión de los nuevos conocimientos. Este volumen I contiene 10 capítulos arbitrados que se ocupan de estos asuntos en Tópicos Selectos de Ciencias de la Química y Agronomía, elegidos de entre las contribuciones, reunimos algunos investigadores y estudiantes de posgrado, a partir de ocho estados de México.

Benítez, Pérez, Morales, Muñoz, Díaz y Morales abren la obra explicando aprovechamiento de lactosuero en la elaboración de lactofermentos agrícolas: Caracterización fisicoquímica, microbiológica y toxicológica. *Macedo, Villegas, Carrillo y Torres* estudian la contaminación por metales pesados de aguas superficiales en la microcuenca de Zimapán, Hidalgo. *Reyes, Zuleta, Guerra, Valencia, López y Reyes* presentan un estudio de las propiedades del aceite y biodiesel de semillas del fruto de *Chrysobalanus icaco*.

Casasola, Trejo, Alcántar, Gómez y García presentan el cadmio y fosfito en crecimiento de plántulas de tomate. *Carrera, Sandoval, Andrade, Piedra y Sánchez* estudian el cálculo de caudales hidrológicos de la subcuenca de río Ambi utilizando el programa HEC-HMS para la comprobación de su aplicabilidad en el Ecuador. *Rodríguez* analiza el fosfito: Frontera entre la nutrición de cultivos y el control de plagas y enfermedades. *Lozano, Aguirre, Hernández y Santos* realizan una caracterización del queso crema de Chiapas. Antecedente para una marca colectiva.

Pérez, Ortega, Ramírez, Flores, Sánchez, Mancilla y Can cuestionan la influencia del contenido de humedad en la composición iónica de sedimentos lacustres. *Salazar, Sosa, Montoya, Gómez, Gómez, García y Carrillo* presentan el mejoramiento de la dieta de tilapia (*Oreochromis niloticus* rocky mountain var. *white*) con aceite de soya, para aumentar calidad de la canal, en zonas rurales de México. *Mireles, Ruiz, Marín, Hernández y Montero* analizan los sistemas antioxidantes del cultivo de *Cicer Arietinum* L bajo condiciones de estrés abiótico: Revisión de literatura.

Quisiéramos agradecer a los revisores anónimos por sus informes y muchos otros que contribuyeron enormemente para la publicación en éstos procedimientos repasando los manuscritos que fueron sometidos. Finalmente, deseamos expresar nuestra gratitud a la Universidad Autónoma Chapingo en el proceso de preparar esta edición del volumen.

PÉREZ-SOTO, Francisco
FIGUEROA-HERNÁNDEZ, Esther
GODÍNEZ-MONTOYA, Lucila
ROCHA-QUIROZ, Jaime

Texcoco de Mora, México. Julio, 2017

Contenido	Pág.
1 Aprovechamiento de lactosuero en la elaboración de lactofermentos agrícolas: Caracterización fisicoquímica, microbiológica y toxicológica BENÍTEZ-DE LA TORRE, Alfonso, PÉREZ-RAMÍREZ, Efraín, MORALES-GARCÍA, Yolanda E., MUÑOZ-ROJAS, Jesús, DÍAZ-RUÍZ, Ramón y MORALES-ALMORA, Porfirio	1-7
2 Contaminación por metales pesados de aguas superficiales en la microcuenca de Zimapán, Hidalgo MACEDO-CRUZ, Antonia, VILLEGAS-ROMERO, Isidro, CARRILLO-GONZÁLEZ, Rogelio y TORRES-BAUTISTA, Daniel	8-15
3 Estudio de las propiedades del aceite y biodiesel de semillas del fruto de <i>Chrysobalanus icaco</i> REYES-TREJO, Benito, ZULETA-PRADA, Holber, GUERRA-RAMÍREZ, Diana, VALENCIA-GARCÍA, Viridiana, LÓPEZ-VALDEZ, Luis German y REYES, Lino	16-27
4 Cadmio y fosfito en crecimiento de plántulas de tomate CASASOLA-ELIZONDO, César Antonio, TREJO-TÉLLEZ, Libia Iris, ALCÁNTAR-GONZÁLEZ, Gabriel, GÓMEZ-MERINO, Fernando Carlos y GARCÍA-MORALES, Soledad	28-37
5 Cálculo de caudales hidrológicos de la subcuenca de río Ambi utilizando el programa HEC-HMS para la comprobación de su aplicabilidad en el Ecuador CARRERA-VILLACRÉS, David, SANDOVAL-ERAZO, Washington, ANDRADE-ROSERO, Valeria, PIEDRA-LEÓN, Pablo y SÁNCHEZ-GÓMEZ, Viviana	38-47
6 El fosfito: Frontera entre la nutrición de cultivos y el control de plagas y enfermedades RODRÍGUEZ-NEAVE, Francisco	48-53
7 Caracterización del queso crema de Chiapas. Antecedente para una marca colectiva LOZANO-V., Gustavo, AGUIRRE-M., Eleazar, HERNÁNDEZ-M., Arturo y SANTOS-M., Armando	54-69
8 Influencia del contenido de humedad en la composición iónica de sedimentos lacustres PÉREZ-DÍAZ, José Pedro, ORTEGA-ESCOBAR, Héctor Manuel, RAMÍREZ-AYALA, Carlos, FLORES-MAGDALENO, Héctor, SÁNCHEZ-BERNAL, Edgar Iván, MANCILLA-VILLA, Oscar Raúl y CAN-CHULIM, Álvaro	70-77

9 Mejoramiento de la dieta de tilapia (<i>Oreochromis niloticus rocky mountain var. white</i>) con aceite de soya, para aumentar calidad de la canal, en zonas rurales de México	78-92
SALAZAR-BUSTOS, María del Socorro, SOSA-MONTES, Eliseo, MONTOYA- VENEGAS, Lucía, GÓMEZ-S., Alberto R., GÓMEZ, E. René, GARCÍA-URIZA, Gustavo y CARRILLO-DOMÍNGUEZ, Silvia	
10 Sistemas antioxidantes del cultivo de <i>Cicer Arietinum</i> L bajo condiciones de estrés abiótico: Revisión de literatura	93-105
MIRELES-ARRIAGA, Ana Isabel, RUIZ-NIETO, Jorge Eric, MARÍN- HERNÁNDEZ, José Antonio, HERNÁNDEZ-RUIZ, Jesús y MONTERO, Víctor	
Apéndice A. Consejo Editor ECORFAN	106-108
Apéndice B. Comité Arbitral ECORFAN	109

Aprovechamiento de lactosuero en la elaboración de lactofermentos agrícolas: Caracterización fisicoquímica, microbiológica y toxicológica

BENÍTEZ-DE LA TORRE, Alfonso, PÉREZ-RAMÍREZ, Efraín, MORALES-GARCÍA, Yolanda E., MUÑOZ-ROJAS, Jesús, DÍAZ-RUIZ, Ramón y MORALES-ALMORA, Porfirio

A. Benítez, E. Pérez, Y. Morales, J. Muñoz, R. Díaz y P. Morales

Collegio de Postgraduados Campus Puebla. Km. 12.5 Carretera Federal México-Puebla (s/n) C. P. 72760 Puebla, Puebla
Laboratorio de Ecología Molecular Microbiana del CICM-ICBUAP. Domicilio conocido, Ciudad Universitaria Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla
eperzr@colpos.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

Characterization of biofertilizers made with naturally sweet whey, commercial strains, certified Lactic Acid Bacteria (LAB) and yeasts alone and in consortia in fermentations of 5 and 30 days of ripening was made by evaluating the decrease in pH, production organic acids and increased buffering capacity, content of viable microorganisms and phytotoxicity.

Inoculation favored the physicochemical characteristics lactofermentos 5 days of ripening. Lactofermentos with pH between 4 and 4.3, organic acids to 2.85 g L⁻¹ and buffering capacity of 7.83 meq NaOH mL⁻¹ were obtained. A decrease of 18% phytotoxicity associated with whey fermentation was observed. The best bulk starter was obtained with commercial strains BAL-*S. cerevisiae* at both 5 and 30 days, demonstrating that it is possible obtain lactofermentos with commercial strains in few days of fermentations.

1 Introducción

La fabricación de queso fresco de manera artesanal representa una fuente de ingreso para muchos productores de comunidades rurales del mundo y representa un bien cultural alimentario de importancia económica que puede contribuir al desarrollo regional (Gerrini y Prost, 2003), sin embargo el lactosuero, que es el subproducto que se genera durante su elaboración, ocasiona un grave impacto cuando es vertido sin control al ambiente, además de que se desaprovecha una rica fuente de nutrientes dado su contenido en azúcares, proteínas, vitaminas y minerales (Londoño *et al.*, 2010). Para elaborar un kilogramo de queso se requieren aproximadamente 4 litros de agua en procesos de limpieza y se generan 9 de lactosuero (Carvalho *et al.*, 2013).

A nivel mundial se producen cada año entre 115 y 145 millones de toneladas de lactosuero y más de la mitad se tira directamente a los hábitats acuáticos, lo que ha ocasionado un deterioro ambiental severo (Ghaly y Singh (1989)

Junto con el nitrógeno, fósforo y potasio que provienen de otras agro industrias, la lactosa forma un grupo de contaminantes orgánicos no peligrosos que produce un crecimiento excesivo de algas, bacterias y levaduras en los cuerpos de agua receptores, (Wagner, 1996). Si es descargado en suelos, además de salitrarlos y afectar física y químicamente su estructura, (Aider *et al.*, 2009; Fernandes *et al.*, 2009) existe el riesgo de contaminarlos con microorganismos patógenos al filtrarse hasta los mantos acuíferos convirtiéndose de esta manera en un riesgo para la salud humana y animal.

Mil litros de lactosuero generan cerca de 35 kilogramos de demanda biológica de oxígeno (DBO) y cerca de 68 kilogramos de demanda química (DQO) (Carvalho *et al.*, 2013), fuerza contaminante que equivale a la de aguas negras producidas en un día por 450 personas (Inda, 2000). Debido a la cantidad de oxígeno que se requiere para degradarlo, se considera un residuo de riesgo ambiental (Miranda *et al.*, 2010; Araujo *et al.*, 2013), de aquí la necesidad de buscar opciones que permitan su aprovechamiento.

Considerando los problemas ambientales derivados de la disposición inadecuada de lactosuero, se ha planteado la posibilidad de aprovechar integralmente sus componentes, así como los metabolitos que se producen cuando se fermentan con microorganismos eficientes: Se les conoce como lactofermentos o biopreparados de suero de leche, y han encontrado diversos beneficios en nutrición vegetal y control biológico (Obregón, 2000; Pacheco, 2003).

Estudios previos demuestran la efectividad del uso de consorcios de bacterias ácido lácticas (BAL) y levaduras de la leche en comparación con cepas solas para la fermentación de lactosuero (Plesas *et al.*, 2008), pero no hay estudios previos sobre el aprovechamiento de dicha sinergia con posible aplicación en la elaboración de biopreparados e inoculantes para uso agrícola. Por otra parte el tiempo propuesto por Pacheco (2003) de 30 días para fermentar el lactosuero resulta poco práctico en condiciones de campo considerando la cantidad de suero que se produce diariamente, por lo que el objetivo de este trabajo fue comparar el método tradicional para la elaboración de lactofermentos utilizando cepas comerciales (solas y en consorcio) en fermentaciones de 30 días contra un lactofermento elaborado con cepas certificadas (solas y en consorcio) en un tiempo de 5 días, con la hipótesis de que se puede obtener un producto con características similares en menor tiempo utilizando cepas certificadas.

1.1 Metodología

El trabajo se realizó en los laboratorios de Micología del Colegio de Postgraduados *campus* Puebla y en el laboratorio de Ecología Molecular Microbiana del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) en la ciudad de Puebla, México. Lactosuero: Se recolectaron 2 litros de suero fresco salado generado en una quesería de la localidad de Chipilo Puebla el cual se calentó a 100 °C con vapor directo, se enfrió y analizó con un equipo Lactoscan SLP60 para determinar el contenido de lactosa la cual se ajustó al 4% con agua destilada estéril a pH 7 y se agregó sacarosa al 10% (p/v) como fuente adicional de carbono. El lactosuero se almacenó en botellas Shoot en refrigeración a 4 °C hasta su uso.

Cepas y fermentaciones: Se trabajó con las cepas: *Lactobacillus acidophilus* (CDBB-B-1026), *Streptococcus thermophilus* (CDBB-B-1931) y *Kluyveromyces marxianus* (CDBB-L-836) suministradas y certificadas por el Bioterio del Instituto Politécnico Nacional. Conforme a los objetivos de este trabajo, también se utilizaron cepas comerciales de bacterias ácido lácticas (Choozit[®]) y Levadura de panificación *Saccharomyces cerevisiae* (Tradipan[®]). Las cepas se cultivaron en cajas Petri en medios LB (levaduras) y MRS (bacterias) en estriado diluido incubándose 70 horas a 30 °C. La activación antes de inocular los sueros se hizo seleccionando colonias aisladas y creciéndolas en medio líquido LB a 20 °C y 200 rpm por 24 horas. Posteriormente el paquete celular se recuperó por centrifugación a 3,500 rpm por 10 minutos y se ajustó la densidad óptica a 0.4-0.6 en espectrofotómetro a una longitud de onda de 600 nm. Las cepas se refrigeraron a 4 °C y antes de ser inoculadas se activaron 4 horas en 50 mL de lactosuero estándar en matraz de 125 mL en agitación orbital. Las fermentaciones se hicieron por triplicado en tubos Pyrex de 50 mL con tapón rosca y empaque de teflón con 45 mL de suero y 1 mL de inoculante (al 100% cepas puras y en proporciones iguales cuando se utilizaron dos y tres cepas) a 20 °C en obscuridad, agitación y desfogue de gases ocasional.

Variables: Por triplicado se evaluó el cambio de pH (NMX-F-266-SCFI (2012), la producción de ácidos orgánicos por titulación potenciométrica expresada como ácido láctico (NOM-155-SCFI-2003) y capacidad de intercambio catiónico expresada como capacidad amortiguadora en miliequivalentes de NaOH mL⁻¹ (Jasaitis *et al.*, 1987) con un potenciómetro PH120 Conductronic calibrado con estándares pH 4, y 7. Al final de cada fermentación se determinó el contenido de microorganismos viables expresado en Log₁₀ UFC mL⁻¹ por el método de goteo en placa por diluciones seriadas (Herigstad *et al.*, 2001). La fitotoxicidad se determinó en semillas de alfalfa comparando la inhibición de germinación y desarrollo de germinado comparando los lactofermentos diluidos al 10% en comparación con un control de agua potable estéril conforme al método descrito por Tiquia (2000) pero evaluando el incremento de biomasa calculada como peso seco en lugar de la elongación de la radícula. Se consideró como indicador de disminución de toxicidad cuando el promedio del incremento de germinación y ganancia de biomasa del germinado fue mayor al 5%.

Diseño experimental y análisis estadístico: Se hizo un arreglo factorial 2x11 con un diseño en bloques completamente al azar evaluando dos tiempos de fermentación (5 y 30 días) con cepas certificadas y comerciales, solas y en consorcio. La comparación de tratamientos se hizo por análisis de varianza (ANOVA) aplicando la dócima de comparación múltiple de Tukey ($p < 0.05$). Para comparar tiempos de fermentación se aplicó la prueba t-Student. En caso de no cumplirse con las condiciones de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Lavene) se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney utilizando el paquete estadístico SAS (2004).

1.2 Resultados y discusión

A continuación se presentan los resultados de los análisis realizados a los lactosueros sin inocular, lactosuero inoculado con cepas las certificadas *S. Termophilus*, *L. acidophilus*, *K. marxianus* solas y en consorcio, lactosuero inoculado con cepas comerciales de bacterias ácido lácticas BAL y la levadura *S. cerevisiae* solas y en consorcio en fermentaciones de 5 días (tabla 1) y fermentaciones de 30 días (tabla 1.1).

Tabla 1 Características fisicoquímicas, microbiológicas y toxicológicas lactofermentos de 5 días de maduración

	pH				Acides (% Ac. Láctico)			Capacidad amortiguadora (meq NaOH mL ⁻¹)			Biomasa (log ₁₀ UFC mL ⁻¹)	Δ Germinación (%)	Δ Peso seco (%)
		±				±			±				
Lactosuero s/i	4.3400	± 0.05	d	1.8450	± 0.04	bc	5.2667	± 0.06	bcd	4	4.00	-3.21	
<i>S. termophilus</i>	4.2167	± 0.03	abc	2.1000	± 0.05	a	5.8000	± 0.20	a	5			
<i>L. acidophilus</i>	4.2300	± 0.04	abc	1.8300	± 0.11	bc	5.0667	± 0.40	cd	5	18.01	14.09	
<i>K. marxianus</i>	4.1633	± 0.02	ab	1.8900	± 0.05	bc	5.1000	± 0.10	cd	4	-7.73	18.44	
Str-Lact	4.1700	± 0.02	abc	2.1000	± 0.07	a	5.8000	± 0.20	a	4	-6.40	12.53	
Str-Kluy	4.1800	± 0.03	abc	1.9200	± 0.03	bc	5.2333	± 0.06	cd	5			
Lac-Kluy	4.2200	± 0.02	abc	1.9050	± 0.05	bc	5.2333	± 0.06	cd	4			
Str-Lac-Kluy	4.2233	± 0.01	abc	1.9050	± 0.05	bc	5.2000	± 0.10	cd	4	14.82	5.52	
BAL	4.2333	± 0.01	bc	1.7550	± 0.00	c	4.8000	± 0.00	d	4	6.14	6.15	
<i>S. cerevisiae</i>	4.2367	± 0.03	c	1.9800	± 0.08	ab	5.5333	± 0.25	abc	4	1.61	5.59	
BAL-Sac	4.1600	± 0.01	a	2.1150	± 0.04	a	5.7667	± 0.06	ab	4	1.45	12.00	

s/i: sin inocular
 Str: *S. termophilus*; Lact: *L. acidophilus*; Kluy: *K. marxianus*; Sac: *S. cerevisiae*; BAL: Bacterias ácido lácticas.
 Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Tabla 1.1 Características fisicoquímicas, microbiológicas y toxicológicas lactofermentos de 30 días de maduración

	pH				Acides (% Ac. Láctico)			Capacidad amortiguadora (meq NaOH mL ⁻¹)			Biomasa (log ₁₀ UFC mL ⁻¹)	Δ Germinación (%)	Δ Peso seco (%)
		±				±			±				
Lactosuero s/i	4.2100	± 0.02	bcd	2.5350	± 0.13	abc	6.9667	± 0.32	a	2	15.68	9.12	
<i>S. termophilus</i>	4.2000	± 0.01	bc	2.5950	± 0.14	abc	7.2000	± 0.35	a	2			
<i>L. acidophilus</i>	4.2567	± 0.01	cde	2.4000	± 0.07	abc	6.9000	± 0.30	a	2	17.15	5.52	
<i>K. marxianus</i>	4.2933	± 0.02	e	2.3850	± 0.08	c	6.8000	± 0.10	a	2	10.40	5.03	
Str-Lact	4.2300	± 0.03	bcd	2.4317	± 0.16	bc	6.7667	± 0.45	a	2	-2.12	2.45	
Str-Kluy	4.2700	± 0.01	de	2.5350	± 0.18	abc	7.2333	± 0.47	a	2			
Lac-Kluy	4.2467	± 0.01	bcde	2.6250	± 0.07	abc	7.3333	± 0.25	a	2			
Str-Lac-Kluy	4.2500	± 0.01	bcde	2.6700	± 0.19	abc	7.6000	± 0.61	a	2	-3.11	14.53	
BAL	4.1933	± 0.02	b	2.8500	± 0.19	ab	7.8333	± 0.76	a	2	18.60	16.30	
<i>S. cerevisiae</i>	4.3067	± 0.05	e	2.3850	± 0.23	c	6.7667	± 0.35	a	2	1.89	5.03	
BAL-Sac	4.0367	± 0.02	a	2.8650	± 0.03	a	7.3000	± 0.00	a	2	11.54	3.04	

s/i: sin inocular
 Str: *S. termophilus*; Lact: *L. acidophilus*; Kluy: *K. marxianus*; Sac: *S. cerevisiae*; BAL: Bacterias ácido lácticas.
 Letras diferentes en la misma columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

Se observa un efecto benéfico en la disminución de pH en los sueros inoculados en comparación con el suero sin inocular ($p < 0.05$), así como en la disminución de fitotoxicidad (incremento de peso seco) con los fermentos de 5 días de añejamiento.

El contenido de microorganismos viables fue mayor utilizando las cepas certificadas de BAL tanto de forma individual como con el consorcio *L. acidophilus-S. thermophilus*. La menor fitotoxicidad se obtuvo con los fermentos inoculados con BAL certificadas solas y en consorcio con *K. marxianus*, así como con las BAL comerciales y el consorcio de BAL-*S. cerevisiae*, comportamiento similar al obtenido con las fermentaciones de 30 días. Ya en trabajos previos, Botes *et al.* (2007), Paramithioti *et al.* (2006) y Plessas *et al.* (2008) habían demostrado la importancia y ventajas de utilizar consorcios microbianos para aumentar los rendimientos en la fermentación de lactosa así como para la obtención de metabolitos que no se podrían obtener con cepas puras.

En este trabajo se pudo observar además, que los lactofermentos elaborados con consorcios microbianos utilizando diferentes especies no resultan fitotóxicos.

En las fermentaciones de 30 días nuevamente se observan mejores características fisicoquímicas de pH y producción de ácidos orgánicos con el uso del consorcio BAL-*S. cerevisiae*, es decir, con cepas lácticas comerciales. Ya no se observaron mejoras en comparación con el lactosuero sin inocular, y la homogeneidad de sus características fisicoquímicas y microbiológicas indica que con el tiempo los fermentos se llegan a estabilizar.

No se observaron diferencias significativas en el pH de los lactofermentos de 5 y 30 días pero sí en el contenido de ácidos orgánicos y capacidad amortiguadora, aumentando ambos parámetros con el añejamiento, y disminuyendo de manera significativa el contenido de microorganismos viables ($p < 0.05$). La fitotoxicidad disminuyó ligeramente con la maduración.

1.3 Conclusión

Se demuestra que es posible aprovechar el lactosuero generado por la industria quesera para la producción de biopreparados con fermentaciones de 5 días y utilizando cepas comerciales en consorcio. Estos resultados son de interés en el diseño de biofertilizantes de bajo costo aprovechando subproductos agroindustriales.

1.4 Agradecimientos

Este trabajo fue financiado con recursos CONACYT.

1.5 Referencias

Aider, M., D. Halleux y Melnikova, I. (2009). Skim acidic milk whey cryoconcentration and assesment of its functional properties: Impact of processing conditions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10(3): 334-341.

Araujo, G., Monsalve, L.M. y Quintero, A.L. (2013). Aprovechamiento del lactosuero como fuente de energía nutricional para minimizar el problema de la contaminación ambiental. 4 (2):55-65.

Botes, A., Svetoslav ,D., Johan, W., Mollendorff, V., Botha, A., Dicks, L. (2007). Identification of lactic acid bacteria and yeast from Boza. *Process. Biochem.* 42

- Carvalho, F., Prazeres, A., Rivas, J. (2013). Cheese whey wastewater: Characterization and treatment. *Science of the total environment* 445-446.
- Fernandes, M., Fornari, R., Mazutti, R., Oliveira, D., Ferreira, F., Cichoski, A., Cansian, R., Luccio, M. y Treichel. R. (2009). Production and characterization of xantham gum by *Xanthomonas campestris* using cheese whey as sole carbon source. *Journal of Food Engineering* 90(1): 119-123.
- Ghaly, A. y Singh, R., (1989). Pollution potential reduction of chees whey through yeast fermentation. *Appl Biochem Biotechnol* 22(2) 181-203.
- Gerrini, P. y Prost, A. (2003). Conjuguer l'Elaboration, Techniques, et Enjeux Socioeconomiques. Construction de L'AO Broccio Corse. En Seminaire INRA- INAO. Systemes d' Elevage et Tipicité des Produits Laitieres.
- Herigstad, B., Hamilton, M., Heersink, J. (2001). How optimize the drop plate method for enumerating bacteria. *Journal of Microbiological Methods*. 44 (2): 121-129
- Inda, C. (2000). Optimización del Rendimiento y Aseguramiento de Inocuidad en la Industria de Quesería. Organización de los Estados Americanos OEA, pp. 87-93.
- Jasaitis, D. ,Wohlt J. y Evans, J. (1989). Influence of feed ion content in buffering capacity of ruminant feedstuffs in vitro. Cook college Rutgers. N.J.
- Londoño, M., Sepúlveda, J. y Hernández, A. (2010). Utilización del suero de queso fresco en la elaboración de bebida fermentada con cultivos probióticos. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 20 (2):53-57.
- Miranda, M., Fonseca, P., Ponce, I.; Cedeño, C., Sam, R. y Martí V. (2007). Elaboración de una bebida fermentada a partir del suero de queso: Características distintivas y control de calidad. *Rev. Cubana Aliment. Nutr.* 17(2):103-108.
- NMX-F-266-SCFI-2012. Norma Mexicana (2012). Determinación del pH en muestras de jugos de caña de azúcar, meladura y mieles.
- NOM-155-SCFI-2003. Norma Oficial Mexicana (2003). Determinación de acidez en leche.
- Obregón, M. (2000). Estudios preliminares para evaluar las posibles aplicaciones del lactosuero en la agricultura. *Revista Técnica* vol. 1 Instituto Nacional de Aprendizaje (INA). Costa Rica.
- Pacheco, F. (2003). Lactofermentos: Una alternativa en la producción de abonos orgánicos líquidos fermentados. Costa Rica. Centro Nacional Especializado en Agricultura Orgánica. Organización de Estudios Tropicales, Instituto Nacional de Aprendizaje (AVINA).
- Paramithiotis, S.; Gioulatos, E., Tsakalidou, G., Kalantzopoulos, Paramithiotis S; S. Gioulatos ; E. Tsakalidou; G. Kalantzopoulos (2006) Interactions between *Saccharomyces cerevisiae* and lactic acid bacteria in sourdough. *Process Biochem*. 41.

Plessas, S.; Bosnea, L; Psarianos, C.; Koutinas, A .A.; Marchant, R. y Banat, M. (2008). Lactic acid production by mixed cultures of *Kluyveromyces marxianus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. Bulgaricus* and *Lactobacillus helveticus*. *Bioresource Technology* 99:5951-5955.

Statistical Analysis System Institute Inc. (2004). SAS/STAT 9.0 User guide. Cary, NC:SAS,.

Tiquia, S. y Tam, N. (2000). Co-composting of spent pig litter and sludge with forced aeration. *Biores. Technol.* 72(1): 1-7.

Wagner, T.,(1996). Contaminación, causas y efectos. Ediciones Gemika, 423 p. México

Contaminación por metales pesados de aguas superficiales en la microcuenca de Zimapán, Hidalgo

MACEDO-CRUZ, Antonia, VILLEGAS-ROMERO, Isidro, CARRILLO-GONZÁLEZ, Rogelio y TORRES-BAUTISTA, Daniel

A. Macedo¹, I. Villegas², R. Carrillo¹ y D. Torres¹

¹Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. 56230. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México, México

²División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México, 56230
macedoan@colpos.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The studies of the quality of the micro watersheds have acquired great interest in the last decades, given to the increase of the population in its banks, the increasing degree of industrialization and the contributions of the primary sector that appear. The importance of the study of heavy metals in waters and sediments in its high toxicity, high persistence and rapid accumulation by living organisms. Mining activity generates large volumes of waste that are deposited without treatment in open spaces, these constitute a potential risk, but the effects that these sites are causing to natural resources have not been documented by releasing compounds and pollutants between the Heavy metals. The effects of metals found in natural waters can have effects on human health (from benefit intervals to toxic), depending on their concentration, so that their quantification in water bodies as well as dispersion in Surface runoff is important. Concentrations of Cu, Pb in the main channel of the stretch immediately downstream of the population nucleus of the Zimapán Hidalgo micro basin were estimated to determine its longitudinal range and its relation with hydraulic expenditure. Water samples obtained from 7 sampling sites were analyzed, collected during the rainy season from July to September 2014; Were stabilized with HNO₃ to stabilize the pH, digested and later analyzed in a Perkin Elmer Atomic Absorption Spectrophotometer to know the content of heavy metals. In this paper we present the results of Cu and Pb with a range of concentrations of heavy metals: Cu 0.011-0.051 mg L⁻¹, Pb 0.044-0.577 mg L⁻¹, reflecting the maximum concentration at sampling sites 5 (Exit point 1), starting to decrease again from those sites, exceeding the maximum allowable levels in some cases.

2 Introducción

Los avances de la industria minera en México han consolidado a este país como líder mundial en la producción de metales preciosos como la plata y del oro (SGM, 2013). Esta dinámica del sector está generando avances favorables en la economía regional de los 24 estados de nuestro país dedicados a la minería, entre los cuales se encuentra Hidalgo (INEGI, 2014), en particular el municipio de Zimapán que fue fundado por los recursos minerales de la región.

Debido al crecimiento de la minería también se ha derivado en aumento de los volúmenes de residuos producidos, estos materiales llamados jales mineros son depositados a la intemperie. Estos sitios están causando afectaciones a los recursos naturales al liberar cantidades excesivas de compuestos y elementos contaminantes como los metales pesados, entre los cuales está el Cu y el Pb.

El manejo inadecuado de residuos mineros causa severos problemas ambientales, entre los cuales se pueden mencionar la generación de drenaje ácido de minas acompañado de la liberación de metales pesados. La falla de estructuras de retención de los depósitos que contienen a los residuos de minas, ocasionan derrames que cubren las partes más bajas de las cuencas hidrográficas. Estos residuos se pueden transportar y depositar finalmente en los cauces y cuerpos de agua (Kelly, 1990).

Las concentraciones de metales en los cauces que conforman los escurrimientos superficiales de las regiones mineras pueden permitir el diagnóstico de toxicidad potencial de los mismos, y del riesgo de su ingreso en la cadena trófica; lo anterior se asocia a la posibilidad que tienen algunos de estos elementos de avanzar en la superficie de los cauces (Ramos *et al.*, 2002).

La acumulación y dispersión de metales pesados en el agua y su translocación a las plantas y animales en concentraciones que pueden ser tóxicas, por lo que es un factor de riesgo para la salud regional que debe ser atendido de manera inmediata (Prieto *et al.*, 2009).

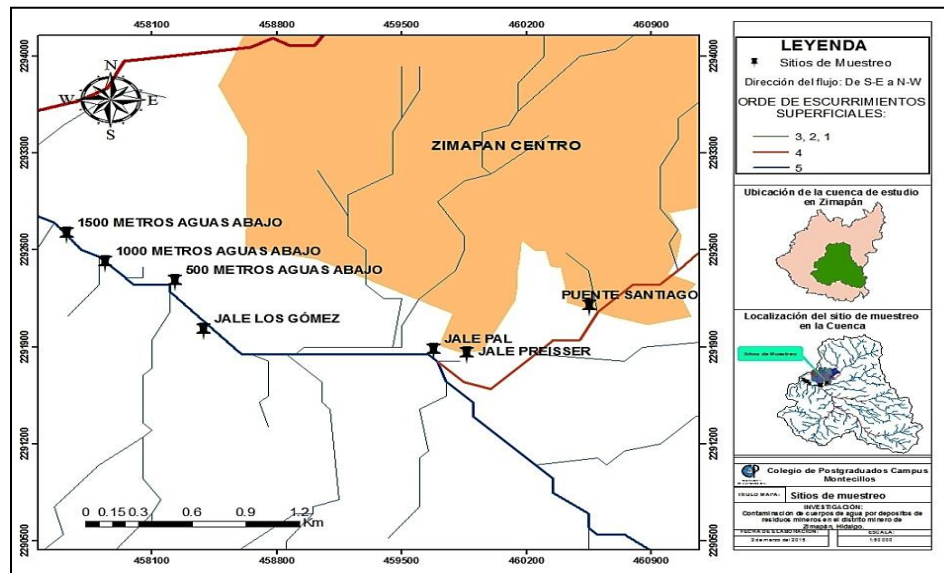
Los depósitos residuales mineros en Zimapán, generan dispersión de partículas finas y lixiviación de residuos que llegan directamente a los escurrimientos superficiales principales, pero no se han cuantificado y no se conocen las concentraciones puntuales de los metales pesados, que se están aportando a los cauces de agua, tampoco su alcance longitudinal y comportamiento químico, situación que no solo puede estar afectando a la población que vive directamente en el municipio sino también a las comunidades aledañas que utilizan los cauces de agua para sus diferentes actividades.

El objetivo de esta investigación fue describir la variación en la concentración de Cu y Pb, en el cauce principal de la microcuenca de Zimapán Hidalgo, para determinar su alcance longitudinal en función de la normatividad ambiental del país, y así ayudar a diseñar medidas de mitigación del impacto derivado de esta problemática y prevenir daños futuros a los núcleos de población, y al ambiente.

2.1 Materiales y métodos

Los sitios de muestreo fueron seleccionados en base a los depósitos de residuos mineros de la zona, y georeferenciados con un GPS Garmin Etrex 20. La localización de los puntos de muestreo se muestra en la Figura 2. El aporte de contaminantes por parte de los residuos a los cauces de agua se ve afectada por las lixiviaciones y escurrimientos, por lo que se optó por muestrear en la temporada de lluvia 2014 en Zimapán, Hidalgo, la cual se da en los meses de julio a septiembre.

Figura 2 Distribución espacial de los sitios de muestreo



*Datum: WGS 84

Las muestras se tomaron en la parte media del flujo y a la mitad de la profundidad de este. Para reducir el número de muestras se ubicaron tramos del cauce en donde la composición del agua fuera uniforme con la profundidad y la sección transversal, lo que permitió tomar una muestra por cada sitio para lograr confiabilidad y representatividad. Con base en lo establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-051-SCFI-2001, los recipientes de recolección utilizados fueron botellas de 500 y 1000 mililitros de capacidad, tomando un mínimo de 500 mL de muestra.

Los procedimientos establecidos por la APHA-AWWA-WPCF-1992 y la NMX-AA-051-SCFI-2001 dictaminan que las muestras deben ser transportadas al laboratorio en el menor tiempo posible después de su colecta. Después de ser colectadas, en el traslado y el laboratorio las muestras se mantuvieron en refrigeración a 4°C. Las concentraciones de cobre (Cu), plomo (Pb) se determinaron utilizando el método analítico recomendado por la norma oficial mexicana y NMX-AA-051-SCFI-2001 y por la EPA-Method-6010B, el cual es el de Espectrometría de absorción atómica.

Para la determinación de metales pesados se preparó un volumen de muestra de 100mL de muestra en un matraz Erlenmeyer, al cual se le añadieron de 3 a 5mL de HNO₃ y se llevó a digestión lenta a 110°C evaporando 1/5 parte del volumen inicial; el material digerido se dejó enfriar, posteriormente se lavaron las paredes del Erlenmeyer con 10mL de HCl (5:5) y se colocaron en la campana durante 3 minutos para la liberación de vapores, se vertió el contenido en un matraz aforado a 25 mL y se aforó con agua destilada, se filtró en un papel filtro del número 40 y se le analizó el contenido de metales pesados en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer. Se midió el caudal (Q m³/S⁻¹) que pasa por la sección transversal de cada sitio de muestreo, con el fin de relacionarlo con el comportamiento, distribución y alcance de las concentraciones de los metales pesados. El método de aforo aplicado fue el de sección-velocidad, midiendo la velocidad por medio del método de flotador.

2.2 Resultados y discusión

2.2.1 Aforo de la corriente

El caudal varía con la longitud del cauce por lo que se obtuvo un valor distinto en cada uno de los sitios de muestreo, observándose un incremento en el volumen conforme el escurrimiento avanza aguas abajo a partir del punto testigo y hasta el sitio Jales Los Gómez, a partir de ahí se registra un gasto hidráulico siempre menor, lo cual se atribuye a posible pérdida de caudal por infiltración en el lecho del cauce, debido al cambio de materiales geológicos y a la baja velocidad con que se desplaza el flujo de agua en este tramo. El incremento en el caudal se atribuye a varios factores, como la descarga de agua residual de la zona urbana, el aporte de los afluentes secundarios algunos de los cuales provienen de los escurrimientos formados sobre los depósitos de residuos de minas ubicados en el área de drenaje.

2.2.2 Concentración de metales pesados en el agua

En la Tabla 2 se presentan las medias aritméticas de las concentraciones para cada contaminante por sitio de muestreo, calculados con el paquete estadístico SAS 9.0.

Tabla 2 Promedios de las concentraciones de metales pesados por cada sitio de muestreo determinadas con SAS

Sitio de muestreo	Cobre		Plomo	
	Promedio	Desv.Est	Promedio	Desv.Est
Puente Santiago	0.011	±0.007	0.044	±0.014
Jale Preisser	0.027	±0.008	0.209	±0.023
Jale Pal	0.036	±0.003	0.275	±0.042
Jale Los Gómez	0.049	±0.007	0.577	±0.035
Punto de Salida 1	0.051	±0.009	0.574	±0.059
Punto de Salida 2	0.035	±0.008	0.349	±0.035
Punto de Salida 3	0.020	±0.003	0.283	±0.048

***p<0.001

Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre las concentraciones medias, se utilizó un análisis de varianza (ANDEVA), el cual asume que los datos se ajustan una distribución normal y que las poblaciones presentan homogeneidad de varianza. Antes del análisis de varianza, se aplicó el test de normalidad ($w=0.938441$) de Kolmogorov-Smirnov y el test de homogeneidad de varianza de Bartlett.

Los seis elementos analizados mostraron un patrón de comportamiento muy similar, mostrando un proceso acumulativo sobre el avance del flujo desde su comienzo en el Puente Santiago hasta el jale Los Gómez y el Punto de Salida 1 (500m aguas abajo) en donde se alcanzan las máximas concentraciones para todos los metales. Aguas abajo de los sitios antes mencionados comienza nuevamente la disminución de los niveles de concentración. La influencia directa del vertido de los lixiviados a los flujos superficiales analizados disminuyó.

2.2.3 Pluma de concentración en el tramo del cauce

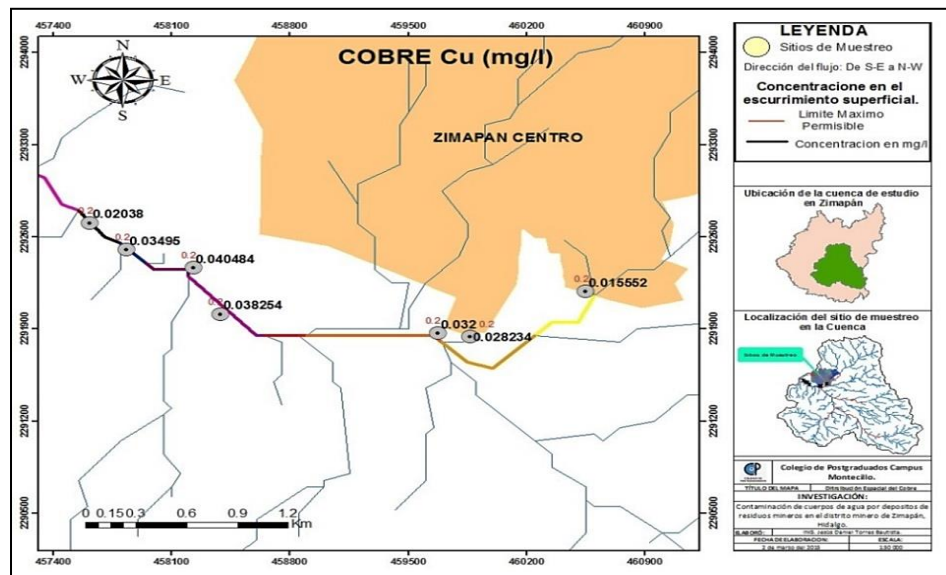
De acuerdo con lo establecido en los lineamientos legales se elaboró un cuadro comparativo (Tabla 2.1), con las concentraciones permisibles que se señalan en cada norma y reglamento para utilizarla como base comparativa y aplicarla a los resultados obtenidos. La información que se utilizó como referencia por ser la más completa es la que establece los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua, en su apartado Agua para riego, consumo crudo y bebida de animales.

Tabla 2.1 Límites máximos permisibles para los contaminantes

Compuesto o elemento	Criterios ecológicos de la calidad del agua (D.O.F. 13 de diciembre de 1989)				Nom 001-semarnat (mg l ⁻¹)		Estándares nacionales de calidad ambiental para agua (mg l ⁻¹)		Nom-127-ssa1-1994 (mg l ⁻¹)
	Fuente de abastecimiento de agua potable	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola	Pecuario	Riego agrícola	Uso público urbano	Recreativo con contacto primario	Agua para riego, consumo crudo y bebida de animales	Agua para consumo humano
Cobre		-	-	-	4.00	4.00	2.00	0.2	2.00
Plomo	0.05	-	5.00	0.1	0.50	0.20	0.01	0.05	0.01

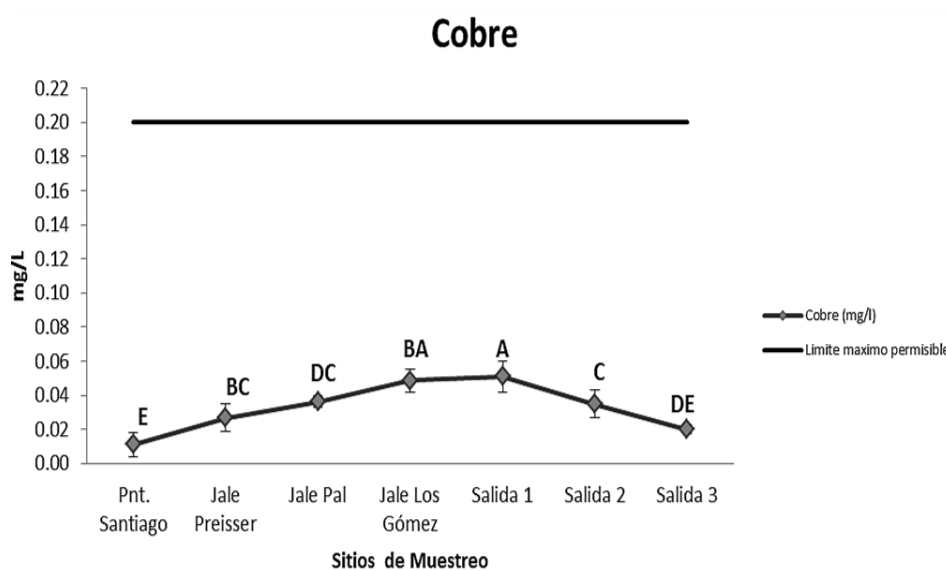
Las concentraciones de Cu presentan una marcada homogeneidad y poco aumento en sus niveles de sitio a sitio, hasta llegar a un máximo de 0.04 mg L⁻¹ en los depósitos los Gómez y después comienza su disminución. Para todos los casos, las concentraciones son inferiores a los límites máximos permisibles como se muestra en las Figuras 2.1 y 2.2.

Figura 2.1 Distribución espacial del cobre en los distintos sitios de muestreo



*Datum: WGS 84

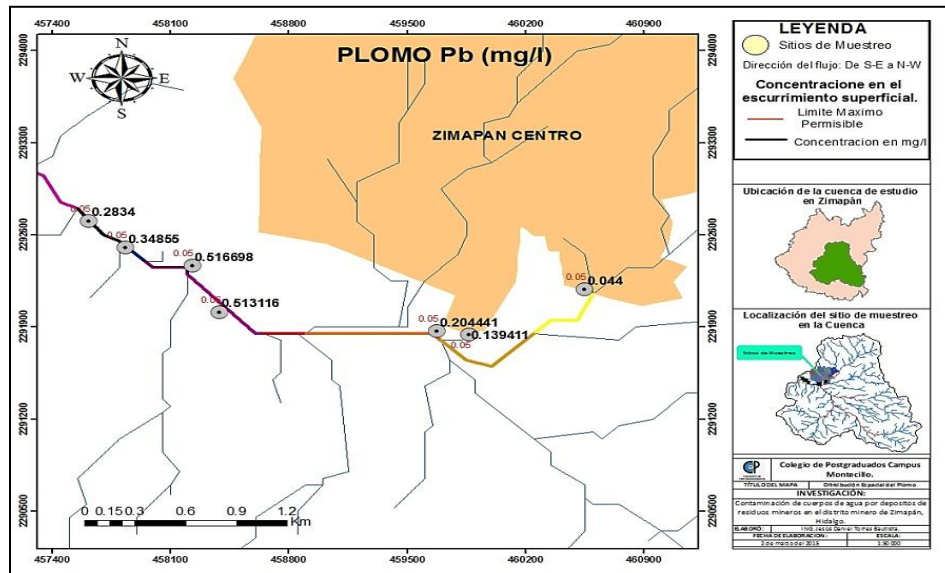
Gráfico 2 Comportamiento del Cu en los sitios de muestreo



*Prueba de Tukey: Simbolizada con letras mayúsculas en la gráfica

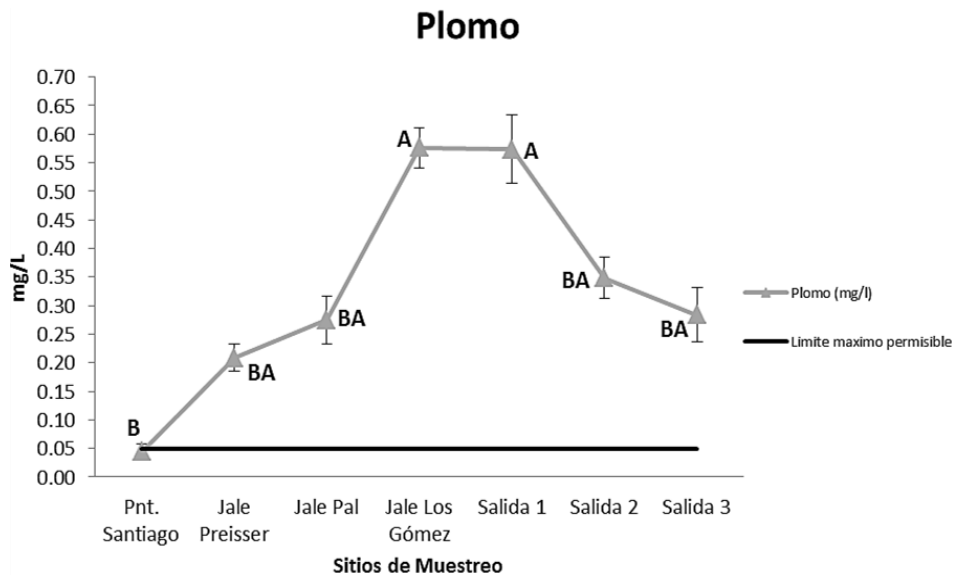
En la Gráfico 2, se observan diferencias estadísticas significativas en todas las concentraciones de los 7 sitios de muestreo, las diferencias estadísticas no son absolutas ya que numéricamente los valores de las medias son muy cercanos unos con otros. Para Pb se observan tendencias hacia concentraciones altas, superiores a los límites máximos permisibles en todas las estaciones a excepción del Puente Santiago, alcanzando la máxima concentración de 0.5156 mg L^{-1} en el Punto de Salida 1 y después comienza a disminuir (Gráfico 2 y Figura 2.2), esto debido al aporte de agua residual que las comunidades y el municipio vierten a los cauces. Sin embargo, las concentraciones se incrementan de manera importante cuando el avance del cauce entra a áreas de influencia de los depósitos residuales.

Figura 2.2 Distribución espacial del plomo en los distintos sitios de muestreo



*Datum: WGS 84

Gráfico 2.1 Comportamiento del Pb en los sitios de muestreo



*Prueba de Tukey: Simbolizada con letras mayúsculas en la gráfica

En el Gráfico 2.1 se muestra que existen tres grupos de medias con diferencias estadísticas significativas, haciendo notar que las concentraciones entre los Residuos de minas Preisser y Pal, y los Puntos de Salida 2 y 3 no tienen diferencias significativas, demostrando que el punto de salida 3 aun contiene elevadas concentraciones de plomo iguales a las encontradas en los puntos de drenaje de los residuos de minas; lo que demuestra que el plomo es altamente persistente en el ambiente y es un elemento ocupacional.

2.3 Conclusiones

- El avance y persistencia del cobre en el cauce alcanza una distancia superior a los 1.5 km aguas abajo del ultimo jale analizado (Jale Los Gómez), debido a que la concentración en el Punto testigo es menor que la encontrada en el Punto de Salida 3.
- La pluma de contaminación del plomo en el cauce, alcanza una distancia superior a los 1.5 km aguas abajo del jale Los Gómez, debido a que la concentración en el Punto testigo es mucho menor que la encontrada en el Punto de Salida 3.

Del conjunto de metales pesados analizados se concluye que solo el Pb, generan una pluma de contaminación mayor a 1.5 km aguas abajo del Jale Los Gómez (último sitio con aporte directo de material residual minero), lo que indica alta persistencia en el agua y alto potencial de afectación a distancias superiores a las previstas en esta investigación; observando que los niveles de las concentraciones están muy por arriba de los límites máximos permisibles de referencia en esta investigación, es recomendable realizar muestreos aguas abajo después del Punto de Salida 3, con el objetivo de determinar el alcance que tienen estos metales y establecer hasta donde es posible que lleguen las afectaciones al ambiente.

De acuerdo con los resultados obtenidos, los elementos que se consideran como contaminantes debido a que sobrepasan los límites máximos permisibles estipulados por las normas ambientales usadas como referencia para esta investigación es el plomo. La razón por la cual las concentraciones obtenidas en el punto testigo presentaron valores que en algunos casos llegando al límite de lo permisible como se observó con el plomo, se debe al vertido de aguas residuales de las comunidades existentes aguas arriba y provenientes del mismo municipio.

2.4 Referencias

- INEGI (2014). Anuario estadístico y geográfico de Hidalgo 2014. Gobierno del estado de Hidalgo, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.
- Kelly E.G. and Spottiswod, D.J. (1990). Disposición de las colas. en: Introducción al procesamiento de minerales. (traducción al español por la Ed. Limusa) p.p. 423-427.
- Prieto M.J., González R.C.A., Román G.A.D., Prieto G.F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and subtropical Agroecosystems, vol. 10, núm. 1.
- Ramos C.P. *et al.* (2002). Medio Ambiente, Calidad Ambiental. Ediciones Universidad de Salamanca. Salamanca, España. 368 p.
- SE y CGM (2013). Anuario estadístico de la minería Mexicana 2012. Secretaría de Economía, Coordinación General de Minería. Servicio Geológico Mexicano. Mexico, México.

Estudio de las propiedades del aceite y biodiesel de semillas del fruto de *Chrysobalanus icaco*

REYES-TREJO, Benito, ZULETA-PRADA, Holber, GUERRA-RAMÍREZ, Diana, VALENCIA-GARCÍA, Viridiana, LÓPEZ-VALDEZ, Luis German y REYES, Lino

B. Reyes, H. Zuleta, D. Guerra, V. Valencia, L. López y L. Reyes

Laboratorio de Productos Naturales, Área de Química, Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. Km 38.5 Carretera México-Texcoco. 56230, Texcoco, Edo. De México, México. Tel. 01 (55) 5133-1108 Ext 5760.

Departamento de Química Orgánica, Facultad de Química, UNAM, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán. 04510, D.F. México.

benijovi@yahoo.com.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The objective of this study is to explore the usefulness of seed oil of *Chrysobalanus icaco* as a potential to be transformed into biodiesel resource. The seeds of *C. icaco*, were extracted using a soxhlet apparatus. The oil had a value of acidity of 0.2317 mg KOH/g of sample, this oil was subjected to a transesterification reaction to yield a mixture of methyl esters of fatty acids (Biodiesel), and the end of reaction was corroborated by its ^1H Nuclear Magnetic Resonance spectrum. The composition of seed oil of *Chrysobalanus icaco* was estimated by gas chromatography (GC).

3 Introducción

En los últimos 200 años, se ha incrementado el uso de energía en todo el mundo, cuya consecuencia principal es el calentamiento global. En el planeta las energías renovables en el 2010 representaban alrededor del 14% del consumo total, la biomasa era el principal contribuyente con el ~10% (Kumar *et al.*, 2011). En una investigación de Deng *et al.* (2012), se señala que la principal fuente de energía renovable hasta la fecha es la energía hidráulica, proporcionando con casi el 15% del consumo de electricidad en todo el mundo. Diversos estudios se han enfocado a la investigación de las energías renovables, siendo la biomasa la que presenta más artículos de referencia en un periodo de 30 años (1979-2009) con el 56% de publicaciones, seguido de la energía solar con 26%, eólica 11%, geotérmica 5% y finalmente hidráulica 2% (Manzano *et al.*, 2013). Con la diversidad de fuentes renovables que existen, hay evidencia que sugiere que deberíamos ser capaces de satisfacer por completo nuestra demanda de energía procedente de estas fuentes, pero no es así, estas sólo representan un pequeño porcentaje del consumo total. En estas últimas décadas se ha hecho más evidente que la forma en que se suministra la energía, es insostenible tanto a corto como a largo plazo, por lo que la seguridad energética se ve perturbada por la gran demanda. Principalmente la energía se destina a tres sectores fundamentales: la industria, los edificios y el transporte, representando el ~85% del consumo total de energía (Deng *et al.*, 2012). También se cree que es posible un sistema de energía mundial completamente renovable, pudiendo llegar a un 95% del consumo de energía procedente de fuentes sostenibles para el 2050. Esto es prometedor debido al agotamiento de las fuentes no renovables.

3.0.1 Biocombustibles

A partir de la crisis del combustible fósil de la década de los setentas, varios países tuvieron un especial interés en el desarrollo de tecnologías para la producción de biocombustible para utilizarlo en el sector de transporte. La utilización de biocombustible para el transporte también ayudaría a una disminución muy considerable de las emisiones de CO_2 en la atmosfera. En general, el biocombustible apareció como una solución para enfrentar los problemas del mundo actual. Entre ellos destaca la reducción de gases de efecto invernadero, el desarrollo de las economías agrícolas regionales, la independencia de la economía en base a combustible fósil (Ganduglia, 2009). Una problemática para el desarrollo de nuevas alternativas para la producción de biocombustible, es la materia prima, por la utilización de cultivos energéticos para la producción de estos, debido a que en muchas partes del mundo se enfrenta una escases de alimentos, por lo que resulta un problema ético el uso de fuentes alimentarias como materia prima o el uso de suelo para la cosecha de materia para la producción de combustible, debido a que esto traería como consecuencia una disminución de los recursos y un desabasto en algún momento al destinarse los recursos para satisfacer las demandas energéticas y para el consumo humano. Por lo que es necesaria la implementación de un sistema que impulse el consumo y la producción utilizando suelo que no es aprovechado y el uso de materia prima no comestible para no ocasionar un aumento en los precios de los alimentos.

La producción regulada de biocombustible evitará los impactos negativos sobre la biodiversidad, los ecosistemas y las áreas con alto valor para la conservación, minimizará los impactos negativos sobre la seguridad alimentaria dando particular preferencia a los residuos y desperdicios como materia prima (una vez que sean económicamente viables), a las tierras degradadas, marginadas, subutilizadas como fuentes para no perjudicar los rendimientos que mantienen los suministros de alimentos existentes (Ganduglia, 2009).

La producción a gran escala de biocombustibles ofrece una oportunidad para algunos países en desarrollo para reducir su dependencia de las importaciones de petróleo (Demirbas *et al.*, 2011) además de que muchos de estos países cuentan con suelo que puede ser utilizado para sembrar la materia prima para la producción. Pero uno de los inconvenientes con los que se enfrenta, es el alto costo de producción comparado con el combustible derivado del petróleo. Por lo cual es necesario trabajar en esta parte para hacer el proceso más viable. Para reducir los costos de producción y ser más competitivo con el combustible fósil. Por lo que es necesario disminuir el costo de la materia prima, ya sea utilizando como materia las de menor costos de producción o a partir de la utilización de residuos. Los biocombustibles se pueden clasificar en diferentes categorías, una de estas es dependiendo del tipo de materia prima que se utilice para su producción. En la tabla 3, se muestra de forma sintetizada esta información.

Tabla 3 Características de las generaciones de biocombustibles

Clasificación	Materia prima	Proceso	Tipo de biocombustible
Primera generación	Cultivos energéticos	Transesterificación/hidrogenación Fermentación	Biodiesel Etanol
Segunda generación	Residuos de cosechas, material orgánico.	Fermentación Digestión anaerobia Transesterificación	Etanol Metano Biodiesel
Tercera generación	Algas	Rutas foto-bioquímicas	Biodiesel

Como se puede observar hay diferentes tipos de biocombustibles y cada uno de ellos puede sustituir una porción o el 100% de los combustibles fósiles con alguna modificación en el equipo. También la forma de obtención es distinta y se parte de diferente materia prima para su producción. En la tabla 3.1 que se muestra a continuación, se enlistan los biocombustibles más comunes.

El biodiesel se deriva de aceites vegetales, grasas animales, es biodegradable y no tóxico, químicamente el biodiesel son los ésteres metílicos de ácidos grasos, que se obtiene a través de un proceso reacción químico llamado transesterificación (Figura 1). En cambio, el diesel de petróleo está constituido por una mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos y aromáticos, derivados del procesamiento del petróleo crudo. El biodiesel es uno de los mejores sustitutos del diesel de petróleo, debido a que presenta características muy similares a este. Es un combustible alternativo líquido ecológico que se puede utilizar en los motores diesel sin modificación (casi siempre), se puede mezclar en cualquier porcentaje con diesel de petróleo. Actualmente se emplean mezclas de diesel y biodiesel en motores de combustión, así la nomenclatura de uso de biodiesel al 100% se denomina B100 y la mezcla de 20 partes de biodiesel con 80 partes de diesel se conoce como B20. Se han reportado que las mezclas de biodiesel de hasta B20 se puede utilizar en casi todos los equipo diesel y no requieren generalmente de modificaciones en el motor. Mezclas más altas, incluso B100, se puede utilizar en motores con poca o ninguna modificación (Balat, 2011). Los motores modernos diesel son muy sensibles a la calidad del combustible. Por lo que es importante mantener una buena calidad del biodiesel, para el crecimiento de esta industria (Kargbo, 2010).

Tabla 3.1 Diferentes tipos de biocombustibles

Biocombustible	Bioetanol	Biodiesel	Biogás
Fuente de obtención	Azúcares (caña de azúcar, sorgo, remolacha, dulce, etc.) Almidones (maíz, yuca, etc.) Celulosa (residuos agrícolas, boscosos, etc.)	Plantas oleaginosas (cártamo, girasol, higuera, <i>Jatropha</i> y aceite de palma). Grasa animal. Aceites usados.	Desechos orgánicos. Excrementos de ganado.
Proceso de obtención	Fermentación	Transesterificación	Digestión anaerobia
Combustible a sustituir	Gasolina	Diesel	Gas natural
Porcentaje de sustitución*	5 al 20%	20%	100%

* Sin modificación del motor

3.0.2 Estudios previos de *Chrysobalanus icaco*

Un estudio fitoquímico de las hojas de icaco (*Chrysobalanus icaco*), informa del aislamiento de triterpenos con actividad antitumoral, conocidos como ácido betulínico y pomólico (Fernandes et al., 2003). Respecto al estudio del aceite de semillas del fruto de icaco (*Chrysobalanus icaco*), existe un reporte de materiales procesados del continente europeo (Gunstone y Subbarao, 1967) cuya composición en ácidos grasos es: palmítico (4), estearico (18), oleico (11), linoleico (6), arachídico (1), a-eleostearico (22), a-parinarico (10), a-licánico (10). Considerando que las condiciones edáficas y ecológicas de México son diferentes a los del viejo continente, el estudio de los frutos de icaco procedente de la Costa Grande de Guerrero, México, en este aspecto deberá conducir a resultados diferentes, además en esta investigación se analizarán mezclas de diesel y biodiesel obtenido de semillas mexicanas del fruto de icacos, respecto a sus propiedades fisicoquímicas como el calor de combustión, además de las densidades, viscosidades dinámica y cinemática a diferentes temperaturas.

3.0.3 Planteamiento del problema

Actualmente y dado que el diesel de origen petroquímico no alcanzará para sustituir todo el diesel de nuestro planeta, se están investigando las propiedades fisicoquímicas de mezclas de diesel-biodiesel. Otra razón de utilizar estas mezclas estriba en que el biodiesel puro, a bajas temperaturas (3°C o menos) genera fases sólido-blanquecinas, que taponarían los ductos de fluido combustible. Ahora se plantea la búsqueda de otra fuente alternativa de aceite como el que se obtendrá de las semillas de icaco (*Chrysobalanus icaco*), para su caracterización y transformación en ésteres metílicos de ácidos grasos (biodiesel) y estudiar algunas propiedades como su calor de combustión, densidad y viscosidad a diferentes temperaturas.

3.1 Metodología

Material vegetal.

Los frutos de icaco (*Chrysobalanus icaco*), se colectaron en junio de 2015, en los mercados de Acapulco y Coyuca de Benitez. Estado de Guerrero. Las semillas fueron separadas manualmente de los frutos, se secaron a temperatura ambiente y bajo la sombra durante 7 días. Una muestra se depositó en el Banco de Germoplasma del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma, Chapingo.

Características físicas de las semillas.

Se pesaron alrededor de 30 semillas de icaco y se les determinaron sus dimensiones de largo, ancho y grosor, enseguida fueron separadas manualmente sus almendras y se les determinó su peso, largo, anchura y grosor utilizando un vernier electrónico.

Obtención del aceite.

Extracción por soxhlet.

Se pesaron 36.1 g de semillas molidas de icaco (*Chrysobalanus icaco*), se extraerá con 500 ml de hexano en un equipo soxhlet durante 18 horas, el disolvente se filtró y se eliminó el disolvente en un rotavapor, esta operación se llevó a cabo por triplicado.

Obtención del biocombustible.

Se preparó una disolución de KOH (0.15887g) en metanol anhidro (10.4 mL), se calentó con agitación vigorosa hasta la disolución de la potasa (KOH). Seguidamente se adicionaron 20 mL del aceite. Se mantuvo bajo reflujo con agitación constante a durante 120 min., el desarrollo de la reacción se siguió por cromatografía en capa delgada usando una mezcla de hexano: ácido acético: acetato de etilo (90:1:10) como eluyente, revelando con una cámara de vapores de Iodo. La mezcla de reacción se enfrió, y se transfirió a un embudo de separación y se dejó reposar durante 10 horas. La fase superior del biodiesel se lavó con dos porciones de 25 mL de disolución de ácido cítrico al 0.1%, después con agua caliente a 60°C (2X50 mL), y se secó con sulfato de sodio anhidro. Para corroborar el término de la reacción, el biodiesel se analizó por la técnica de Resonancia Magnética Nuclear de ^1H en un espectrómetro Agilent a 400 MHz.

Pruebas de calidad.

Composición del aceite.

La composición del aceite se determinó por medio de la técnica de cromatografía de gases con detector de ionización de flama de acuerdo a la metodología empleada por Reyes-Trejo *et al.*, (2014).
Índice de acidez.

Se llevó a cabo con 1 g de muestra de aceite de icaco (*Chrysobalanus icaco*), o de biodiesel a la cual se le adicionaron 2 ml de etanol y 0.1 ml de disolución de fenofaleína, se agitó vigorosamente a 50°C y se tituló con solución valorada de KOH 0.0097N, hasta que en la muestra permaneció el color rosa durante 5 minutos, se determinó la cantidad de mg de KOH que neutralicen a un gramo de aceite.

Índice de yodo.

Para la determinación de índice de yodo tanto del aceite de *icaco* (*Chrysobalanus icaco*), como del biodiesel obtenido se efectuó de la siguiente manera: se pesaron de 0.1 a 0.2 gramos del aceite o biodiesel en un matraz de yodo de 250 mL, se cubrió el matraz con papel aluminio, dejando la boquilla destapada, se le añadieron 10 mL de diclorometano para disolver el aceite, se agitó fuertemente, después se le adicionaron 10 mL del reactivo de wijs, se le colocó el tapón, se agitó y se guardó en un lugar oscuro durante 30 min. Una vez transcurrido ese tiempo, el matraz fue retirado del lugar oscuro y se le adicionaron 10 mL de una solución de yoduro de potasio al 10%. Se tituló con una solución de tiosulfato de sodio 0.1 N previamente valorada, hasta obtener un color amarillo paja.

Una vez obtenido la coloración, se le adicionaron 1 mL de una solución de almidón y se continuó titulando hasta la desaparición de la coloración azul. Se comparó con un blanco, que se preparó con la cantidad de los reactivos marcados, menos la muestra y sin esperar los 30 min, se tituló de la misma forma. Con los mililitros de tiosulfato de sodio gastados en el blanco, los mililitros de las muestras y sus pesos, se efectuaron los cálculos correspondientes para obtener el índice de yodo.

3.2 Resultados y discusión

3.2.1 Características de las semillas

Con el objetivo de conocer las características físicas de la materia prima empleada en esta investigación se determinó el aspecto y las dimensiones de las semillas, cuyos valores se encuentran registrados en la tabla 3.2. Las semillas de *Chrysobalanus icaco* de fruto amarillo poseen una coloración café claro a diferencia de las obtenidas del fruto negro que tienen un tono café oscuro, ambos tipos de semillas presentan forma ovoide, alargada y abultada, constituida de cáscara y almendra. El peso promedio de la almendra es de 0.84 ± 0.10 g, representando así el 55.3 % del total de la semilla del fruto amarillo mientras que la almendra del fruto negro muestra el 48.06 % de la semilla.

Tabla 3.2 Características físicas de las semillas de icaco (*Chrysobalanus icaco*)*

Característica	Semilla* (Fruto amarillo)	Almendra* (Fruto amarillo)	Semilla** (Fruto negro)	Almendra ** (Fruto negro)
Largo (cm)	2.53 ± 0.11	1.75 ± 0.01	2.72 ± 0.15	1.67 ± 0.09
Ancho (cm)	1.54 ± 0.07	1.16 ± 0.08	1.43 ± 0.11	0.99 ± 0.07
Grosor (cm)	1.45 ± 0.09	1.06 ± 0.08	1.31 ± 0.11	0.91 ± 0.04
Peso (cm)	1.52 ± 0.17	0.84 ± 0.10	1.29 ± 0.15	0.62 ± 0.08

*Promedio de 44 semillas

**Promedio de 22 semillas

3.2.2 Acidez del aceite

La acidez del aceite obtenido de las semillas de icaco, apenas se encuentra abajo del límite de norma ASTM para ser transformado a biodiesel, el valor obtenido fue de 0.2317 mg/g de muestra. Valores muy superiores al obtenido, por ejemplo mayor a 3 mg de KOH/g de muestra, no permitirían su transformación a biodiesel y se obtendría en su lugar un jabón.

3.2.3 Obtención del biodiesel

El aceite tratado de las semillas de frutos de icaco, se transformó exitosamente a una mezcla de esteres metílicos mediante una reacción de transesterificación, se hizo un seguimiento de dicha reacción mediante cromatografía en placa delgada y por resonancia magnética nuclear (RMN), empleando CDCl_3 como disolvente y TMS referencia interna. Los espectros de RMN de ^1H y ^{13}C del aceite muestran claramente la naturaleza química de un triglicérido muy especial (Gráfico 3), ya que en su espectro de RMN de ^{13}C (Gráfico 3.1) se observan alrededor de 200 ppm una serie de cinco señales típicas de grupo cetónico ($\text{RR}'\text{C}=\text{O}$) ubicados a lo largo de la cadena de los ácidos grasos y que son muy poco comunes en aceites vegetales.

Por otro lado, al aplicar el tratamiento usual para separar el biodiesel del resto de los subproductos de la reacción de transesterificación, se observó un espectro muy característico de RMN de ^1H (Gráfico 3.2) que muestra señales de grupos metoxilo de éster en 3.64 ppm y desaparecieron las señales de los protones base de oxígeno del glicerol esterificando a los ácidos grasos entre 4.20 y 4.40 ppm.

Gráfico 3 Espectro de RMN de ^1H (CDCl_3 , TMS, 400 MHz) del aceite de icaco

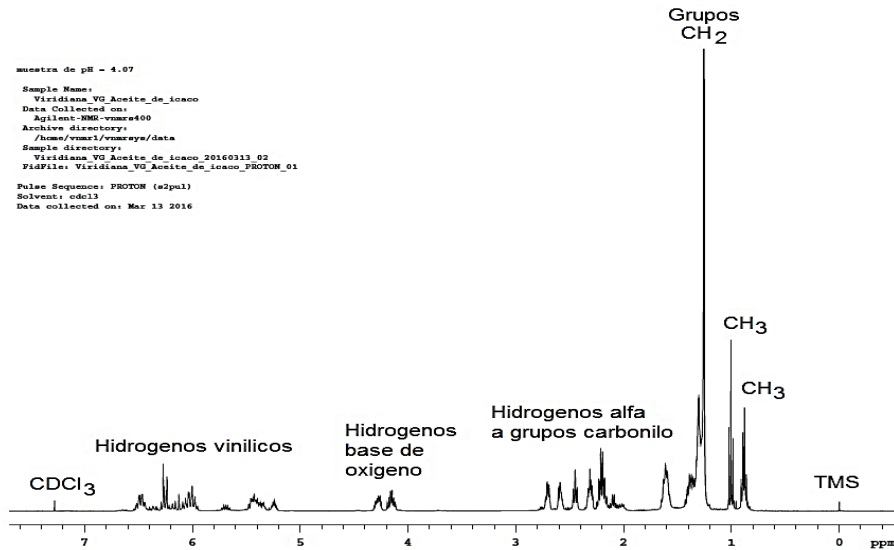
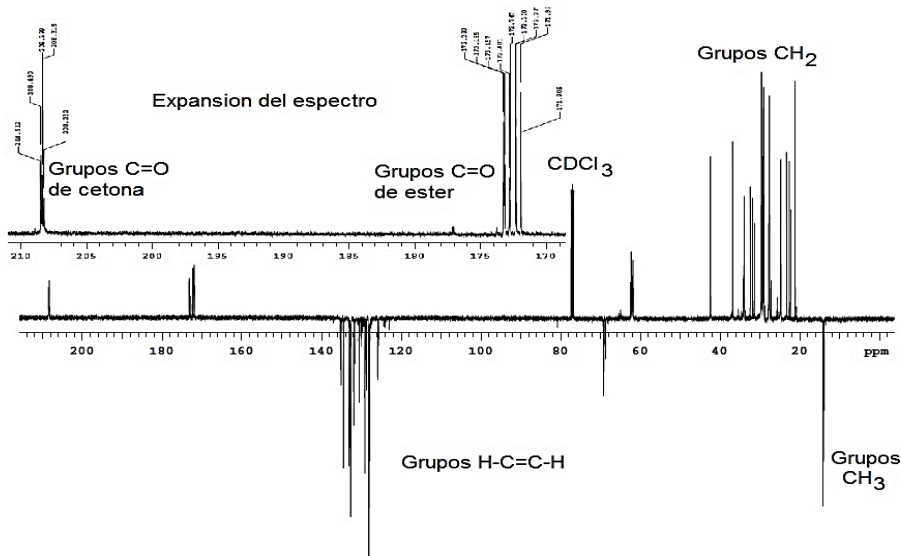


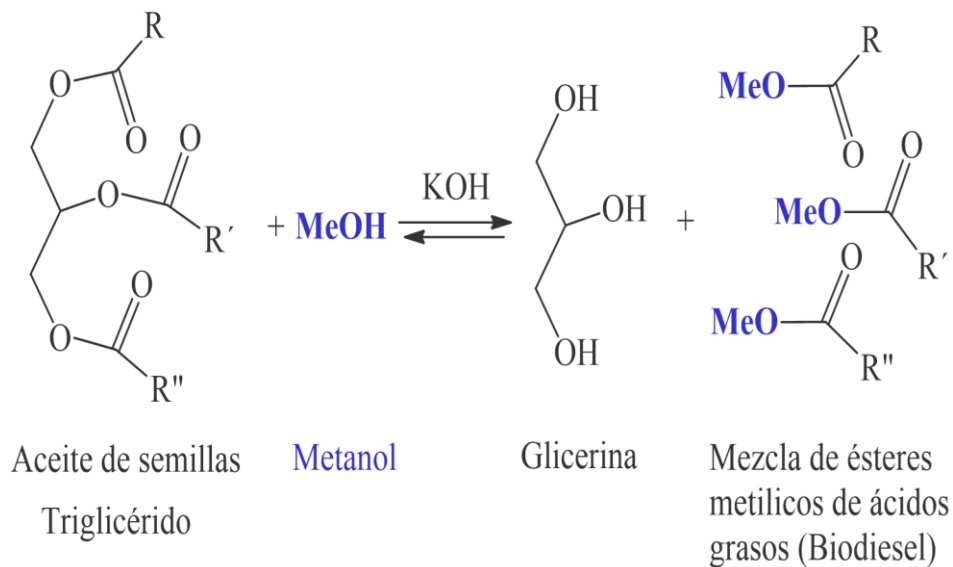
Gráfico 3.1 Espectro de RMN de ^{13}C (Trazo inferior) y en trazo superior experimento APT (CDCl_3 , TMS, 100 MHz) del aceite de icaco



Las características espectroscópicas de RMN del biodiesel obtenido a partir del aceite de icaco, indican que las cadenas laterales del triglicérido (R, R', R'') no contienen a los grupos carbonilo (C=O) de cetona, ni a sistemas o cadenas hidrocarbonadas con muchos enlaces dobles conjugados (H-C=CH-CH=C-H), siendo la reacción de transesterificación (Figura 3) muy específica para esta muestra hacia los ácidos grasos comunes como palmítico, esteárico, oleico y linoleico, según se ha descrito en el estudio de otra accesión de frutos de *Chrysobalanus icaco* donde describen el aislamiento e identificación del ácido 4-oxo-octadeca-cis-9, trans-11, trans-13, cis-15-tetraenoico (Gunstone y Subbarao, 1967).

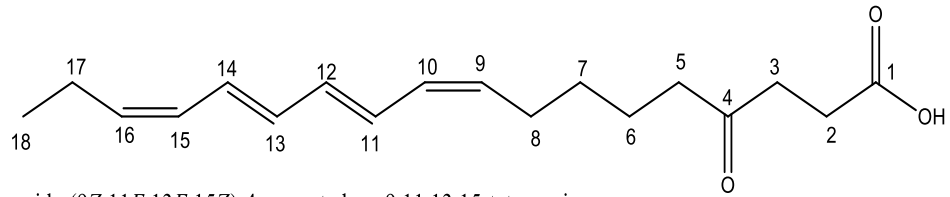
Entonces el sistema de dobles enlaces conjugados y los grupos carbonilo de cetona deberán estar contenidos en otras moléculas deferentes al triglicérido que asocia a la mayoría de los aceites, como se muestra en la figura 3.1.

Figura 3 Reacción de transesterificación de un triglicérido para obtener biodiesel



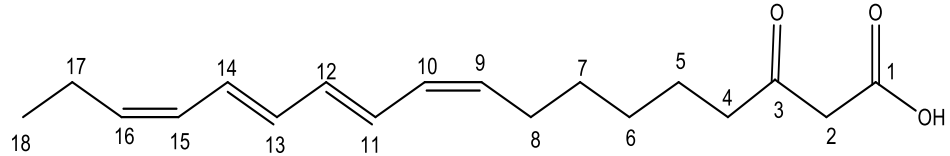
Sin embargo, y debido a la presencia de cinco señales de resonancia en el espectro de RMN de ^{13}C (Espectro 2), es probable la existencia de otros cuatro isómeros del ácido 4-oxo-9Z, 11E, 13E, 15Z-octadecatetraenoico en el aceite de icaco, deduciéndose cuatro posibilidades estructurales, como las mostradas en la Figura 3.1.

Gráfico 3.1 Posibilidades estructurales de los cinco derivados carbonílicos presentes en el aceite de semillas de icaco (*Chrysobalanus icaco*)

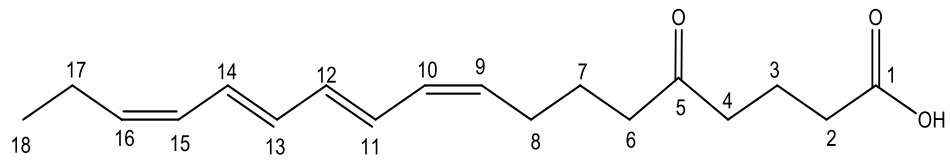


ácido (9Z,11E,13E,15Z)-4-oxooctadeca-9,11,13,15-tetraenoico

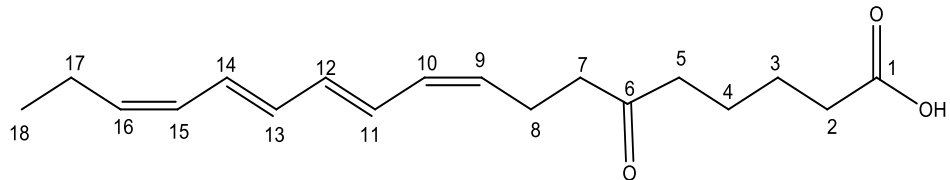
Aislado previamente de *Chrysobalanus icaco*



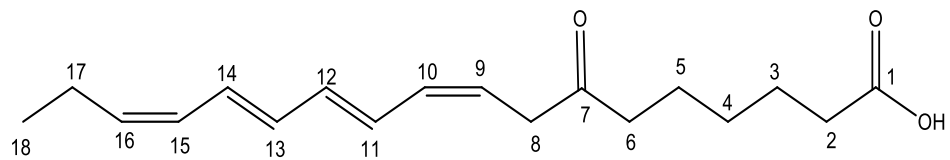
ácido (9Z,11E,13E,15Z)-3-oxooctadeca-9,11,13,15-tetraenoico



ácido (9Z,11E,13E,15Z)-5-oxooctadeca-9,11,13,15-tetraenoico



ácido (9Z,11E,13E,15Z)-6-oxooctadeca-9,11,13,15-tetraenoico



ácido (9Z,11E,13E,15Z)-7-oxooctadeca-9,11,13,15-tetraenoico

Gráfico 3.2 Espectro de RMN de ^1H (CDCl_3 , TMS, 400 MHz) del biodiesel de icaco

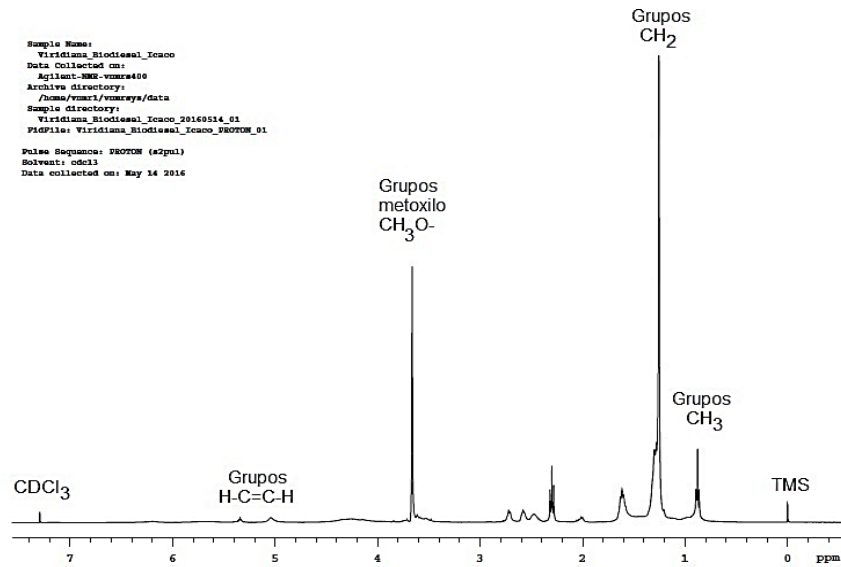
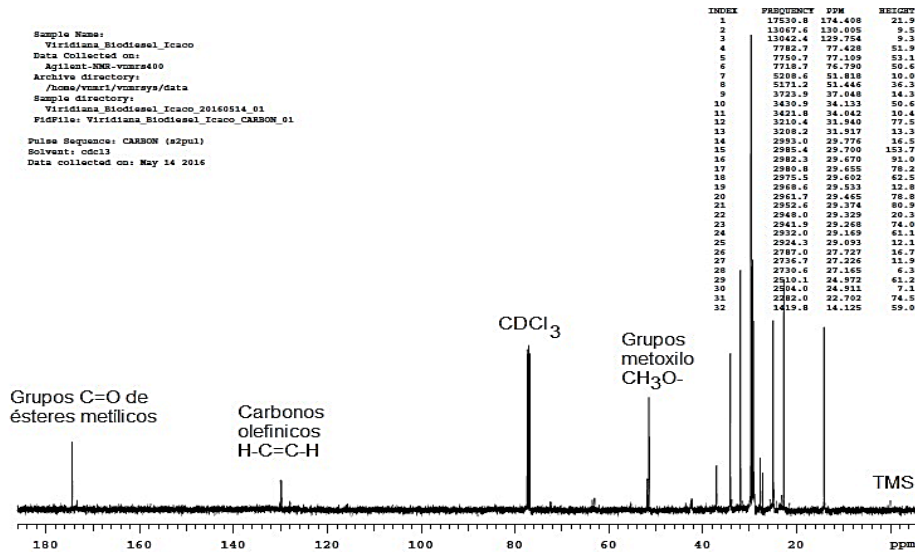


Gráfico 3.3 Espectro de RMN de ^{13}C (CDCl_3 , TMS, 100 MHz) del biodiesel de icaco



3.3 Comentarios finales

Es de suma importancia señalar que, el aceite obtenido de las semillas de frutos de icaco presentó una muy alta inestabilidad al medio ambiente, ya que al contacto con el aire se observó un endurecimiento o plastificado del material aceitoso, o sea se observa una polimerización que resulta en un material plástico que podría ser utilizado para otras aplicaciones diferentes a la de un biocombustible. Por esta razón, se consideró que no era conveniente determinar sus valores de viscosidad y densidad en el viscosímetro Stabinger, debido a que funciona mediante un arreglo de tubos agitados y calentados por un sistema de aspas metálicas de tipo peltier, al polimerizar este material dentro de este instrumento, lo inutilizaría irreversiblemente.

3.4 Conclusiones

Se obtuvo el aceite de las semillas de frutos de icaco (*Chrysobalanus icaco*), de acuerdo con sus valores de acidez baja, fue posible transformarlo a biodiesel con muy bajo rendimiento, el aceite mencionado tiene características muy especiales de acuerdo a su inestabilidad inusual, ya que polimeriza al contacto con el aire, por lo que podría mejor utilizarse en otras aplicaciones.

Sus espectros de Resonancia Magnética Nuclear evidencian la presencia de grupos carbonilo de cetona en las cadenas laterales que esterificaban a este aceite.

3.5 Referencias

- Balat, M. (2011). "Potential alternatives to edible oils for biodiesel production – A review of current work". *Energy Conversion and Management*, 52, pp.1479–1492.
- Demirbas A. (2011). "Competitive liquid biofuels from biomass". *Applied Energy*, 88, pp. 17–28.
- Demirbas, F. M.; Mustafa, B.; Havva, B. (2011). "Biowastes-to-biofuels". *Energy Conversion and Management*. 52, pp. 1815–1828.
- Deng, Y. Y.; Blok, K.; van der Leun K. (2012). "Transition to a fully sustainable global energy system". *Energy Strategy Reviews*, 1, pp. 109–121.
- Fernandes; J; Wagner-Souza, K.; Oliveira Castilho;R.; Rangel da Costa;M.; Coelho Kaplan; M.A.; Rocha G.C., (2003). Pentacyclic triterpenes from Chrysobalanaceae species: cytotoxicity on multidrug resistant and sensitive leukemia cell lines. *Cancer Letters* 190, pp. 165–169
- Ganduglia, F. (2009). *Manual de biocombustibles*. San José Costa Rica: IICA.
- Gunstone, F. D.; Subbarao, R. (1967). New tropical seed oils. Part I. conjugated trienoic and tetraenoic acids and their oxo derivatives in the seed oils of *Chrysobalanus icaco* and *Parinarium laurinum* Chem. Phys. Lipids 1, pp. 349-359.
- Kargbo David M. (2010). "Biodiesel Production from Municipal Sewage Sludges". *Energy Fuels*, 24, pp. 2791–2794.
- Kumar, A.; Sharma S. (2011). "Potential non-edible oil resources as biodiesel feedstock: An Indian perspective". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp. 1791–1800.
- Manzano, A. F.; Alcayde, A.; Montoya, F.G.; Zapata, S. A.; Gil, C. (2013). "Scientific production of renewable energies worldwide: An overview". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18, pp. 134–143.
- Marroquín, L.; Cuevas, J.; Guerra, D.; Reyes, L.; Reyes-Chumacero, A.; Reyes-Trejo, B. (2011). "Proximate composition, mineral nutrient and fatty acids of the seed of ilama, *Annona diversifolia* Saff". *Scientific Research and Essays*, 6, 14, pp. 3089-3093.

Rashid, U.; Ibrahim, M.; Yasin, S.; Yunus, R.; Taufiq-Yap, Y.H.; Knothe, G. (2013). Biodiesel from *Citrus reticulata* (mandarin orange) seed oil, a potential non-food feedstock. *Industrial Crops and Products* 45, pp 355– 359

Reyes-Trejo, B.; Guerra-Ramírez, D.; Zuleta-Prada, H.; Cuevas-Sánchez, J.A.; Reyes, L.; Reyes-Chumacero, A.; Rodríguez-Salazar, J. (2014). *Annona diversifolia* seed oil as a promising non-edible feedstock for biodiesel production. *Industrial Crops and Products*, 52, pp 400-404.

Cadmio y fosfito en crecimiento de plántulas de tomate

CASASOLA-ELIZONDO, César Antonio, TREJO-TÉLLEZ, Libia Iris, ALCÁNTAR-GONZÁLEZ, Gabriel, GÓMEZ-MERINO, Fernando Carlos y GARCÍA-MORALES, Soledad

C. Casasola, L. Trejo, G. Alcántar, F. Gómez y S. García

Colegio de Postgraduados Campus Montecillo. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Estado de México. C. P. 56230

Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz km 348, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. C. P. 94946
tlibia@colpos.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

We evaluated the main and interactive effects of cadmium (Cd) and phosphite (Phi) added to the nutrient solution on growth of tomato seedlings. Cd levels evaluated were 0, 10 and 20 μM , while Phi levels were 0 and 0.0375 $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$, resulting in six treatments. Cd significantly reduced the growth of seedlings. On the other hand, Phi slightly increased the values of leaf area, dry biomass of leaves and stems in the presence of 10 and 20 μM of Cd in the nutrient solution, though these effects were not statistically different. In the treatments without Cd significant increases in these variables were observed as result as the addition of Phi. In particular, the Phi increased the root dry biomass in all treatments (with and without Cd), which may suggest a deficient supply of phosphorus as phosphate.

4 Introducción

La producción de cultivos como tomate depende en gran medida del ambiente en el que se desarrolla. El entorno natural de las plantas se compone de un conjunto complejo de factores tanto estimulantes como estresantes (Cramer *et al.*, 2011). El término estrés se refiere un factor desfavorable del medio ambiente para un determinado organismo vivo. En consecuencia, la capacidad de un organismo para sobrevivir a un factor desfavorable ha sido llamada “resistencia al estrés” (Gaspar *et al.*, 2002).

El estrés se clasifica en dos tipos: biótico y abiótico; el estrés biótico es causado por la acción de seres vivos (animales, otras plantas, microorganismos, y agentes fitopatógenos) (Azcón-Bieto y Talón, 2008); el abiótico es definido como cualquier otro factor que ejerce el medio ambiente (no vivo) en el óptimo funcionamiento de un organismo (Ortbauer, 2013).

De acuerdo con Cramer *et al.* (2011), diferentes factores de estrés abiótico afectan más del 96% de las tierras cultivadas alrededor del mundo. En particular, entre los factores de estrés relacionados con la química del suelo destacan la deficiencia nutrimental o baja fertilidad, la salinidad y la toxicidad de algunos elementos.

La bioacumulación y biomagnificación sin precedentes de metales pesados en el medio ambiente se ha convertido en un dilema para todos los organismos vivos, incluyendo las plantas (Emamverdian *et al.*, 2015). Elementos como el zinc, hierro y cobre son esenciales para las plantas superiores dado que son requeridos en una amplia diversidad de procesos fisiológicos en todos los órganos de las plantas para las actividades de enzimas dependientes de metales. Empero, éstos pueden ser tóxicos a concentraciones altas. Por otro lado, metales como arsénico, mercurio, cadmio y plomo no son esenciales pero si presentar alto potencial tóxico. Una vez que la concentración de un metal en el citosol de una célula vegetal sale de control, la fitotoxicidad de los metales pesados inhibe la transpiración y la fotosíntesis, perturba el metabolismo de los carbohidratos e impulsa los esfuerzos secundarios como el estrés nutrimental y el estrés oxidativo que afectan el crecimiento y desarrollo de la planta (Zhao y Chu, 2011).

Los metales bioactivos, basados en sus propiedades físico-químicas son divididos en dos grupos: metales con actividad redox tales como el Cr, Cu, Mn y Fe y en los metales no redox, tales como el Cd, Ni, Hg, Zn y Al. Los metales redox pueden generar directamente daño oxidativo a través de las reacciones de Haber-Weiss y de Fenton, lo que conduce a la producción de radicales libres de oxígeno y que ocasiona la interrupción de la homeostasis celular, la rotura de la cadena de ADN, la desfragmentación de proteínas o de la membrana celular y el daño a los pigmentos fotosintéticos que pueden desencadenar la muerte celular.

Por el contrario, los metales activos no redox causan estrés oxidativo indirectamente a través de múltiples mecanismos, entre ellos la depleción del glutatión, unión a grupos sulfidrilos de las proteínas, inhibición de enzimas antioxidantes inducir enzimas que producen radicales libres de oxígeno como la NADPH oxidasa (Emamverdian *et al.*, 2015).

Entre los metales pesados, el Cd es considerado uno de los más tóxicos debido a su alta solubilidad en agua, lo que permite que sea absorbido por las plantas y esto representa la principal ruta de entrada en la cadena alimenticia; también causa serios problemas a la salud humana. Incluso a bajas concentraciones, la absorción por raíces y el transporte a órganos vegetativos y reproductivos tiene un efecto negativo en la nutrición mineral y en la homeostasis de la parte aérea de la planta y en el crecimiento y desarrollo de las raíces (DalCorso *et al.*, 2010).

El efecto del Cd en la ruta de asimilación de N y S ha sido estudiado en algunas especies, y se ha mostrado una inhibición en la tasa de absorción de nitrato y en la actividad de enzimas involucradas en la ruta de asimilación del nitrato. Se ha reportado que la exposición a metales conduce también a una alteración significativa de la ruta de asimilación del S en planta (Gill y Tuteja, 2011).

Por otra parte, el fosfito es una forma reducida del fosfato, que es ampliamente usada en la agricultura, a pesar de que sus efectos aún no son completamente entendidos. Es una molécula que forma parte activa de varios fungicidas, y ha demostrado que no solo influye en el metabolismo fúngico sino también en el desarrollo de deficiencia de P en las plantas (Danova-Alt *et al.*, 2008).

Recientemente Gómez-Merino y Trejo-Téllez (2015) han reportado una amplia variedad de efectos benéficos atribuidos al fosfito en cultivos agrícolas entre los que se encuentran el incremento en el rendimiento; el aumento en el área foliar y en el contenido de P; el incremento en biomasa seca; la mejora en el tamaño y en el rendimiento de chile y cebolla; el aumento en los contenidos de fitoalexinas y quitinasa en papa; el incremento en la calidad de fruto en fresa; entre otros.

Oyarburo *et al.* (2015) mostraron que el pretratamiento de hojas de papa (*Solanum tuberosum* L.) con fosfito de potasio tuvo un efecto beneficioso en parámetros fotosintéticos cuando éstas se expusieron a estrés por luz UV-B; también se observó disminución en la acumulación de peróxido de hidrógeno en hojas y aumento en las actividades de las enzimas guayacol peroxidasa (POD) y la superóxido dismutasa (SOD).

En el contexto anterior, el objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del fosfito en parámetros de crecimiento de plántulas de tomate sometidas a estrés por Cd.

4.1 Materiales y métodos

4.1.1 Material vegetal

Se usaron plántulas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) de 30 d de edad, establecidas en recipientes de plástico de 60 mL de capacidad, conteniendo perlita como sustrato.

4.1.2 Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron tres concentraciones de Cd a partir de $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ en la solución nutritiva de Steiner (Steiner, 1984) a una concentración de 25%, con y sin fosfito. El pH de las soluciones nutritivas fue ajustado a 5.5 usando H_2SO_4 0.5 N.

En la Tabla 4 se presentan los tratamientos de Cd y fosfito (suministrado a partir de ácido fosforoso), evaluados en este experimento. La concentración de ácido fosforoso adicionado representa el 15% respecto a la concentración de fósforo suministrado como fosfato en las soluciones nutritivas.

Tabla 4 Tratamientos con diferentes concentraciones de Cd en la solución nutritiva con y sin suministro de fosfito como ácido fosforoso

Tratamiento	Concentración de Cd en μM (nivel)	Concentración de la solución nutritiva de Steiner en %	Ácido fosforoso en $\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$
1	0 (nulo)	25	0.0000
2	0 (nulo)	25	0.0375
3	10 (medio)	25	0.0000
4	10 (medio)	25	0.0375
5	20 (alto)	25	0.0000
6	20 (alto)	25	0.0375

Se condujo un experimento factorial 3 x 2, donde el número 3 representa los niveles ensayados de Cd; el número 2 corresponde a los dos niveles de fosfito. Cada tratamiento tuvo 15 repeticiones. La unidad experimental consistió en un contenedor de 60 mL con perlita conteniendo una plántula.

4.1.3 Variables evaluadas

Después de 30 d del inicio de la aplicación de tratamientos se evaluaron algunos parámetros de crecimiento en las plántulas. En primer término las plantas fueron sacadas de los recipientes. Las raíces fueron lavadas con agua destilada para eliminar la perlita en ellas. Posteriormente las plantas fueron seccionadas en hojas, tallos y raíces. Con las hojas se determinó el área foliar por plántula, empleando un integrador de área foliar (LI-300, LI-COR; Lincoln, NE, EEUU).

Las muestras de hojas, tallos y raíces fueron colocadas en una estufa de aire forzado (Riossa, HCF-125D; Guadalajara, Jalisco, México) durante 40 h a 72 °C. Después del secado se determinó el peso de la biomasa seca de cada órgano usando una balanza analítica (Adventurer Pro AV213C, Ohaus; Parsippany, NJ, EEUU).

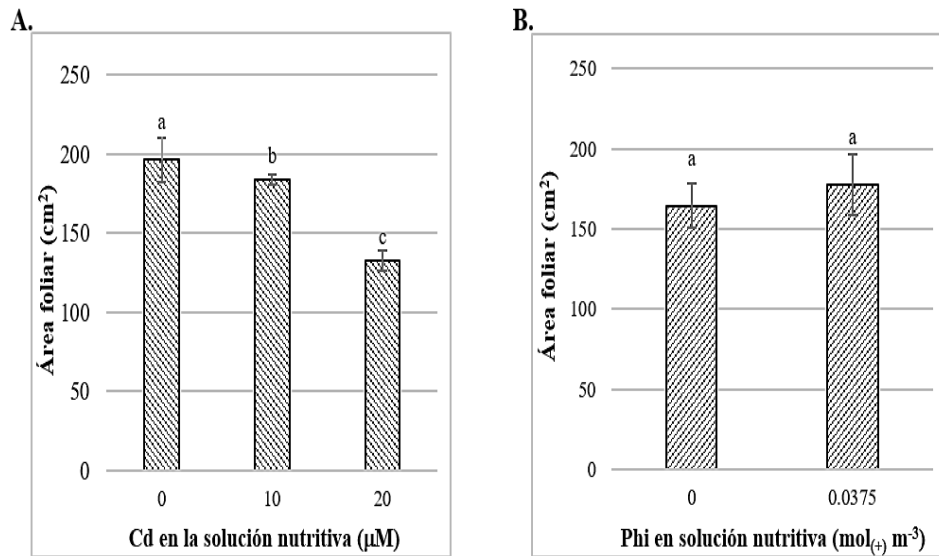
4.1.4 Análisis estadístico

Se realizó análisis de varianza para un experimento factorial y las medias fueron comparadas por la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$), con el software SAS (SAS, 2011).

4.2 Resultados

4.2.1 Área foliar

El área foliar guardó una relación negativa con la concentración de Cd en la solución nutritiva (Gráfico 4A), con reducciones de 9.6 y 32.5% en comparación con el testigo con el suministro de 10 y 20 μM de Cd, respectivamente. Por otro lado, el efecto principal del Phi no influyó de manera significativa el área foliar (Gráfico 4B).

Gráfico 4 Área foliar de plántulas de tomate tratadas con Cd (A) y fosfito (B) en la solución nutritiva

Medias \pm DE con letras distintas en cada subgráfico indican que existen diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$)

Se ha observado que el Cd tiene efectos detrimentales en el crecimiento de cultivos. Dado que altera el transporte de electrones en la cadena respiratoria, uno de los principales efectos negativos de este elemento es el estrés oxidativo (Benavides *et al.*, 2005), que a su vez causa deterioro en el crecimiento vegetal.

Al observar los efectos de la interacción de los factores de estudio, se observa que solo en ausencia de Cd en la solución nutritiva, la adición de Phi incrementó de manera significativa el área foliar. Si bien en los tratamientos con Cd, la adición de fosfito también incrementó ligeramente el área foliar (2.5 y 3.5% para 10 y 20 μM Cd, respectivamente, en comparación con los tratamientos con la misma dosis de Cd y sin Phi), estos aumentos no son significativos (Tabla 4.1).

Tabla 4.1 Área foliar de plántulas de tomate tratadas con Cd y fosfito en la solución nutritiva

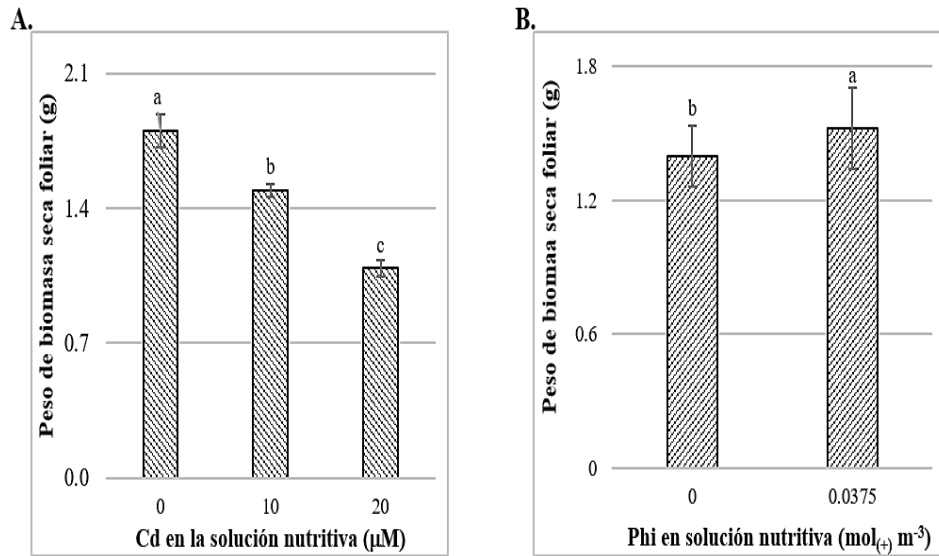
Cd en la solución nutritiva (μM)	Phi en la solución nutritiva ($\text{mol}(+) \text{m}^{-3}$)	Área foliar (cm^2)
0	0.0000	180.91 \pm 4.94 b
0	0.0375	211.96 \pm 16.44 a
10	0.0000	181.47 \pm 2.46 b
10	0.0375	185.93 \pm 4.01 b
20	0.0000	130.32 \pm 9.30 c
20	0.0375	134.93 \pm 1.80 c

Medias \pm DE con letras iguales indican que no existen diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$)

4.2.2 Biomasa seca de hojas

Los efectos principales del Cd y del Phi en la biomasa seca foliar se presentan en la Gráfico 4.1.

Gráfico 4.1 Peso de biomasa seca foliar de plántulas de tomate tratadas con Cd (A) y fosfito (B) en la solución nutritiva



Medias \pm DE con letras distintas en cada subgráfico indican que existen diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$)

De la misma manera que en la variable área foliar, se observan decrementos significativos en la biomasa seca foliar a medida que la concentración de Cd aumenta en la solución nutritiva (Gráfico 4.1 A). El Phi por su parte, tiene un efecto positivo en la acumulación de materia seca de hojas (Gráfico 4.1 B). La adición de Phi incrementó de manera ligera el peso de biomasa seca de hojas de plántulas tratadas con Cd; sin embargo, estos incrementos no son significativos. De manera importante, se observa que existe efecto positivo de la adición de Phi en esta variable cuando a la solución nutritiva no se le adicionó Cd (Tabla 4.2).

Tabla 4.2 Peso de biomasa seca foliar de plántulas de tomate tratadas con Cd y fosfito en la solución nutritiva

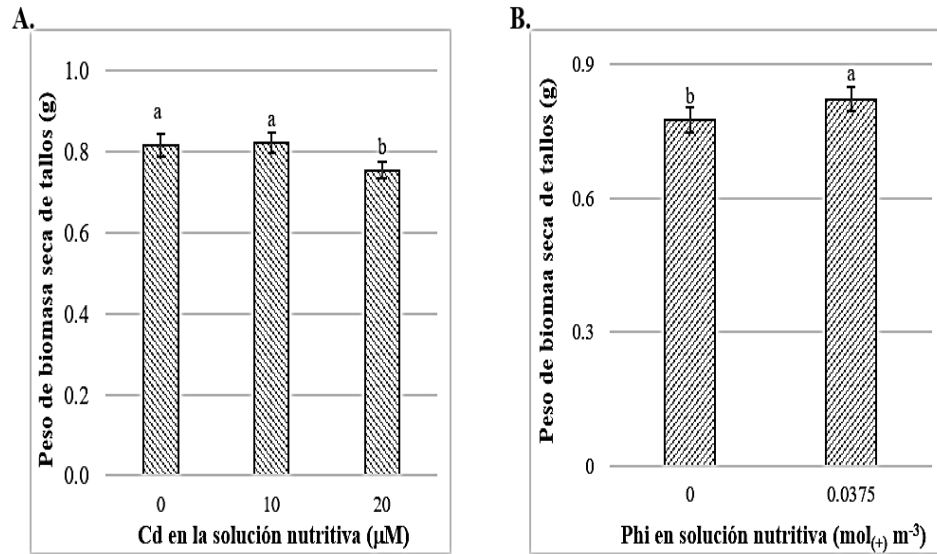
Cd en la solución nutritiva (μ M)	Phi en la solución nutritiva (mol(+) m ⁻³)	Peso de biomasa seca de hojas (g)
0	0.0000	1.66 \pm 0.05 b
0	0.0375	1.94 \pm 0.05 a
10	0.0000	1.47 \pm 0.03 c
10	0.0375	1.51 \pm 0.04 c
20	0.0000	1.06 \pm 0.05 d
20	0.0375	1.12 \pm 0.04 d

Medias \pm DE con letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$).

4.2.3 Biomasa seca de tallos

El peso de la biomasa seca de tallo solo fue reducido significativamente con la concentración de Cd de 20 μ M en comparación con el testigo. Esta reducción fue del orden de 7.6% (Gráfico 4.2 A). Por otra parte, el efecto principal del Phi fue positivo en el peso de biomasa seca de tallos, con incrementos del 6.1% en comparación con el testigo (Gráfico 4.2 B).

Gráfico 4.2 Peso de biomasa seca de tallos de plántulas de tomate tratadas con Cd (A) y fosfito (B) en la solución nutritiva



Medias \pm DE con letras distintas en cada subgráfico indican que existen diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$)

Los efectos de la interacción de Cd y Phi en la solución nutritiva en el peso seco de tallos de plántulas, son significativos; se observa una influencia positiva del Phi, particularmente con la dosis alta de Cd evaluada, donde el tratamiento con Phi superó en 9.58% al tratamiento sin Phi. Este efecto positivo del Phi también es evidente en ausencia de Cd en la solución nutritiva (Tabla 4.4).

Tabla 4.3 Peso de biomasa seca de tallos de plántulas de tomate tratadas con Cd y fosfito en la solución nutritiva

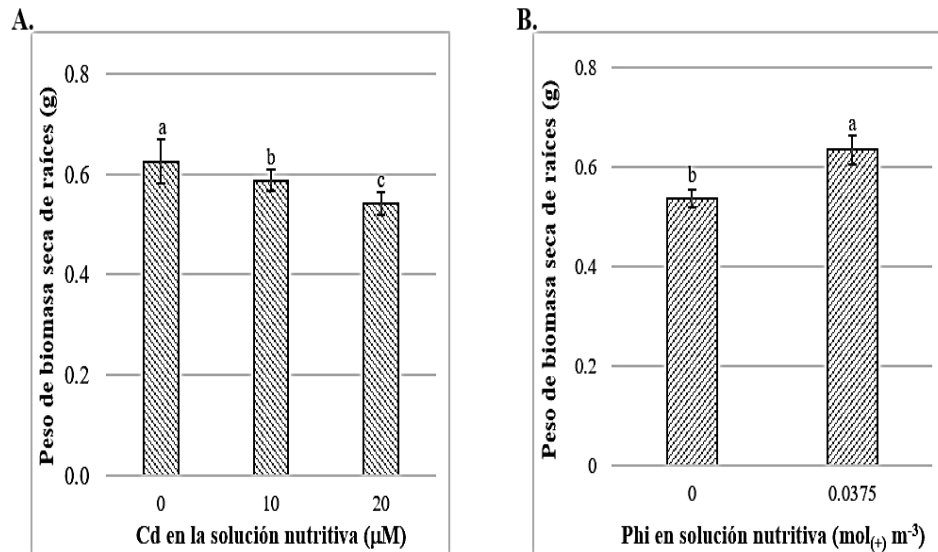
Cd en la solución nutritiva (μM)	Phi en la solución nutritiva ($\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$)	Peso de biomasa seca de tallos (g)
0	0.0000	0.776 ± 0.003 bc
0	0.0375	0.858 ± 0.028 a
10	0.0000	0.828 ± 0.027 ab
10	0.0375	0.818 ± 0.028 ab
20	0.0000	0.720 ± 0.011 c
20	0.0375	0.789 ± 0.010 b

Medias \pm DE con letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$).

4.2.4 Biomasa seca de raíces

En raíces, los efectos principales del Cd siguen la misma tendencia que en las variables anteriormente expuestas; es decir, incrementos en la concentración de Cd reducen el peso de biomasa seca de raíces (Gráfico 4.3 A). Por el contrario, el Phi incrementa significativamente la biomasa seca de raíces (Gráfico 4.3 B).

Gráfico 4.3 Peso de biomasa seca de raíces de plántulas de tomate tratadas con Cd (A) y fosfito (B) en la solución nutritiva



Medias \pm DE con letras distintas en cada subgráfico indican que existen diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$)

En los efectos de interacción de los factores de estudio es evidente que, de manera independiente a la concentración de Cd en la solución nutritiva, en todos los casos, el Phi incrementó de manera significativa la biomasa seca de raíces (Tabla 4.4).

Tabla 4.4 Peso de biomasa seca de raíces de plántulas de tomate tratadas con Cd y fosfito en la solución nutritiva

Cd en la solución nutritiva (μM)	Phi en la solución nutritiva ($\text{mol}_{(+)} \text{m}^{-3}$)	Peso de biomasa seca de raíces (g)
0	0.0000	0.554 \pm 0.017 c
0	0.0375	0.698 \pm 0.024 a
10	0.0000	0.552 \pm 0.015 c
10	0.0375	0.624 \pm 0.005 b
20	0.0000	0.503 \pm 0.011 d
20	0.0375	0.581 \pm 0.011 bc

Medias \pm DE con letras distintas indican que existen diferencias estadísticas significativas (Duncan, $P \leq 0.05$)

Las variables evaluadas fueron afectadas negativamente cuando se adicionó Cd en la solución nutritiva. Estos resultados coinciden con los reportados en otras especies. En caña de azúcar, el Cd (1 mM en la solución nutritiva), induce cambios en las concentraciones nutrimentales; la concentración de N fue afectada negativamente; mientras que las concentraciones de P, Mg, Zn y B fueron superiores en plantas tratadas con Cd en comparación con el testigo (Trejo-Téllez *et al.*, 2014). En plántulas de pimiento morrón, Hernández-Bautista *et al.* (2015) reportaron que concentraciones de 15 y 30 μM de Cd en la solución nutritiva, reducen significativamente la altura de planta, el área foliar y los contenidos de clorofilas, asimismo disminuyen la acumulación de N, P y K *in planta*.

Si bien, el fosfito ha mostrado ser eficaz contra factores de estrés biótico, y recientemente se ha propuesto que también puede actuar en el incremento de la tolerancia a diferentes factores de estrés abiótico, en esta investigación los efectos positivos del Phi solo son significativos cuando no se adiciona Cd a la solución nutritiva; con excepción de la variable biomasa seca de raíces, donde el Phi incrementa siempre su valor. Al ser absorbidos fosfato y fosfito por los mismos transportadores de raíz, existe antagonismos entre estos aniones; por tanto, el incremento en la biomasa seca de raíces puede interpretarse como un síntoma de deficiencia de fósforo (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015).

4.3 Conclusión

El Phi tiene un efecto positivo en las variables de crecimiento de tomate evaluadas en fase de plántulas, siendo éste estadísticamente significativo en ausencia de Cd. Si bien el Phi también incrementa parámetros de crecimiento en plántulas tratadas con Cd, éstos no son significativos.

4.4 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca de posgrado otorgada a CACE. A la LGAC Nutrición Vegetal del Postgrado en Edafología del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados por las facilidades brindadas para el desarrollo de esta investigación.

4.5 Referencias

- Azcón-Bieto, J. & Talón, M. (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. 2da Ed. McGraw-Hill Interamericana de España. Universidad de Barcelona. 651 p.
- Benavides, M. P., Gallego, S. M., & Tomaro, M. I. 2005. Cadmium toxicity in plants. *Toxic Metals in Plants. Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17, 21-34.
- Cramer, G. R., Urano, K., Delrot, S., Pezzotti, M., & Shinozaki, K. (2011). Effects of abiotic stress on plants: a systems biology perspective. *BMC Plant Biology*, 11, 163.
- DalCorso, G., Farinati, S., & Furini, A. (2010). Regulatory networks of cadmium stress in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 5, 663-667.
- Danova-Alt, R., Dijkema, C., De Waard, P., & Köck, M. (2008). Transport and compartmentation of phosphite in higher plant cells - kinetic and ^{31}P nuclear magnetic. *Plant, Cell and Environment*, 31, 1510-1521.
- Emamverdian, A., Ding, Y., Mokhberdoran, F., & Xie, Y. (2015). Heavy metal stress and some mechanisms of plant defense response. *The Scientific World Journal*, 2015, 756120.
- Gaspar, T., Franck, T., Bibis, B., Kevers, C., Jouve, L., Hausman, J. F., & Domme, J. (2002). Concepts in plant stress physiology. Application to plant tissue cultures. *Plant Growth Regulation*, 37, 263-285.
- Gill, S. S. & Tuteja, N. (2011). Cadmium stress tolerance in crop plants. *Plant Signaling and Behavior*, 6, 215-222.
- Gómez-Merino, F. C. & Trejo-Téllez, L. I. (2015). Biostimulant activity of phosphite in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 82-90.

- Hernández-Bautista, L., Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., García-Morales, S., & Tejada-Sartorius, O. (2015). Physiological and nutrient changes in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) seedlings caused by cadmium. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 31, 389-396.
- Ortbauer, M. (2013). Abiotic Stress Adaptation: Protein Folding Stability and Dynamics. En Kourosh, V. & Charles, L. (Eds.). *Abiotic Stress - Plant Responses and Applications in Agriculture*, ISBN 978-953-51-1024-8. InTech, Recuperado el 26 de julio de 2016, de <http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/43216.pdf>. doi: 10.5772/45842
- Oyarburo, N. S., Machinandiarena, M. F., Feldman, M. L., Daleo, G. R., Andreu, A. B., & Olivieri, F. P. (2015). Potassium phosphite increases tolerance to UV-B in potato. *Plant Physiology and Biochemistry*, 88, 1-8.
- SAS Institute Inc. (2011). *SAS/STAT Users Guide. Version 9.3*. SAS Institute Inc., Cary, N. C., USA.
- Steiner, A. (1984). The universal nutrient solution. En *Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture*. (pp. 633-649).The Netherlands.
- Trejo-Téllez, L. I., Gómez-Merino, F. C., Rivera-Olivares, L. Y., & Tejada-Sartorius, O. (2014). Cadmium-induced changes in leaf nutrient concentrations in sugarcane. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 12, 879-885.
- Zhao, Y. & Chu, C. (2011). Towards Understanding Plant Response to Heavy Metal Stress. En Shancer, A. (Ed.). *Abiotic Stress in Plants - Mechanisms and Adaptations*. ISBN: 978-953-307-394-1, InTech, Recuperado el 28 de julio de 2016, de <http://www.intechopen.com/books/abiotic-stress-in-plants-mechanisms-andadaptations/towards-understanding-plant-response-to-heavy-metal-stress>

Cálculo de caudales hidrológicos de la subcuenca de río Ambi utilizando el programa HEC-HMS para la comprobación de su aplicabilidad en el Ecuador

CARRERA-VILLACRÉS, David, SANDOVAL-ERAZO, Washington, ANDRADE-ROSETO, Valeria, PIEDRA-LEÓN, Pablo y SÁNCHEZ-GÓMEZ, Viviana

D. Carrera`, W. Sandoval`, V. Andrade``, P. Piedra`` y V. Sánchez````

`Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Grupo de Investigación de Contaminación Ambiental

``Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción

````Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Carrera de Ingeniería Civil

``````Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente  
dvcarrera@espe.edu.ec

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The Ambi river sub-basin has an extension of 1129.8 km², it is located in the province of Imbabura-Ecuador. Due to its proximity to the city of knowledge Yachay and considering that it aims to boost agricultural and livestock production with the allocation of 1,000 ha hydrological basin flows are essential for consideration in future headworks and use of this water resource. In Ecuador the limited hydrometric information to obtain maximum flows generates the necessity to apply alternative methodologies for calculate them, in Ecuador there is not a political regulation. The objective in this research were to calculate hydrological flows using HEC-HMS software and compare them with the methodology for calculating flows in basins with little information proposed in Ecuador by Sandoval and Aguilera in 2014. Hydrological maximum flows were calculated for return periods of 10, 25 and 50 years, maximum flows were calculated by HEC-HMS shown values of 389.7, 691.2 and 950 m³ / s, respectively. Moreover, the flows calculated following the methodology of Sandoval were 330.36, 665.75 and 919.45 m³ / s, resulting in a percentage of average error between the two models of 7.3%. The obtained flows with HEC-HMS are slightly higher, the correlation of the results is very close to one, so it can be said that the ratio of the results is intense positive.

5 Introducción

La determinación de caudales hidrológicos de una cuenca resulta fundamental en la planificación de proyectos de abastecimiento, captación, control de inundaciones y demás proyectos, en donde la hidrología es necesaria para el conocimiento de la disponibilidad de agua y el diseño y seguridad de dichas estructuras, la obtención de estos caudales se los obtiene a partir de modelaciones hidrológicas (Rojas, 2009). Una modelación hidrológica es una herramienta de gran importancia para el estudio de avenidas, con este tipo de modelación se realiza el análisis y la prevención de las inundaciones; además, maneja hipótesis que ofrecen un cierto grado de confianza para la toma de decisiones, ya sea en la ordenación del territorio en torno a los ríos o para exigir criterios de diseño de obras e infraestructuras capaces de soportar y funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia (Dueñas, C., 1997).

El mejoramiento de la tecnología ha permitiendo el desarrollo de nuevas herramientas que permiten la simulación de modelos hidrológicos como es el caso del HEC-HMS, que es un paquete de modelación desarrollada por el Cuerpo de Ingenieros de las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos (USACE) , que utiliza métodos de precipitación-escorrentía para estimar los hidrogramas de escorrentía directa generados por las precipitaciones en una cuenca o región durante un período especificado, para simular la respuesta hidrológica de una cuenca (Estrada, V., y Pacheco, R., 2012).

Desafortunadamente estos programas al ser desarrollados en otros países utilizan consideraciones y condiciones propias del país de desarrollo que no necesariamente son aplicables al territorio Ecuatoriano (Sandoval, W., Aguilera, E., 2014).

Por estas razones y debido a que en el Ecuador se dispone únicamente de datos de precipitaciones y, muy escasamente, de caudales registrados Sandoval y Aguilera (2014) desarrollaron una metodología para el cálculo de caudales máximos considerando el periodo de retorno y el área y la precipitación media de la cuenca, dicha metodología fue desarrollada y validada en cuencas del país por lo que la comprobación de los caudales máximos obtenidos en el software HEC-HMS con esta metodología permitieron corroborar la aplicabilidad del método en el Ecuador. La hipótesis en esta investigación fue que el programa HEC-HMS debido a sus condiciones de diseño y a los datos de entrada que requiere el programa no es aplicable al Ecuador.

El objetivo de esta investigación fue calcular los caudales hidrológicos aplicando el software HEC-HMS y compararlos con la metodología de cálculo de caudales en cuencas con poca información propuesta por Sandoval y Aguilera (2014), para comprobar la aplicabilidad del software en el Ecuador.

5.1 Materiales y métodos

El proyecto se llevó a cabo en el sistema hidrográfico del río Ambi ubicado en la provincia de Imbabura, La cuenca del río Ambi cubre un área de 1129.8 km² de extensión y está conformada por los Cantones: San Miguel de Urququí, Antonio Ante, Cotacachi, Otavalo, e Ibarra se encuentra limitada al norte por el río Chota- Mira al Sur por el nudo de Mojanda, al oriente por Pimampiro y el río Chota y al occidente por las estribaciones internas de la Cordillera Occidental de los Andes. Parte de la cuenca está conformada por La Ciudad del Conocimiento Yachay en las Parroquias de Urququí y Tumbabiro abarcando un área de 45.93 km² (Flores, 2010).

El río Ambi nace en el cerro Imbabura a 4000 m.s.n.m, con los afluentes Itambí que alimenta al lago Imbakucha- San Pablo que luego con el nombre de Jatunyacu se une al Blanco y al Yanayacu formándose así el río Ambi (A. B. L. Antonio, 2014).

En la Figura 5 se presenta el mapa de ubicación del sistema hidrográfico del río Ambi.

La modelación hidrológica se la realizó mediante el software HEC-HMS, la información de entrada requerida en el modelo se puede clasificar en cinco grupos que dependen directamente de los métodos de cálculo que se manejen en el programa. Para la selección de la metodología utilizada en este proyecto, se tuvo en cuenta la información disponible según los datos requeridos para cada metodología. El grupo de información, método escogido y la información requerida se encuentran detalladas en la Tabla 5.

Figura 5 Mapa de ubicación de la cuenca del río Ambi



Fuente: Autores

Tabla 5 Grupo de información, método escogido e información requerida en el programa HEC-HMS

| Grupo | Parámetro | Método | Información requerida |
|---|--|--|--|
| Morfometría de las subcuencas | Parámetros físicos y morfológicos de las subcuencas. | ArcGIS 9.2 | <ul style="list-style-type: none"> • Área de las subcuencas • Longitud y pendiente del cauce principal (para el cálculo del TC y Tlag) |
| Precipitación histórica o de diseño | Hietogramas de diseño | Datos de estaciones, ponderados por el usuario | <ul style="list-style-type: none"> • Registros de tormentas (Hietogramas de diseño). • Ponderación espacial y temporal de los datos de las estaciones para cada subcuenca (polígonos de Thiessen). |
| Condiciones de humedad del suelo | Perdidas de infiltración | SCS (número de curva) | <ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas iniciales (mm). • Número de curva, calculado como promedio sobre la subcuenca respectiva. • Porcentaje de área impermeabilidad. |
| Transformación de lluvia en escorrentía | Transformación de lluvia en escorrentía | Hidrograma unitario sintético del SCS | <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de retardo Tlag (minutos). |
| Hidráulica de los métodos de tránsito | Tránsito de caudales | Tiempo de retardo | <ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de retardo Tlag (minutos). |

Fuente: Autores

El modelo físico de la cuenca se lo realizó considerando 15 subcuencas, 15 nudos y 14 tramos, las subcuencas fueron trazadas en el programa ARCGIS 9.2 de las que se calculó el área y el tiempo de concentración de cada una partir de un promedio obtenido de las ecuación de Kirpich, california y Ven te chow. Para la información de la precipitación histórica o de diseño se utilizó el método de datos de las estaciones ponderados por el usuario, donde se requiere los hietogramas de precipitación de las estaciones en la zona del proyecto, los mismos que fueron desarrollados a partir de las curvas IDF por el método de bloques alternos propuesto por Chow et al, (1994). Para el cálculo de las curvas IDF se utilizó las ecuaciones dadas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, INAMHI (2015), de las estaciones en donde no se contaba con dicha ecuación, se obtuvo la ecuación IDF a través de las precipitaciones máximas en 24 horas por el método de distribución de Gumbel a partir de la ecuación propuesta por Bernard en 1932 (Cereceda, 2008). Para la determinación de la ponderación espacial de cada estación se trazaron los polígonos de Thiesen y se calcularon las áreas de aporte de cada pluviógrafo para cada subcuenca (Nania, 2007).

Las pérdidas por infiltración, fueron calculadas por el método de Soil Conservation Service (SCS), que relaciona la escorrentía superficial, con la precipitación total y con la capacidad de almacenamiento, dicha capacidad de almacenamiento está relacionada con el número de curva CN el mismo que se lo cálculo para cada subcuenca a partir de la clasificación y el uso de los suelos propuesto por el método SCS que depende de la taxonomía y características del suelo en la zona del proyecto.

Para la información hidrológica del proceso de transformación de lluvia en escorrentía se utilizó el hidrograma unitario sintético del SCS, Para este método el único parámetro necesario fue el tiempo del retardo. Para el cálculo del mismo se aplicó la formula empírica propuesta en el manual de HEC – HMS que representa el 0.35 del tiempo de concentración. En la Hidráulica de los métodos de tránsito se utilizó el método de tiempo de retardo, este es el modelo de tránsito más simple del HEC-HMS en el cual el hidrograma del flujo de salida es el hidrograma de entrada, pero con todas las ordenadas trasladadas por una duración especificada, en este método el dato requerido es el tiempo de retardo del tramo que se calcula a partir de la formula empírica propuesta en el manual de HEC –HMS.

Para comprobar los resultados obtenidos de la modelación hidrológica mediante el software HEC-HMS y verificar la aplicabilidad del método en el Ecuador, se utilizó la metodología desarrollada por Sandoval y Aguilera (2014) para la determinación de caudales máximos en cuencas con poca información, dicho método depende del área de la cuenca la precipitación media y el período de retorno. Este método considera que el área de la cuenca es un factor predominante para el cálculo del caudal máximo, por lo que de acuerdo a la extensión de la cuenca se propone distintas ecuaciones de cálculo. La cuenca del río Ambi tiene una extensión mayor a 45 km² por lo que para el cálculo del caudal máximo se utilizó la Ecuación (5).

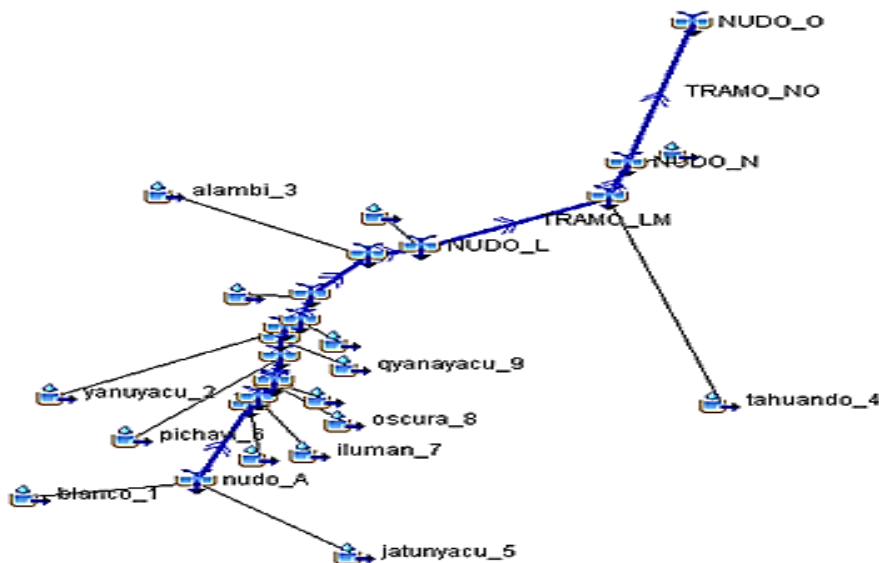
$$Q_{max} = a \frac{\overline{P}\sqrt{A}}{(1+lgA)} (0.5\ln T - 0.7) \quad (5)$$

El coeficiente “a” es variable entre 0,01 y 0,1 el cual tiene una relación variable con la precipitación media, con el fin de obtener una mejor correlación, se ha dividido a la función para determinar dicho coeficiente en dos partes: la primera corresponde a cuencas con precipitación entre 500 y 2500 y una segunda parte, para zonas con precipitaciones entre 2500 y 4000 mm (Sandoval, W., Aguilera, E., 2014).

5.2 Resultados y discusión

El modelo físico de la cuenca permitió representar todos los elementos hidrológicos que la conforman, cada uno de estos elementos usan modelos matemáticos que permitieron describir y modelar los procesos físicos que se producen en el sistema hidrográfico (Nania, 2007). En la Figura 5.1 se presenta el modelo físico de la cuenca usado en el programa HEC-HMS. Los datos morfológicos de las subcuencas y el tiempo de retardo son fundamentales para el proceso de transformación de lluvia en escorrentía y el cálculo de los hidrogramas unitarios en el programa HEC-HMS estos datos obtenidos para las 15 subcuencas que conforman la cuenca del río Ambi se presentan resumidas en la Tabla 5.1.

Figura 5.1 Modelo físico de la cuenca del Río Ambi



Fuente: Autores

Tabla 5.1 Tiempos de concentración y retardo de las subcuencas del río Ambi.

| Nombre | Área (km ²) | Long cauce (km) | Tc(min) | T Lag |
|---------------------|-------------------------|-----------------|---------|--------|
| Río Blanco | 92.97 | 19.37 | 142.95 | 50.03 |
| Río Yanayacu | 87.91 | 18.47 | 107.16 | 37.51 |
| Río Alambi-Cariyacu | 138.25 | 19.24 | 111.15 | 38.90 |
| Río Tahuando | 385.81 | 39.43 | 237.49 | 83.12 |
| Río Jatunyacu | 233.99 | 21.08 | 155.32 | 54.36 |
| Río Pichavi | 29.86 | 15.89 | 127.15 | 44.50 |
| Quebrada Iluman | 13.86 | 10.27 | 55.55 | 19.44 |
| Quebrada Oscura | 7.56 | 7.77 | 46.80 | 16.38 |
| Quebrada Yanuyacu | 8.27 | 7.95 | 57.78 | 20.22 |
| Quebrada Jijón | 10.40 | 4.18 | 45.52 | 15.93 |
| Quebrada Artizón | 8.59 | 6.01 | 42.61 | 14.91 |
| Quebrada Colimbuela | 10.38 | 5.32 | 45.67 | 15.99 |
| Quebrada Timbibiche | 22.73 | 8.71 | 56.12 | 19.64 |
| Quebrada Coñaquí | 25.76 | 7.54 | 61.94 | 21.68 |
| Quebrada La Virgen | 53.27 | 3.53 | 23.35 | 8.17 |
| Cuenca Río Ambi | 1129.6 | 68.49 | 435.25 | 152.34 |

Fuente: Autores

En la cuenca del río Ambi para determinar la precipitación de diseño en el programa HEC-HMS se desarrollaron los hietogramas de precipitación para una duración igual al tiempo de concentración de la cuenca es decir para un tiempo de 7 horas con intervalos de 30 minutos. A partir de las curvas IDF obtenidas de las estaciones meteorológicas de la zona del proyecto Inguincho (M001), Otavalo (M105), Cahuasqui-Fao (M107), La Victoria INERHI (M009) y Pimampiro (M 0315), se calcularon los hietogramas para los períodos de retorno de 10, 25 y 50 años los mismos que se observan en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2 Hietogramas de precipitación de las estaciones meteorológicas de la cuenca del río Ambi

| t
min | EST M001 | | | EST M009 | | | EST M105 | | | EST M107 | | | EST M315 | | |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Tr
10 | Tr
25 | Tr
50 | Tr
10 | Tr
25 | Tr
50 | Tr
10 | Tr
25 | Tr
50 | Tr
10 | Tr
25 | Tr
50 | Tr
10 | Tr
25 | Tr
50 |
| | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) | P
(mm) |
| 30 | 1.49 | 1.76 | 1.99 | 0.94 | 1.08 | 1.21 | 0.42 | 0.47 | 0.50 | 0.68 | 0.84 | 0.95 | 0.92 | 1.08 | 1.22 |
| 60 | 1.66 | 1.96 | 2.22 | 1.05 | 1.21 | 1.34 | 0.49 | 0.55 | 0.58 | 0.79 | 0.97 | 1.10 | 1.03 | 1.21 | 1.36 |
| 90 | 1.89 | 2.23 | 2.53 | 1.20 | 1.38 | 1.53 | 0.59 | 0.66 | 0.70 | 0.94 | 1.15 | 1.32 | 1.17 | 1.38 | 1.55 |
| 120 | 2.23 | 2.63 | 2.99 | 1.41 | 1.63 | 1.81 | 0.75 | 0.83 | 0.89 | 1.17 | 1.44 | 1.65 | 1.38 | 1.63 | 1.84 |
| 150 | 2.80 | 3.31 | 3.75 | 1.78 | 2.04 | 2.27 | 1.04 | 1.15 | 1.22 | 1.60 | 1.96 | 2.24 | 1.74 | 2.04 | 2.31 |
| 180 | 4.05 | 4.79 | 5.43 | 2.57 | 2.95 | 3.28 | 1.75 | 1.93 | 2.06 | 5.22 | 6.41 | 7.31 | 2.52 | 2.95 | 3.33 |
| 210 | 18.6 | 21.99 | 24.94 | 11.79 | 13.57 | 15.09 | 25.17 | 27.77 | 29.63 | 23.30 | 28.63 | 32.66 | 11.56 | 13.57 | 15.32 |
| 240 | 5.63 | 6.65 | 7.54 | 3.57 | 4.10 | 4.56 | 8.55 | 9.44 | 10.07 | 11.60 | 14.25 | 16.26 | 3.49 | 4.10 | 4.63 |
| 270 | 3.28 | 3.87 | 4.39 | 2.08 | 2.39 | 2.66 | 1.30 | 1.43 | 1.53 | 1.97 | 2.43 | 2.77 | 2.04 | 2.39 | 2.70 |
| 300 | 2.48 | 2.92 | 3.31 | 1.57 | 1.80 | 2.01 | 0.87 | 0.96 | 1.03 | 1.35 | 1.66 | 1.89 | 1.54 | 1.80 | 2.04 |
| 330 | 2.04 | 2.41 | 2.73 | 1.29 | 1.49 | 1.65 | 0.66 | 0.73 | 0.78 | 1.04 | 1.28 | 1.46 | 1.27 | 1.49 | 1.68 |
| 360 | 1.76 | 2.08 | 2.36 | 1.12 | 1.28 | 1.43 | 0.54 | 0.60 | 0.64 | 0.86 | 1.05 | 1.20 | 1.09 | 1.28 | 1.45 |
| 390 | 1.57 | 1.85 | 2.10 | 0.99 | 1.14 | 1.27 | 0.46 | 0.50 | 0.54 | 0.73 | 0.90 | 1.02 | 0.97 | 1.14 | 1.29 |
| 420 | 1.42 | 1.67 | 1.90 | 0.90 | 1.03 | 1.15 | 0.40 | 0.44 | 0.47 | 0.64 | 0.78 | 0.89 | 0.88 | 1.03 | 1.17 |

Fuente: Autores

Dentro de la modelación hidrológica el cálculo de las pérdidas de infiltración resultó fundamental. De acuerdo al método del SCS se requirió la determinación del número de curva de la cuenca el mismo que está en función del tipo y uso del suelo.

Para la clasificación del tipo de suelo según el SCS se tomó en cuenta la taxonomía del mismo. Según el MAGAP-SIGAGRO la subcuenca del río Ambi presenta suelos de tipo inceptisoles y gran parte del área de la cuenca son suelos tipo molisoles.

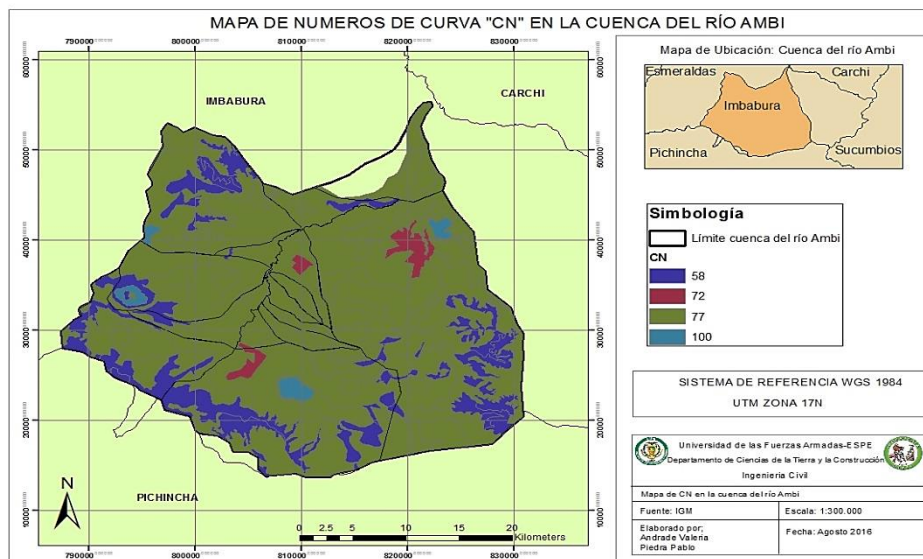
Los inceptisoles son un conjunto de suelos, negros, limosos con un porcentaje de arcilla menor al 30% poco ácidos, derivados de ceniza, mientras que los molisoles son un conjunto de suelos limoso o arenoso (Cabrera, 2002).

Según estas características y de acuerdo a la clasificación de suelos del SCS la cuenca del río Ambi tiene suelos tipo B, con una litología de arenas calcáreas con limos, un porcentaje de arcilla entre el 10-30%, una moderada permeabilidad, humedad y tasa de infiltración.

Esta información fue fundamental para el cálculo del número de curva, el mismo que toma valores desde 0 a 100 y es función de la textura del suelo, la cobertura el uso y los antecedentes de humedad (Red río Aburrá, 2011)

Este número de curva fue determinado para las 15 subcuencas consideradas en el río Ambi, el mismo que se presenta en la Figura 5.2. En el caso de la cuenca del río Ambi por tratarse de suelos con características tipo B los números de curva varían entre 100 y 58 siendo el valor más representativo en la cuenca 77 debido a que el uso del suelo característico de la zona es la agricultura.

Figura 5.2 Mapa del número de curva CN de la cuenca del río Ambi



Fuente: Autores

Con todos los datos de entrada ingresados en el programa HEC-HMS fue necesario definir el tiempo de control del modelo para realizar la modelación este dato es importante para el completo desarrollo del hidrograma (Nania, 2007).

Este tiempo de control fue definido como dos veces el tiempo de concentración de la cuenca del río Ambi es decir 14h, este tiempo se lo escogió debido a que según Robedro (2014) en un hidrograma de avenida desde el pico del hidrograma donde se genera el caudal máximo al final del hidrograma ha transcurrido un tiempo igual al tiempo de concentración de la cuenca. Los resultados obtenidos del programa HEC- HMS son los caudales durante todo el tiempo de modelación de la lluvia para cada subcuenca nudo y tramo de la cuenca, así mismo el programa presenta un hidrograma para cada uno de los elementos de la cuenca y un cuadro resumen donde indica los caudales máximos y la hora en la que se produce cada caudal de toda la cuenca, para el efecto de la investigación se requería conocer el caudal máximo de la cuenca, estos caudales se los obtuvo para un periodo de retorno de 10, 25 y 50 años, los mismos que se presentan en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3 Caudales máximos obtenidos del modelo HEC-HMS

| Tr | HEC-HMS | Tiempo caudal máximo |
|----|-----------------------------|----------------------|
| | Q max (m ³ /seg) | |
| 10 | 389.7 | 6:00 |
| 25 | 691.2 | 6:00 |
| 50 | 950 | 6:00 |

Fuente: Autores

Para verificar los resultados obtenidos del programa HEC HMS y comprobar la aplicabilidad del método en el Ecuador, se calcularon los caudales máximos por el método de Sandoval y Aguilera (2014), para cuencas con extensiones mayores a 45 km², aplicando dicha metodología cuya ecuación está en función del área, la precipitación media y el periodo de retorno, en la metodología interviene un coeficiente a que depende de la precipitación media de la cuenca, dicha precipitación calculada por el método de las isoyetas es de 832 mm, de acuerdo a la investigación de Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., Balarezo, A., Narvaez, C., Morocho, D, (2016), para la cuenca del río Ambi por el método aritmético se obtuvo una precipitación media de 788.49 mm, mientras que por el método de polígonos de Thiesen se calculó una precipitación de 864.25 mm, por lo que los valores de la precipitación media de la cuenca obtenidos en esta investigación concuerdan con otros estudios realizados en la zona, tomando en cuenta esta precipitación calculada por el método de isoyetas el coeficiente (a) es 0.106 para el cálculo del caudal máximo en todos los periodos de retorno.

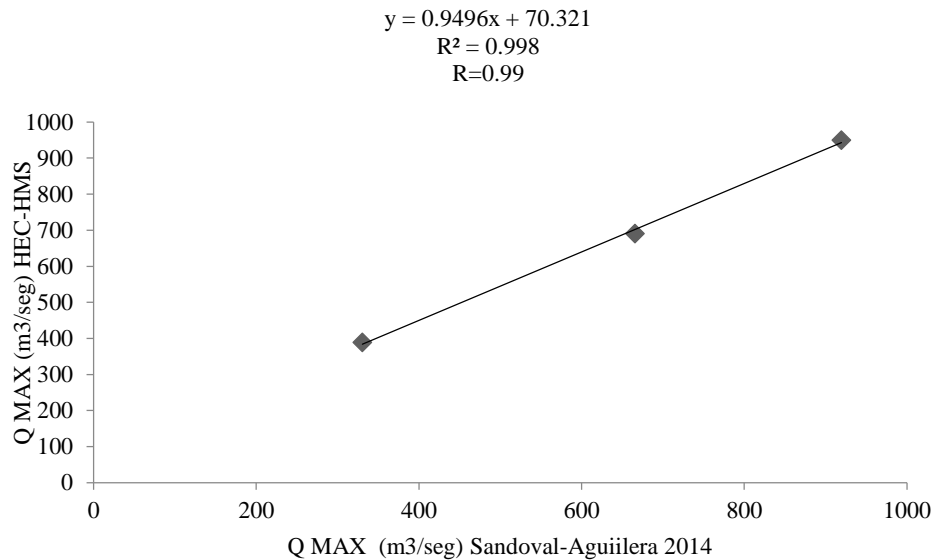
Se realizó una correlación entre los dos caudales calculados en donde en las abscisas se colocó el caudal calculado por el método de Sandoval y Aguilera, y en las ordenadas el obtenido por medio del programa HEC-HMS.

En la Tabla 5.4 se presentan los resultados obtenidos y el porcentaje de error entre ambos métodos, en el Gráfico 5 se presenta en grafico de dispersión y el valor de correlación R entre ambos métodos.

Tabla 5.4 Comparación de caudales método Sandoval -Aguilera y HEC HMS

| Tr | Método Sandoval y Aguilera 2015 | HEC-HMS | % ERROR |
|----|---------------------------------|-----------------------------|---------|
| | Q Max (m ³ /seg) | Q Max (m ³ /seg) | |
| 10 | 330.36 | 389.7 | 15.07 |
| 25 | 665.74 | 691.2 | 3.65 |
| 50 | 919.45 | 950 | 3.21 |

Fuente: Autores

Gráfico 5 Comparación de caudales máximos entre los métodos Sandoval-Aguilera y HEC- HMS

Fuente: Autores

Como se observa los resultados obtenidos en ambos modelos presentan valores cercanos para los tres períodos de retorno. El caudal obtenido con HEC-HMS ocupando el modelo del SCS presenta un valor mayor, la correlación de los resultados obtenidos es muy cercana a uno, por lo que se puede decir que la relación de los resultados es positiva intensa (Lind, D.A, Marchal, W.G, Mason, R.D., 2004)

5.3 Conclusiones

De la modelación hidrológica realizada en HEC-HMS a partir del método del SCS, se concluyó que esta metodología si es aplicable a las cuencas del Ecuador ya que se logró obtener resultados muy cercanos a los obtenidos con la metodología de Sandoval y Aguilera (2014) que considera todas las particularidades de las cuencas del Ecuador.

5.4 Referencias

A. B. L. Antonio. (2014). “Una revisión de la evaluación de la calidad de agua de los ríos de la provincia de Imbabura,”. Universidad Técnica Particular de Loja.

Cabrera, W. (2002). PROPUESTA DE MANEJO DE LA SUBCUENCA DEL RÍO AMBI, PROVINCIA DE IMBABURA. Tesis de ingeniería Agroforestal. Universidad Tecnológica Equinoccial.

Carrera, D., Guevara, P., Tamayo, L., Balarezo, A., Narvaez, C., Morocho, D. (2016). Relleno de series anuales de datos meteorológicos mediante métodos estadísticos en la zona costera e interandina del Ecuador, y cálculo de la precipitación media . IDESIA CHILE.

Cereceda, R. (2008). Propuesta de un método para la construcción de curvas IDF en estaciones pluviométricas en Chile central . Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales .

Chow, V., Maidment, D., Mays, L. (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill.

- Dueñas, C. (1997). Marco normativo vigente ante el riesgo de inundaciones. La protección civil ante el riesgo de inundaciones, 7.
- Estrada, V., y Pacheco, R. (2012). Modelación hidrológica con HEC-HMS en cuencas montañosas de la región oriental de Cuba. RIHA vol.33 no.1 La Habana.
- Flores, F. (2010). Manejo integral de la Cuenca Hidrográfica del Río Ambi ubicado en la Provincia de Imbabura entre las poblaciones de Atuntaqui y Otavalo, sector Cantón Cotacachi. Tesis de grado ingeniería Civil Universidad San Francisco de Quito.
- INAMHI. (2015). Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación. Actualización del estudio de lluvias intensas. Quito, Ecuador.
- Lind, D.A, Marchal, W.G, Mason, R.D. (2004). Estadística para Administración y Economía. Colombia: Alfaomega.
- Nania, L. (2007). Manual Básico de HEC- HMS3.0 y HEC GEO HMS 1.0. Cálculo de Caudales de Avenida con HEC-HMS y SIG.
- Red río Aburrá. (2011). Diseño y puesta en marcha de la red de monitoreo ambiental en la cuenca hidrográfica del río Medellín en jurisdicción del área metropolitana. Metodologías para la estimación de caudales, capítulo 6.
- Robedro, J. C. (2014). Cálculo de caudales de avenida. Universidad Politécnica de Madrid.
- Rojas, R. (2009). Hidrología aplicada al manejo de cuencas. Bogota: Universidad de los Andes, Facultad de ciencias forestales y ambientales.
- Sandoval, W., Aguilera, E. (Diciembre de 2014). Determinación de Caudales en cuencas con poca información Hidrológica. Revista Ciencia UNEMI No 2, 100-110.

El fosfito: Frontera entre la nutrición de cultivos y el control de plagas y enfermedades

RODRÍGUEZ-NEAVE, Francisco

F. Rodríguez

Profesor-Investigador, Dpto. de Suelos, UACh, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México - Texcoco Km. 38.5, 56230 Texcoco de Mora, Méx.
neavef@yahoo.com.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The phosphorus is the second nutriment in importance in the national agriculture. The plants absorb it as phosphate diácido (H_2PO_4^-) and the monoacid phosphate (HPO_4^{2-}). The phosphates take part strongly of the reactions of adsorption and precipitation in the soil, which provokes a low efficiency (30 %) of the phosphoric fertilizers. Recently there have been commercialized the phosphite (H_2PO_3^-), which do not present the problematics of the phosphates, though his three-dimensional structure does not allow him to substitute the phosphate in the nutrition of the plants, nevertheless have been in use effectively in the control of fito-pathogenic fungi (oomycetos). This effect is variable depending on the cation accompanist (K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn). Likewise, there exists abundant evidence of the bio-stimulant action of the phosphite in vegetables (potatoes) and fruit trees (citrus fruits), that is to say it takes part in some metabolic routes of the plant that drive to promote a major production and quality of the crops. Finally we have thought that the phosphite has insecticide effect. In the onion there was discovered that they reduced the number of trips for plant up to in 90 % and in the lettuce the plant louses were brought down even in 80 %. The previous effects will take place as soon as the plant is supplied well of phosphates. Nowadays the technology is had of producing plants with aptitude to take advantage of the phosphite as source of phosphorus, which would allow to diminish the doses of fertilization and to use the phosphite as herbicide

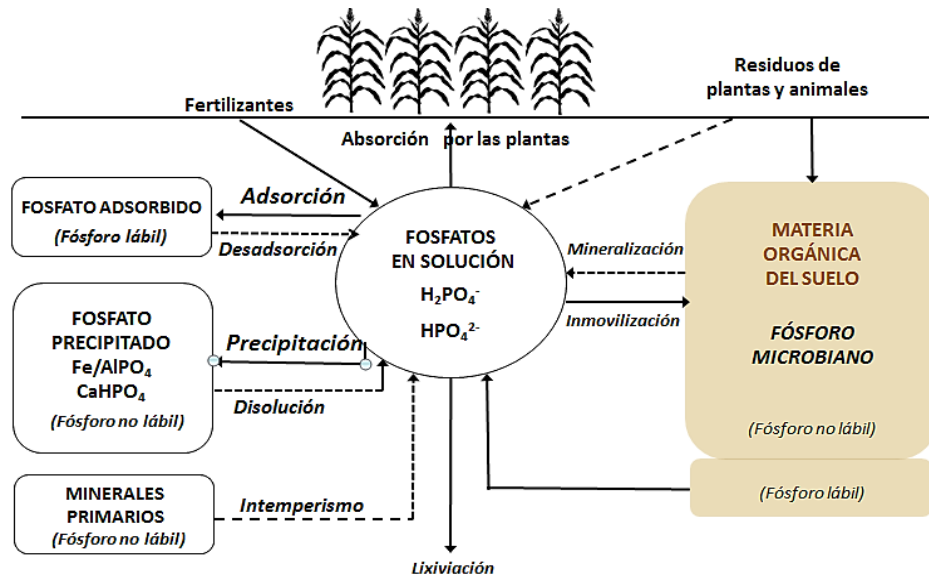
6 Introducción

El fósforo es uno de los 17 nutrimentos esenciales para las plantas superiores. Es el segundo nutrimento en importancia en la agricultura nacional y mundial, después del nitrógeno. La razón de lo anterior se ubica en la baja disponibilidad de las formas aprovechables de fósforo en el suelo (0.06 a 0.1 mg/L), no obstante que la demanda por los cultivos lo ubica más allá del 6º lugar, después del carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, potasio y calcio.

6.1 Fosfatos y fosfitos en la agricultura

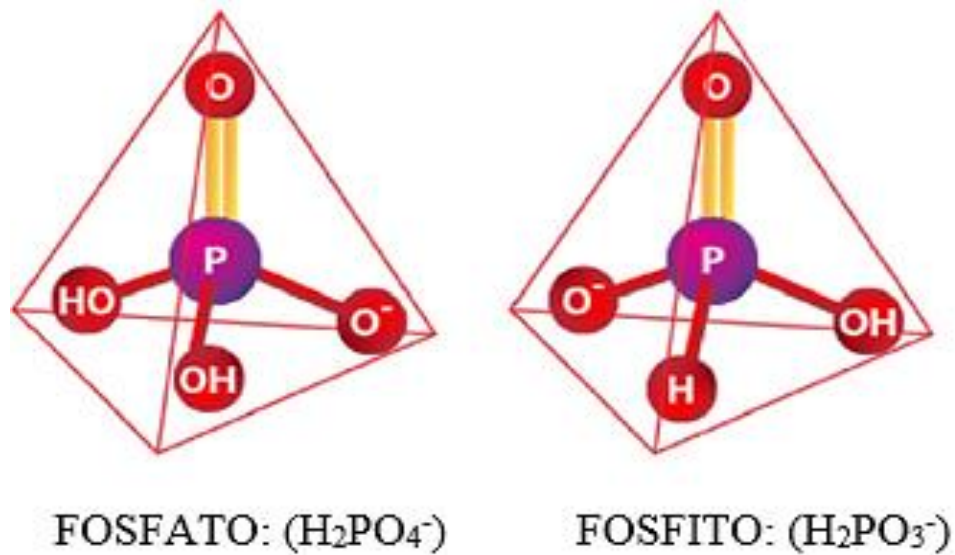
Las formas aprovechables del fósforo por las plantas, son el fosfato diácido (H_2PO_4^-) y el fosfato monoácido (HPO_4^{2-}). El primero es el preferido por las plantas y predomina en ambiente ácido, mientras que el segundo se encuentra en el pH alcalino. Estos aniones son muy reactivos en el suelo, participando de los procesos de adsorción y precipitación (ver Figura 6). La adsorción de los fosfatos se presenta con el aluminio en la superficie de los coloides del suelo ácido y con el Ca^{2+} en la superficie de los coloides del suelo alcalino. La precipitación de los fosfatos se desarrolla principalmente con el Al^{3+} que se encuentra en solución en el suelo ácido y con el Ca^{2+} disuelto en suelo alcalino. La adsorción y precipitación, provocan los bajos de fosfatos encontrados en la solución nutritiva del suelo (0.06 a 0.1 mg/L). Con base en lo anterior, el abastecimiento del fosfato del suelo a la raíz es predominantemente por difusión, la cual es efectiva solo a distancias cortas (mm), por lo que la nutrición fosfórica de las plantas depende de los fosfatos que se encuentren en su rizósfera. La adsorción y precipitación de los fosfatos, explican la eficiencia relativamente baja (alrededor del 30%) de los fertilizantes fosfóricos, es decir de cada 100 kg de P adicionado al suelo, solo 30 kg podrán ser absorbidos por las plantas, mientras que los 70 kg restantes están siendo adsorbidos y precipitados por el suelo. Lo anterior se logra con un buen manejo del fertilizante, lo que significa adicionar toda la dosis a la siembra, lo más cerca posible de donde se establecerán las raíces de las plantas. Este efecto residual, con el paso de los años, promueve el enriquecimiento del suelo con fósforo, hasta el punto de que los métodos analíticos (Bray y Olsen) detectan niveles altos de formas aprovechables de este nutrimento.

Figura 6 Dinámica del fósforo en el suelo (adaptado de Havlin *et al.*, 2005)



Recientemente, se han introducido al mercado de los agroquímicos el ácido fosforoso (H_3PO_3) y sus aniones los fosfitos ($H_2PO_3^-$, HPO_3^{2-}). La ventaja de los fosfitos es que no presentan la problemática de los fosfatos en el suelo, es decir la adsorción y precipitación es menos intensa. Adicionalmente los fosfitos pueden ser absorbidos por los cultivos. Sin embargo, no pueden ser utilizados en las rutas metabólicas de los fosfatos en las plantas, es decir no pueden sustituir al fosfato en la nutrición de los cultivos, debido a las diferencias en la conformación espacial de ambos aniones, las cuales se pueden observar en la Figura 6.1 (Gómez-Merino y Trejo-Tellez, 2015). No obstante, los fosfitos tienen otras ventajas en la agricultura.

Figura 6.1 Estructuras químicas del fosfato y el fosfito (Gómez-Merino y Trejo-Téllez, 2015)



6.2 Los fosfitos en la nutrición vegetal

En el ámbito de la nutrición de los cultivos, los fosfitos han actuado como bio-estimulantes, según lo demuestra Gómez-Merino y Trejo-Téllez (2015). Este efecto es evidente en los cultivos que no presentan deficiencias de fósforo, es decir cuándo se maneja la dosis adecuada de fosfato. Un resumen de estos efectos en horticultura es el siguiente: en el apio se incrementó el rendimiento; en lechuga se produjo mayor biomasa y contenido de fósforo; en cebolla se aumentó el tamaño jumbo; en papa se logró mayor rendimiento y calidad grado 1, se presentaron más fitoalexinas y quitinasas, se observó una pared celular reforzada, se tuvo una mejor emergencia y crecimiento, se midió mayor colonización de micorriza, más clorofila y mejor protección contra UV; en pimiento se presentó mayor rendimiento y tamaño grado 1; en jitomate se logró mayor biomasa y contenido de fósforo; en aguacate se tuvo mayor rendimiento y tamaño de fruto; en plátano mayor biomasa, área foliar y contenido de fósforo; en cítricos aumento el rendimiento y calidad del fruto; en fresa se promovió mayor crecimiento de raíces y tallos, se incrementó de clorofila, los aminoácidos y proteínas en hoja, se elevó el contenido de antocianinas en fruto; en jitomate se produjo mayor biomasa y contenido de fósforo. Estos efectos se lograron, tanto con el ácido fósfórico, como con el fosfito de potasio. En el primer caso el efecto se atribuye exclusivamente de los fosfitos, mientras que en el segundo caso, el efecto es la combinación de los fosfitos y del macronutriente potasio. Existen en el mercado fosfitos asociados con otros cationes, tales como el magnesio y el calcio, así como con el cobre y el zinc, de tal manera que pueden constituirse en transportadores de esos nutrimentos en la nutrición foliar de los cultivos.

6.3 Los fosfitos y su acción fungicida

Actualmente, el uso principal de los fosfitos es el control de enfermedades fungosas, sobre todo aquellas causadas por oomycetos, como *Phytophthora*, *Pseudoperonospora*, *Peronospora*, *Pythium*, *Albugo*, *Bremia*, etc, según Thao y Yamakawa, (2009). Para lograr eficazmente esta actividad, no deben existir deficiencias de fósforo en las plantas (Thao y Yamakawa, 2009), ya que en caso contrario se presentan efectos contraproducentes. La acción fungicida de los fosfitos, puede ser explicado mediante dos vías. Un efecto indirecto relacionado con el incremento de la resistencias de la planta, ya que los fosfitos intervienen en el metabolismo de la planta como elicitores, estimulando la vía del ácido shiquímico, con lo cual promueven la formación de peroxidasas, fitoalexinas y la acumulación de polímeros fenólicos, además de lignina, en el sitio de infección (Avila et al., 2011). Otra vía de acción de los fosfitos es el efecto directo, es decir el fosfito absorbido por el hongo compete con el fosfato en diversas rutas metabólicas catalizadas por enzimas fosforilativas, pero no cumple plenamente su función debido a las diferencias en su estructura tridimensional (Figura 2), fracasando la construcción del DNA, la estructuración de las membranas con fosfolípidos, en la formación del ATP. Adicionalmente, se han tenido efectos diferentes en la acción fungicida de los fosfitos, en función del catión acompañante. Trejo (2009) evaluó los fosfitos de potasio, de calcio, de magnesio, de zinc y de cobre, en el control de *Phytophthora* en el cultivo de papa, obteniendo los mejores resultados con el zinc y el cobre. Esto puede variar en función de las deficiencias que presente el suelo. Una planta bien abastecida con cobre, promoverá más eficazmente las enzimas que darán lugar a la producción de fitoalexinas y melaninas de acción fungicida y de la lignina que puede fortalecer a las paredes celulares contra la invasión de patógenos.

6.4 Los fosfitos y su acción insecticida

Otro efecto de los fosfitos es su acción insecticida. En trabajos desarrollados en la Universidad Autónoma Chapingo en los cultivos de cebolla, lechuga y tomate de cáscara, hemos tenido resultados muy prometedores en su acción insecticida.

Díaz y Calderón (2014) evaluaron los fosfitos de potasio en el control de plagas y enfermedades en el cultivo de cebolla, durante tres ciclos. Encontraron que con la dosis de 6 ml del producto comercial/ L de solución, se disminuyó la incidencia de trips hasta por un 90%. Por su parte, Briano y Ponce (2016) evaluaron el fosfito de potasio en el control de plagas y enfermedades en el cultivo de lechuga. Ellos descubrieron que el número de pulgones por planta disminuyó hasta por un 80% con la dosis de 6 ml del producto comercial/ L de solución, mientras que los trips se abatieron hasta por un 48% con la misma dosis. En el cultivo de tomate de cáscara, Rodríguez (2013) encontró que los fosfitos de potasio, sumados al silicato de calcio, abatieron hasta por un 59% la incidencia de trips. Lovatt y Mikkelsen (2006) indican que los fosfitos estimulan en la planta la vía del ácido shiquímico, lo cual conduce a la producción de metabolitos secundarios, como terpenos, alcaloides, fenoles y ligninas, los cuales están implicados en las defensas químicas (repelentes o tóxicos) y físicas (lignina y pared celular) de la planta contra las plagas.

6.5 Los fosfitos sustituyendo los fosfatos

La acción bio-estimulante, fungicida e insecticida de los fosfitos, además de ser transportador de los macronutrientes K, Ca, Mg y de micronutrientes Cu, Zn y Mn, se logra cuando la planta está bien abastecida de fosfatos. En situaciones de deficiencia de fósforo, el efecto de los fosfitos es negativo. Esto sucede porque los fosfitos adicionados al suelo o al follaje, son absorbidos por las plantas y no pueden ser oxidados a fosfatos y, por tanto, no pueden ser incorporados al metabolismo, inhibiendo además los mecanismos de respuesta de la planta a las deficiencias de fosfato. Existen microorganismos que pueden transformar el fosfito en fosfato. Esta capacidad se puede trasladar a las especies cultivadas, de tal manera que se puede utilizar el fosfito como fertilizantes en los cultivos, como lo ha demostrado los trabajos desarrollados en el Cinvestav, unidad Irapuato. En estas condiciones el fosfito podría actuar como herbicida, sobre todo en condiciones de deficiencia de fosfato, toda vez que las malezas no podrán utilizar el fosfito como fuente de fósforo y no lograrán desarrollarse.

6.6 Referencias

- Ávila, F., Faquin, V., Lopes, J., Marques, D., Ribeiro, M., da Silva, A., Ramos, S. and Pereira, D., (2011). Phosphite supply affects phosphorus nutrition and biochemical responses in maize plants. *Australian Journal of Crop Science* 5 (6): 646-653.
- Briano-Ramos, E. y Ponce-Méndez, D., 2016. Fosfito de potasio en el control de plagas y enfermedades en lechuga (*Lactuca sativa* L.) en la región de Texcoco, Méx. Tesis profesional, UACH
- Díaz-Cáceres, I. H. y Calderón-Segreste, E. (2014). Evaluación de fosfitos de potasio en el control de plagas y enfermedades en el cultivo de cebolla en Texcoco, Méx. Tesis profesional, UACH.
- Gómez-Merino, F. y Trejo-Téllez, L. I. (2015). Biostimulant activity of phosphite in horticulturalae. *Review. Scientia Horticulturae* 196 (2015) 82-90
- Havlin, J., Beaton, J., Tisdale, S., & Werner L., N. (2005). *Soil Fertility and Fertilizers and Introduction to Nutrient Management*. United States of América: Pearson
- Lovatt, C.J., and Mikkelsen, R.L. 2006. Phosphite fertilizers: What are they? Can you use them? What can they do? *Bette Crops*, 90, 11-13.

Rodríguez-Romero, D. (2013). Evaluación de bio-reguladores, inductores de resistencia y enraizadores en la producción de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Tesis profesional, UACH

Thao, H. and Yamakawa, T., (2009). Phosphite (phosphorous acid): Fungicide, fertilizer o bio-stimulator? Review. *Soil Science and Plant Nutrition* (2009) 55, 228-234.

Trejo-Flores, M. N. (2011). Evaluación de fosfitos en el control del tizón tardío *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary en papa (*Solanum tuberosum* L.). Tesis profesional UACH.

Caracterización del queso crema de Chiapas. Antecedente para una marca colectiva

LOZANO-V., Gustavo, AGUIRRE-M., Eleazar, HERNÁNDEZ-M., Arturo y SANTOS-M., Armando

G. Lozano, E. Aguirre, A. Hernández y A. Santos

Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco, km 38.5, Chapingo, Estado de México, C.P. 56230, México
gustavolozanov@gmail.com

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

Cream Cheese Chiapas, traditional product whose origin dates back to around 1890, it comes from the current zone of Bochil, Chiapas. The importance of its history and popularity, are reasons enough to generate a descriptive letter and contribute to its preservation. This research aims to characterize variations in the physicochemical, rheological, sensorial and microbiological characteristics of this cheese, in relation to the composition of the milk produced in two seasons, and in two different production areas as well as the effect of cheese factories. Defined intervals were established, creating a record with their characteristics, thereby encompassing their identity and typicality.

7 Introducción

Dentro de los quesos mexicanos genuinos y con tradición, algunos corren el riesgo de perderse ante la dinámica del libre mercado y muchos de ellos aún no cuentan con estudios tan específicos que permitan su preservación. Actualmente los productores de Queso Crema de Chiapas(Q.C.Ch.) se enfrentan a diversas desventajas para lograr la caracterización de su producto, ya que cuentan con diferencias en la composición de leches, por producirse en dos épocas del año y diferentes zonas, también existen ciertas variaciones en los procesos; lo anterior trae como consecuencia que su producto no tiene propiedades estandarizadas, lo cual puede traducirse negativamente en la percepción del cliente en términos de inocuidad, calidad y apreciaciones sensoriales. Dicho esto, al contar con alta variabilidad en su producto, ha sido necesario realizar un estudio que permita caracterizar los componentes y las características del queso; de tal forma que a través del análisis de éstos elementos, se logrará proponer puntos que favorezcan la homologación de ciertas operaciones generales, siempre respetando los matices de cada proceso, buscando exaltar la calidad y determinando la propiedades de identidad con el fin de explotar los atributos de tipicidad que se identifiquen. La estrategia global de este proyecto para incentivar el consumo del Q.C.Ch. y motivar su permanencia en el mercado, es mediante una protección legal, para lo cual es necesario realizar una carta descriptiva del producto. Es por eso que se debe de fortalecer el expediente que incluya más elementos para documentar a dicho queso. El objetivo principal de la investigación fue determinar los cambios en las propiedades fisicoquímicas, viscoelásticas y sensoriales del QCCh, en relación a la composición de la leche utilizada, misma que depende de la épocas del año y de la zonas en que se produce; observando también el efecto que pueda tener las variaciones de los procesos entre queserías; al crear, organizar y transducir esta información a los productores, les permita realizar cambios o ajustes en los procesos de elaboración, con el fin de obtener quesos de mejor calidad microbiológica y sensorial. Así como brindar información que les permita explotar los atributos de valor detectados, exaltando su tipicidad y así poder gestionar una protección jurídico-comercial

7.1 Experimental

7.1.1 Materiales de estudio

Leche y Queso Crema del Estado de Chiapas (Q.C.Ch.) y su recolección: Criterios de selección de queserías (Q) o unidades de producción (UP): lote producción con volúmenes > 90 L de leche, al menos 10 años de producción tradicional de queso y pertenecientes la Asociación de Procesadores de Queso Crema Chiapas. S.P.R. de R.L. Así, el estudio se realizó con 8 queserías distribuidas en dos zonas del Estado de Chiapas; siendo la denominada “Zona Norte”,(No), con municipios: Reforma, Juárez y Rayón; mientras que en la “Zona Centro”, (Ce), fueron: Villacorzo, Villaflores y Ocozocuatla. El estudio se hizo dentro de dos temporadas: época de lluvias (ELI) (Agosto 2010) y época de secas (ESe) (Marzo del 2011). Con muestras representativas aleatorias, de leche trazable de ranchos a tina de recepción.

En general el queso es consumido antes de 15 días, por lo que propiedades se evaluaron en ese periodo. Los códigos serán utilizados por las combinaciones de: quesería (Q#), zonas: norte (No) y centro (Ce) y temporada por época de: Lluvias (ELI) y secas (Ese). Donde #, corresponde a el número de cada unidad de producción estudiada.

7.1.2 Métodos

Análisis químico proximal de leche. Mediante equipo MilkoScan FT120, tipo 71200, Dinamarca y el análisis de datos con el software Milkoscan FT 120.

El análisis químico proximal del queso. AQP: Grasa por método 926.08 AOAC, 1995, cenizas, método 935.42 AOAC, 1995, proteína, método 920.123 AOAC Ed. 18th 2005. NaCl y Ca²⁺ por espectroscopia de absorción atómica (Fick R. et al., 1979)

Análisis de perfil de textura. Parámetros: firmeza, adhesividad, cohesividad, resorteo, y masticabilidad del queso; esto fue con un texturómetro TA-Xt2i (Stable Micro Systems; Surrey, U.K.), con celda de carga de 5 kg y software Texture Expect versión 7.15 H.

Análisis reológico de quesos. Muestras cilíndricas de queso, 50 mm de diámetro, 0.5 mm de altura. Con mediciones dinámicas oscilatorias de baja amplitud en reómetro PaarPhysica MCR 301(PhysicaMesstechnik, Stuttgart, Alemania), con geometría rugosa de plato paralelo, 50 mm. Zona viscoelástica lineal: por barridos de amplitud de 0.01 a 100 % de deformación, a 5 Hz y barridos de frecuencia desde 0.001 a 100 Hz, con una amplitud de 0.1 %. Se determinó: módulos de almacenamiento (G'), módulo de pérdida (G'') y el factor de pérdida (tan δ)

Evaluación sensorial: a) Análisis descriptivo cuantitativo (QDA). Selección de jueces, por pruebas triangulares, análisis secuencial consideró un $\alpha = 0.05$, $\beta = 0.05$, $p_0 = 0.333$, $p_1 = 0.666$ y $p_d = 0.5$. Análisis descriptivo: Evaluación de muestras con escalas de 15 cm, donde 0: ausencia del atributo y 15: atributo extremadamente fuerte. b) Prueba afectiva: Se determinó zona y UP de mayor aceptación del queso, con pruebas de aceptación global. (Hernández, 2007).

Análisis microbiológico del queso. Cuenta total de mesófilos aerobios, acuerdo a NOM-092-SSA1-1994 y cuenta de coliformes totales, acuerdo a NOM-113-SSA1-1994.

Análisis estadístico. Unidad experimental (UE): 1 kg de QCCh, proveniente de cada UP. Para análisis químicos y microbiológicos, los resultados se ajustaron a diseño de parcelas divididas (Martínez, 1992), con arreglo anidado (Lawson, 1992), con análisis de varianza $p \leq 0.5$ para comparación de medias de las cuatro UP de cada parámetro de las dos zonas en cada época del año; también se comparó medias entre regiones; esto con paquete estadístico SAS ® versión 9.1 (SAS Institute, Inc., Cary, NC); se aplicó prueba de hipótesis con cuadrado medio (MS) Tipo III para muestra(región) como un término de error. En análisis sensorial; para monitoreo y selección de panelistas entrenados, se hizo análisis de componentes principales (ACP) (Vega. 2010); éste mismo método se utilizó para reducir número de atributos finales en el análisis descriptivo; y para éste último, se usó diseño de bloques completamente al azar (DBCA), con arreglo de parcelas divididas (Lawson, 1992), con 8 UP, 9 panelistas (bloques) y tres repeticiones, se usó SAS®. Para prueba de aceptabilidad, se utilizó un DBCA, los bloques fueron los panelistas (Martínez, 1994). Comparación de medias por diferencia mínima significativa (DMS) y correlaciones entre ciertas combinación de grupos, por regresión de cuadrados mínimos parciales (Vega. 2010), usando Unscrambler V9.8.

7.2 Resultados y discusión

7.2.1 Análisis químico proximal de la leche

En la tabla 7, se muestran los componentes de las leches utilizadas en las diferentes UP. En general, ELI, presentó mayores cantidades de todos sus componentes, con respecto a Ese, lo anterior sugiere que en este periodo, cuando el animal está estresado, su metabolismo se ajusta a un mínimo de producción de los macrocomponentes necesarios, adaptándose a la carencia del agua y de la disponibilidad del alimento, lo que contrasta con ELI; por lo que hablar de distintas épocas de producción de leche, implica resaltar las diferencias en la humedad relativa dada por las lluvias, lo que trae como consecuencia un ambiente más fresco, de menor temperatura y con pastos abundantes; esto se traduce en una mayor cantidad de alimento disponible y de mejor calidad en lo que a nutrientes se refiere, los cuales serán asimilados por el ganado, que mayoritariamente se alimenta por libre pastoreo, destinándose a la síntesis de leche de mayor calidad nutricia (Álvares–Macías, 2007).

Tabla 7 Análisis químico de la leche utilizada en las diferentes UPs en las dos temporadas del año. (medias \pm desviación estándar)

| | Lluvias | | | | Secas | | | |
|-------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|---|-------------------|-------------------|-------------------|
| Tratamiento | Composición de leche ($\mu \pm \sigma$) | | | | Composición de leche ($\mu \pm \sigma$) | | | |
| Leche | Proteína % | Caseína % | Grasa % | Lactosa % | Proteína % | Caseína % | Grasa % | Lactosa % |
| CeQ1 | 3.12 \pm 0.01 a | 2.55 \pm 0.0 a | 3.04 \pm 0.05 a | 4.90 \pm 0.01 a | 3.12 \pm 0.06 a | 2.42 \pm 0.07 a | 2.74 \pm 0.30 a | 4.59 \pm 0.15 a |
| CeQ2 | 3.36 \pm 0.01 b | 2.75 \pm 0.01 b | 3.65 \pm 0.05 b | 4.92 \pm 0.01 b | 3.15 \pm 0.02 a | 2.49 \pm 0.01 a | 3.58 \pm 0.02 b | 4.65 \pm 0.04 b |
| CeQ3 | 3.40 \pm 0.01 c | 2.74 \pm 0.01 b | 3.54 \pm 0.02 c | 4.81 \pm 0.0 c | 3.42 \pm 0.01 b | 2.70 \pm 0.01 b | 3.96 \pm 0.02 b | 4.6 \pm 0.09 a |
| CeQ4 | 3.53 \pm 0.02 d | 2.85 \pm 0.02 c | 4.01 \pm 0.07 d | 4.82 \pm 0.01 c | 3.44 \pm 0.01 b | 2.74 \pm 0.01 c | 3.68 \pm 0.05 b | 4.72 \pm 0.02 c |
| NoQ1 | 3.63 \pm 0.01 e | 2.90 \pm 0.01 d | 4.17 \pm 0.07 e | 4.72 \pm 0.01 d | 3.39 \pm 0.01 b | 2.73 \pm 0.0 b | 3.68 \pm 0.12 b | 4.79 \pm 0.02 c |
| NoQ2 | 3.27 \pm 0.01 f | 2.61 \pm 0.01 e | 3.44 \pm 0.02 f | 4.80 \pm 0.01 f | 3.37 \pm 0.01 c | 2.67 \pm 0.01 d | 3.04 \pm 0.02 a | 4.72 \pm 0.07 c |
| NoQ3 | 3.26 \pm 0.01 f | 2.60 \pm 0.0 e | 3.39 \pm 0.02 f | 4.73 \pm 0.0 d | 3.40 \pm 0.13 b | 2.66 \pm 0.10 e | 3.62 \pm 0.67 b | 4.6 \pm 0.1 b |
| NoQ4 | 3.56 \pm 0.01 g | 2.84 \pm 0.01 c | 3.67 \pm 0.01 b | 4.76 \pm 0.01 g | 3.28 \pm 0.01 d | 2.61 \pm 0.01 f | 3.65 \pm 0.10 b | 4.7 \pm 0.05 c |
| Intervalo: | [3.12 - 3.63] | [2.55-2.90] | [3.04 - 4.17] | [4.72 - 4.92] | [3.12 - 3.44] | [2.42 - 2.74] | [2.74 - 3.96] | [4.6 - 4.79] |

Medias con letras diferentes en columnas presentan diferencias significativas, ($P \leq 0.05$)

7.2.2 Unidades de producción (U.P.) - procesos de elaboración del QCCh

7.2.2.1 Efectos durante las operaciones, en el QCCh

Las operaciones unitarias registradas durante el proceso de elaboración del QCCh son: maduración de la leche, cuajado, reposo de cuajada o chedarización, cortado o quebrado, manteado, desuerado, amasado y salado, moldeado, prensado, desprensado y desmolde, acondicionamiento, envasado, empaclado y conservación en frío. Las UP de quesos artesanales, parten de varias diferencias: condiciones ambientales de cada zona (temperatura y humedad relativa), formas y rutas de recolección, tiempos, formas e infraestructura, capacitación del personal con la que se elabora el queso; entre otras. Todas y cada una de estas diferencias, con sus combinaciones, repercuten en cada uno de las magnitudes de los parámetros fisicoquímicos, viscoelásticos y sensoriales que hará la diferencia en sus propiedades fisicoquímicas y sensoriales.

Desarrollo de las características físicoquímicas, mecánicas y sensoriales del QCCh. durante el proceso. Durante la maduración de la leche se inicia su coagulación enzimáticamente. Posteriormente, el cuajado y su reposo son consideradas operaciones críticas en las propiedades mecánicas del queso (Ver tabla 7.1); para este estudio, se consideró los siguientes parámetros:

- (1) Proporción de la cantidad cuajo en la leche, por la relación porción de cuajo agregado/ porción de cuajo sugeridor por el proveedor (Pa/ps); índice referencial, que muestra la subutilización o sobreutilización del cuajo, dicha relación se presentó en el rango de 0.175 hasta 5.0 veces sobre utilizada.
- (2) pH de leche; entre más bajo, implica mayor absorción de cuajo por la paracaseína, implicando una mayor disponibilidad de proteína desnaturalizada para la formación de la red, el rango presentado al momento del cuajado fue 6.3 a 6.5. Otros factores a considerar: a) el pH 5.5 es el óptimo para que actúe el cuajo, donde las enzimas del cuajo degradan rápidamente la caseína α_1 y más lentamente en las caseínas β , dependiendo del contenido de sal. b) la actividad proteolítica de las enzimas del cuajo aumentan la cantidad de compuestos nitrogenados solubles formados principalmente de péptidos de bajo peso molecular; menor a 1400 (Roser et al, 2004), los cuales influirán en el sabor amargo del queso.
- (3) Temperatura de cuajado, la óptima corresponde a los 40°C, aunque se obtienen buenos resultados entre los 30-35°C; el uso de temperaturas inferiores a este rango, permite la utilización de una mayor proporción de cuajo (20 a 30 mililitros por cada 100 de leche) que es beneficioso para la maduración, además de producir un coágulo no demasiado duro (Cenzano, 1992). El rango de temperatura en las UP abarcó desde 30 °C hasta 34 °C. Y (4), el cuajo actúa entre los 0.18% de acidez titulable hasta los 0.46% (Godfrey., 1996). El intervalo entre todas las U.P. fue de 0.16 hasta 0.24 %. El tiempo total está en función de las condiciones óptimas y de las concentraciones de los componentes. Todo lo anterior, influyó en los distintos grados de estabilidad al gel a lo largo del tiempo o reposo; para este estudio fue desde 8.5 hasta 15 h.

7.2.3 Análisis del Queso Crema de Chiapas

Efecto de los componentes de leche sobre las características del Q.C.Ch. Acorde con la composición inicial de la leche con la que se le elaboraron los quesos, los de ELI presentaron mayores concentraciones de Proteínas y específicamente caseína, lípidos y lactosa. En cuanto a humedad, Ese presentó mayores magnitudes, con respecto a ELI. (ver tabla 7.2)

Tabla 7.1 Resumen de los factores determinantes en la formación del gel durante el cuajado y reposo de la cuajada

| U.P. | Marca | Tipo de cuajo | Temperatura Inicial (°C) | pH _{inicial} | Reposo de la cuajada(h) | Cantidad Sugerida (ppm) | Cantidad agregada (ppm) | (Pa/ps) |
|------|----------|--|--------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------|
| CeQ1 | Shymar | Doble fuerza, enzima de origen microbiano: Mucormiehei. | 33 | 5.5 | 15 | 0.4569 | 0.05 | 1.09 |
| CeQ2 | Villamex | Enzima de origen microbiano: Mucormiehei.Potencia 1:2000 | 30 | 6.5 | 12 | 0.044 | 0.1 | 2.27 |

| | | | | | | | | |
|------|----------------------------|--|----|------|------|-------|-------|-------|
| CeQ3 | Cuamex. Cuajo XXX/20 g sal | No da información (enzimas coagulantes de la leche bovina) | 31 | 6.3 | 14.5 | 0.125 | 0.055 | 0.44 |
| CeQ4 | Cuamex. Cuajo XXX | No da información (enzimas coagulantes de la leche bovina) | 31 | 6.3 | 14 | 0.125 | 0.050 | 0.4 |
| NoQ1 | Batalla | No da información | 32 | 6.3 | 13.5 | 0.2 | 0.035 | 0.175 |
| NoQ2 | Batalla | No da información | 33 | 6.6 | 13 | 0.2 | 0.040 | 0.2 |
| NoQ3 | Lactyme | Doble fuerza y no da más información | 31 | 6.4 | 14.5 | 0.01 | 0.05 | 5 |
| NoQ4 | Villamex | Enzima de origen microbiano: Mucormiehei. Potencia 1:2000 | 34 | 6.44 | 8.5 | 0.044 | 0.035 | 0.79 |

Elaboración propia, con mediciones hechas por Alejandro Suárez, 2010

Tabla 7.2 Propiedades químicas de los tratamientos del Queso Crema de Chiapas en las dos temporadas del año (media \pm desviación estándar)

| Tratamiento | PARÁMETROS | | | | | | | |
|-------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Lluvias | | | | Secas | | | |
| Queso | Químico proximal ($\mu \pm \sigma$) | | | | Químico proximal ($\mu \pm \sigma$) | | | |
| | % Materia Seca | % Humedad | % Grasa | % Proteína | % Materia Seca | % Humedad | % Grasa | % Proteína |
| CeQ1 | 49.19 \pm 0.13 a | 50.81 \pm 0.13 a | 23.61 \pm 0.73 a | 16.6 \pm 0.96 a | 57.93 \pm 2.02 a | 42.07 \pm 2.02 a | 27.65 \pm 4.74 a | 17.35 \pm 0.44 a |
| CeQ2 | 51.48 \pm 0.50 b | 48.52 \pm 0.5 b | 26.19 \pm 0.39 b | 23.51 \pm 3.28 b | 43.98 \pm 3.19 b | 56.02 \pm 3.19 b | 20.71 \pm 1.55 b | 13.06 \pm 0.30 b |
| CeQ3 | 52.78 \pm 0.26 c | 47.22 \pm 0.26 c | 25.21 \pm 0.17 b | 21.89 \pm 1.00 c | 51.96 \pm 1.31 c | 48.04 \pm 1.31 c | 25.33 \pm 0.18 c | 16.48 \pm 0.31 c |
| CeQ4 | 58.94 \pm 0.11 d | 41.06 \pm 0.11 d | 30.11 \pm 1.42 c | 23.60 \pm 1.75 b | 53.25 \pm 2.56 d | 46.75 \pm 2.56 d | 23.73 \pm 0.79 d | 15.04 \pm 1.33 d |
| NoQ1 | 47.60 \pm 0.31 e | 52.40 \pm 0.31 e | 23.70 \pm 0.82 a | 15.62 \pm 0.36 d | 46.5 \pm 4.47 b | 53.5 \pm 4.47b | 21.96 \pm 1.51 d | 14.51 \pm 0.96 d |
| NoQ2 | 56.86 \pm 0.14 f | 43.14 \pm 0.14 f | 28.2 \pm 0.57 d | 22.08 \pm 1.41 c | 48.41 \pm 1.70 e | 51.59 \pm 1.70 e | 19.6 \pm 0.40 e | 17.55 \pm 0.41 a |
| NoQ3 | 57.84 \pm 0.38 g | 42.16 \pm 0.38 g | 28.88 \pm 0.81 e | 21.56 \pm 3.81 c | 54.66 \pm 2.44 f | 45.34 \pm 2.44 f | 25.6 \pm 0.82 c | 15.43 \pm 0.44 e |
| NoQ4 | 56.88 \pm 0.32 f | 43.12 \pm 0.32 f | 28.64 \pm 1.10 d | 26.38 \pm 3.04 e | 51.71 \pm 1.06 c | 48.29 \pm 1.06 c | 24.87 \pm 3.07 c | 15.56 \pm 1.18 e |
| Intervalo: | [47.6 - 58.94] | [41.06 - 52.40] | [23.61 - 30.11] | [15.62 - 26.38] | [43.98 - 57.93] | [42.07 - 56.02] | [19.6 - 27.65] | [13.06 - 17.55] |

Medias con letras diferentes en columnas presentan diferencias significativas entre quesos ($p \leq 0.05$)

7.2.4 Propiedades mecánicas

Análisis de perfil de textura: Firmeza, resorteo, cohesividad, adhesividad y masticabilidad. En general, se observó que las magnitudes en ELI son mayores que en Ese, en: firmeza, adhesividad, resorteo, solo en Ce, cohesividad sólo en No; esto se puede relacionar con las mayores cantidades de proteína y grasa presentes en la ELI. La masticabilidad se comportó a la inversa (ver Tabla 7.3).

Tabla 7.3 Parámetros texturales del Queso Crema de Chiapas en las dos temporadas del año. (Media \pm desviación estándar)

| Q.C.Ch. | PARÁMETROS | | | | | | | | | |
|-------------|------------------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|------------------------------|-------------------|-------------------|----------------------|--------------------|
| | Lluvias | | | | | Secas | | | | |
| Tratamiento | Textura ($\mu \pm \sigma$) | | | | | Textura ($\mu \pm \sigma$) | | | | |
| Queso | Firmeza (N) | Resorteo | Cohesividad | Adhesividad(Ns-1) | Masticabilidad (N) | Firmeza (N) | Resorteo | Cohesividad | Adhesividad(Ns-1) | Masticabilidad (N) |
| CeQ1 | 9.93 \pm 0.74 a | 0.36 \pm 0.05 a | 0.47 \pm 0.01 a | -0.12 \pm 0.06 a | 1.64 \pm 0.39 a | 17.0 \pm 1.09 a | 0.34 \pm 0.03 a | 0.31 \pm 0.05 a | (-0.36) \pm 0.1 a | 1.86 \pm 0.53 a |
| CeQ2 | 11.07 \pm 0.98 b | 0.45 \pm 0.05 a | 0.34 \pm 0.13 b | -0.54 \pm 0.19 b | 1.75 \pm 0.80 a | 8.47 \pm 0.98 b | 0.57 \pm 0.01 b | 0.36 \pm 0.03 a | (-0.42) \pm 0.11 b | 1.74 \pm 0.27 a |
| CeQ3 | 20.47 \pm 1.01 c | 0.77 \pm 0.02 b | 0.23 \pm 0.01 c | -1.34 \pm 0.11 c | 3.58 \pm 0.08 b | 6.81 \pm 0.71 c | 0.40 \pm 0.04 c | 0.28 \pm 0.03 b | (-0.22) \pm 0.05 a | 0.76 \pm 0.09 b |
| CeQ4 | 17.66 \pm 1.5 d | 0.73 \pm 0.18 b | 0.31 \pm 0.01 d | -0.76 \pm 0.57 d | 3.94 \pm 0.70 b | 10.37 \pm 0.25 d | 0.52 \pm 0.05 b | 0.30 \pm 0.08 a | (-0.16) \pm 0.02 c | 1.66 \pm 0.57 c |
| NoQ1 | 12.14 \pm 1.02 b | 0.45 \pm 0.04 a | 0.39 \pm 0.07 b | -0.5 \pm 0.43 b | 2.09 \pm 0.33 a | 7.14 \pm 0.47 c | 0.52 \pm 0.11 b | 0.31 \pm 0.03 a | (-0.50) \pm 0.16 d | 1.14 \pm 0.29 d |
| NoQ2 | 21.43 \pm 1.58 c | 0.49 \pm 0.04 a | 0.35 \pm 0.08 b | -1.05 \pm 0.52 d | 3.59 \pm 0.30 b | 16.61 \pm 0.15 a | 0.56 \pm 0.03 b | 0.30 \pm 0.01 a | (-0.34) \pm 0.05 e | 2.78 \pm 0.01 e |
| NoQ3 | 36.15 \pm 1.25 e | 0.71 \pm 0.11 b | 0.38 \pm 0.04 b | -0.53 \pm 0.27 b | 9.78 \pm 1.63 c | 9.69 \pm 0.77 e | 0.56 \pm 0.13 b | 0.30 \pm 0.04 a | (-0.64) \pm 0.31 f | 1.65 \pm 0.60 c |
| NoQ4 | 28.39 \pm 1.02 f | 0.40 \pm 0.01 a | 0.37 \pm 0.03 b | -0.75 \pm 0.34 d | 4.27 \pm 0.49 b | 10.47 \pm 0.72 d | 0.47 \pm 0.03 d | 0.33 \pm 0.03 a | (-0.35) \pm 0.07 a | 1.59 \pm 0.15 c |
| Intervalo: | [9.93 - 36.15] | [0.36 - 0.77] | [0.23 - 0.47] | [(-1.34) - (-0.12)] | [1.64 - 9.78] | [6.81 - 17.0] | [0.34 - 0.57] | [0.28 - 0.36] | [(-0.64) - (-0.16)] | [0.76 - 2.78] |

Medias con letras diferentes en columnas presentan diferencias significativas entre quesos ($P \leq 0.05$)

7.2.5 Análisis reológico

El comportamiento viscoelástico de los quesos se obtuvo por barridos de amplitud, por mediciones dinámicas oscilatorias. Se determinó la variaciones del módulo de almacenamiento G' , del módulo de pérdida G'' y del factor de cedencia ($\tan \delta$), con respecto al porcentaje de deformación (γ) (ver tabla 7.4). En todos los casos, $G' > G''$, esto se traduce en un carácter viscoelástico predominantemente sólido (Liu et al., 2008).

En ambos parámetros, la región viscoelástica lineal está en intervalo $\gamma < 1\%$, zona en que la matriz del queso es estructurada, por no modificar su estructura (Veléz, 2005). A valores de $\gamma > 1\%$, existió una ruptura de los enlaces que mantienen rígida la estructura del queso, provocando un debilitamiento y algunas porciones empiezan a fluir.

Por otro lado, en cuanto a los valores del factor de cedencia, se observó que los quesos en ELI mostraron mayor estabilidad y resistencia a la deformación al aplicarle esfuerzos ($\tan \delta$), con respecto a Ese (ver gráfico 7a y 7b).

En resumen, ELI presenta menor humedad y mayor cantidad de proteínas y lípidos, que se traduce en mayor firmeza, Adhesividad, Resorteo (solo en Ce), cohesividad (sólo en No) y masticabilidad, con una mayor estructuración y resistencia ante la rupura al aplicar un esfuerzo, esto, con respecto a los quesos elaborados en Ese.

Gráfico 7 Factor de cedencia del Q.C.Ch. de todas las unidades de producción de las Zonas Norte y Centro a) Época de lluvias y b) Época de secas

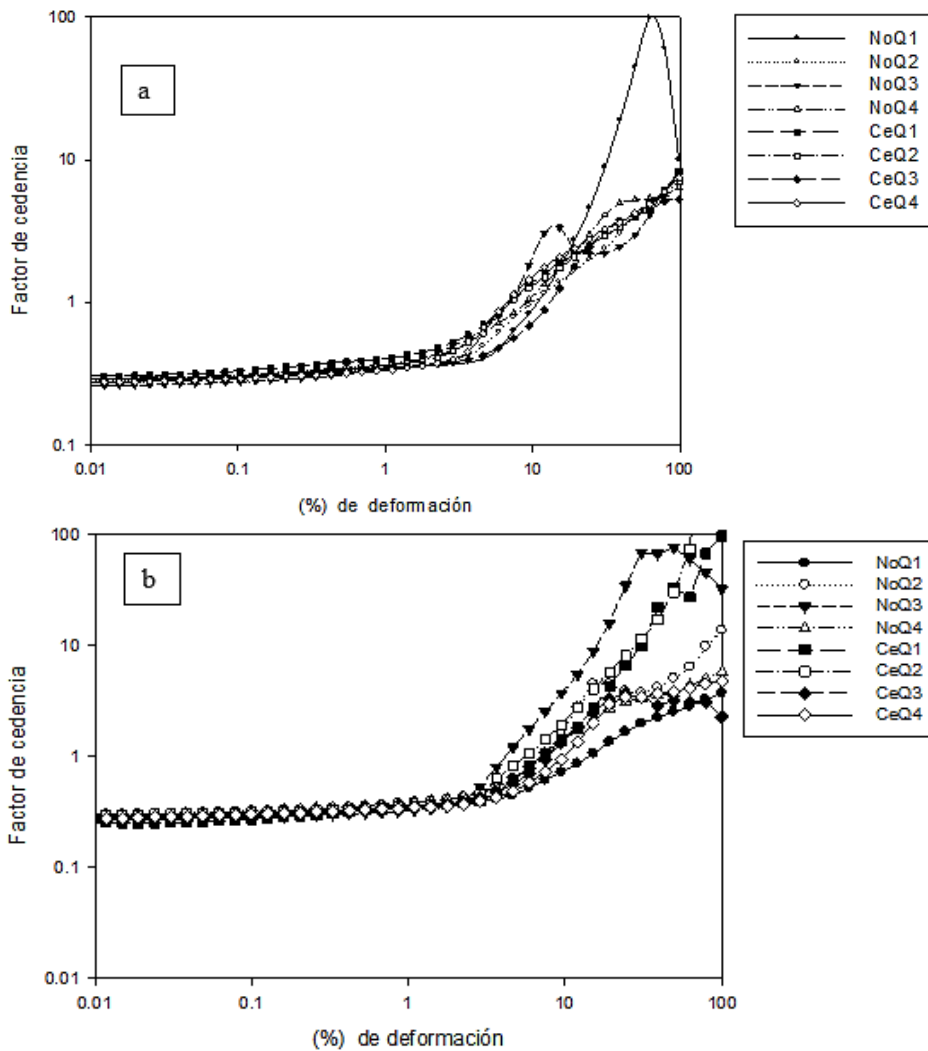


Tabla 7.4 Parámetros reológicos de los tratamientos del Queso Crema de Chiapas en las dos temporadas del año (Media ± desviación estándar)

| Q.C.Ch. | PARÁMETROS | | | | | | | |
|-------------|-------------------------------|-----------------|---------------|---------------|-------------------------------|---------------|---------------|----------------|
| | Lluvias | | | | Secas | | | |
| Tratamiento | Reología ($\mu \pm \sigma$) | | | | Reología ($\mu \pm \sigma$) | | | |
| Queso | G' (kPa) | G'' (kPa) | tan δ | G' = G'' | G' (Pa) | G'' (Pa) | tan δ | G' = G'' |
| CeQ1 | 34.58±2.0 a | 10.12±0.87 a | 0.33±0.01 a | 1.68±0.06 a | 47.35±1.35 a | 16.30±0.50 a | 0.28±0.01 a | 2.10±0.78 a |
| CeQ2 | 54.09±1.39 b | 10.13±0.02 a | 0.32±0.02 a | 5.17±0.33 b | 37.40±4.04 b | 9.50±0.53 b | 0.31±0.0 b | 6.13±0.97 b |
| CeQ3 | 39.25±4.59 c | 12.52±1.34 b | 0.34±0.02 b | 2.44±0.74 a | 35.03±1.16 b | 11.2±0.3 c | 0.61±0.04 c | 3.15±0.12 a |
| CeQ4 | 44.77±9.91 c | 14.28±3.82 b | 0.36±0.04 b | 3.89±0.29 c | 106±3.0 c | 14.5±1.51 a | 0.29±0.01 d | 8.55±0.83 c |
| NoQ1 | 39.44±2.18 c | 14.64±0.36 b | 0.37±0.01 b | 6.32±1.04 a | 25.25±0.45 d | 7.46±1.70 d | 0.33±0.01 b | 3.82±1.69 a |
| NoQ2 | 66.62±4.60 d | 20.93±0.26 c | 0.36±0.01 b | 7.05±0.25 d | 25.40±1.10 d | 11.51±2.74 c | 0.32±0.02 b | 2.76±2.22 a |
| NoQ3 | 70.30±6.56 d | 23.93±0.85 d | 0.36±0.02 b | 3.58±0.52 e | 84.97±12.45 e | 16±0.72 a | 0.28±0.01 a | 13.82±0.98 d |
| NoQ4 | 73.10±4.37 d | 25.81±2.08 e | 0.35±0.01 b | 4.39±0.11 f | 69.25±2.05 f | 15.6±0.30 a | 0.31±0.01 b | 12.58±0.13 d |
| Intervalo: | [34.58 - 73.10] | [10.12 - 25.81] | [0.32 - 0.37] | [1.68 - 7.05] | [25.25 - 106] | [7.46 - 16.3] | [0.28 - 0.61] | [2.10 - 13.82] |

Medias con letras diferentes en columnas presentan diferencias significativas entre quesos ($P \leq 0.05$); *(G' = G'') es el punto de coincidencia entre el módulo de almacenamiento y el módulo de pérdida

7.2.6 Efecto en las propiedades mecánicas en el Q.C.Ch. con respecto a la relación de macrocomponentes y el calcio

En el gráfico 7.1 se muestra las proporciones de los macrocomponentes y el calcio en cada queso de las distintas U.P.

En general, en Ese, los productores utilizan más % de calcio, que en ELL, quizá por la disminución de las macromolécula en la leche en esa época, ellos deciden adicionarlo para asegurar un mejor rendimiento, al grado que, aunque sea muy pequeña la diferencia, existe un efecto directo sobre la firmeza y G' , pues para la mayoría de las UP's, a mayor cantidad de calcio, mayor firmeza y G' y a la inversa, este comportamiento no resulta evidente en la ELL, quizá porque la cantidad de calcio agregado es menor.

Por otro lado, estudios han identificado que el decremento del contenido de grasa coincide con el decremento de la relación proteína-humedad y con el incremento de la dureza del queso y en consecuencia, que aumente la G' de la red del “relleno de gel” (Rogers, 2010 y Lobato, 2009).

En nuestra investigación no se controlaron las cantidades de grasa añadida, sin embargo, se observó por un lado, la relación del cociente proteína/humedad con respecto al contenido de grasa (ver tabla 6) y se determinó que para ambas épocas del año, existió una relación proporcional entre el % grasa con respecto a % (proteína/humedad), en términos generales, a valores bajos de grasa, el cociente también disminuyó y a la inversa, lo cual coincide los autores antes mencionados, sin embargo, hay quesos que no siguen del todo este patrón.

Adicionalmente, en gráfico 7.2, se muestra por un lado la relación y efecto de las magnitudes de las grasas, así como la relación y efecto de magnitudes de la relación proteína/humedad, influyen directamente sobre las propiedades reológicas del queso; si cualquiera de estos aumenta, también aumenta el módulo de almacenamiento (G') y a la inversa. Esto se observó, tanto en ELL, como en Ese

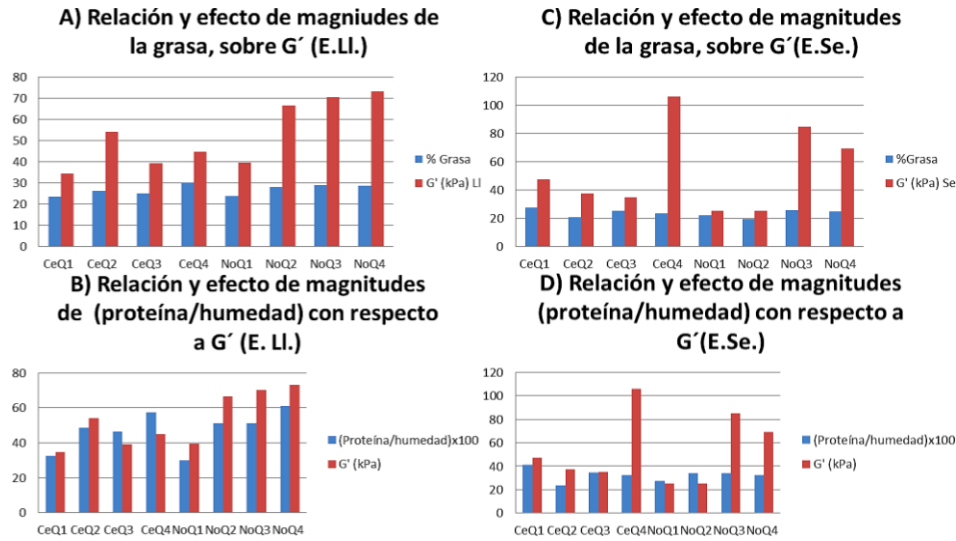
Gráfico 7.1 Variación de los macrocomponentes y del calcio en cada U.P. y su efecto sobre las propiedades mecánicas en el Q.C.Ch. a la izquierda, E.Ll. y a la derecha E.Se



Tabla 7.5 Relación proporcional entre el cociente Proteína/humedad con respecto a la cantidad de grasa del Q.C.Ch. en ambas épocas del año. A valores bajos de grasa, disminuyen los valores de proteína/humedad

| E.A. | E.Ll. | | E.Se. | |
|------|------------------|---------|------------------|--------|
| U.P. | Proteína/humedad | % Grasa | Proteína/humedad | %Grasa |
| CeQ1 | 0.33 | 23.61 | 0.41 | 27.65 |
| CeQ2 | 0.48 | 26.19 | 0.23 | 20.71 |
| CeQ3 | 0.46 | 25.21 | 0.34 | 25.33 |
| CeQ4 | 0.57 | 30.11 | 0.32 | 23.73 |
| NoQ1 | 0.30 | 23.7 | 0.27 | 21.96 |
| NoQ2 | 0.51 | 28.2 | 0.34 | 19.6 |
| NoQ3 | 0.51 | 28.88 | 0.34 | 25.6 |
| NoQ4 | 0.61 | 28.64 | 0.32 | 24.87 |

Gráfico 7.2 Relación de la grasa y del cociente proteína/humedad con el módulo de almacenamiento (G') en época de lluvias (A y B) y en época de secas (C y D)

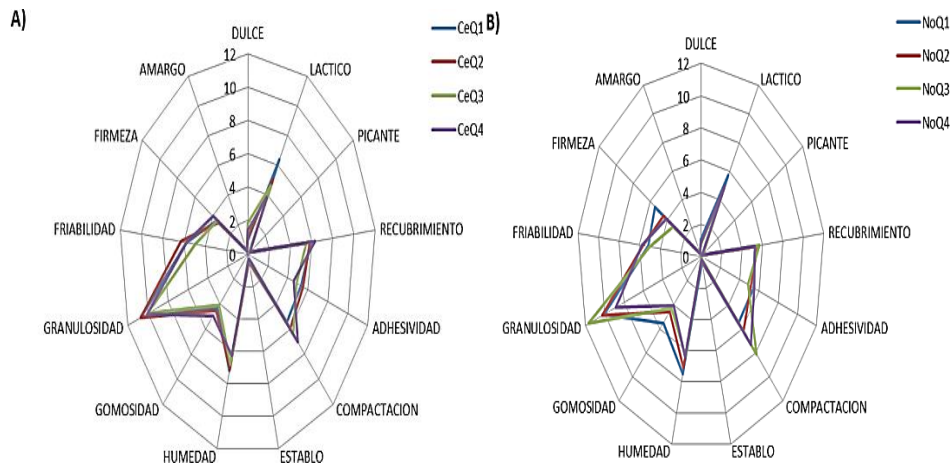


7.2.7 Evaluación sensorial

Los atributos obtenidos por jueces entrenados, son los siguientes: Apariencia: compactación, humedad y granulosis; textura en mano: friabilidad; textura en boca: Adhesividad, recubrimiento y firmeza; olor: picante y a establo; y finalmente el sabor: dulce, ácido láctico y amargo.

Análisis descriptivo cuantitativo (QDA). Análisis cualitativo descriptivo (ver Gráfico 7.3): Se realizó en época de lluvias, en ambas zonas y se obtuvo la “huella digital” de atributos del queso QCCh. Ambas zonas tienen el mismo patrón, sin embargo, como se ha mencionado, se hace evidente los matices que puede presentar cada UP, por diferencias de clima, suelo, alimentación del ganado, manufactura, entre otros, lo cual repercute sobre el balance de los componentes en la leche y en consecuencia, de los componentes finales del queso; considerando todo el proceso de elaboración, desde la recepción de la leche, hasta el producto terminado.

Gráfico 7.3 Perfiles descriptivos del queso crema de Chiapas en: (A) Zona Centro y (B) Zona. Norte. Esto se llevó a cabo en época de lluvias



En este mismo sentido se realizó el análisis de componentes principales de los descriptores determinados por jueces entrenados (Ver gráfico 7.4), donde los dos primeros componentes principales (CP) explicaron 59 % de variabilidad de los quesos; donde CP1, explicó 37 % y se correlacionó positivamente con: compactación, olor picante y con sensación de recubrimiento; y de forma negativa con la humedad, el sabor a ácido láctico, la adhesividad en boca y en menor grado con el olor a establo y la firmeza; mientras que CP2, explicó 22 % de la variabilidad y no hubo correlación positiva con ningún atributo, pero sí negativamente con textura en mano, friabilidad, textura en boca y con el recubrimiento; en esta misma figura, se muestra que los atributos de recubrimiento (textura en boca) y olor picante, se correlacionaron principalmente con el queso CeQ3 y en menor grado con el queso CeQ4; por otro lado, olor a establo, la friabilidad (textura en mano), la gomosidad (textura en boca) y la humedad (apariencia), se correlacionaron con el queso CeQ1 principalmente; y en menor grado con el CeQ2; de manera análoga, los descriptores de firmeza y adhesividad (textura en boca), el sabor a ácido láctico, la humedad (apariencia) y el sabor amargo se correlacionaron con NoQ2 principalmente y en menor grado con el NoQ1; y finalmente, la compactación (apariencia) y el sabor amargo con la NoQ4 principalmente y en menor grado con la NoQ3.

7.2.8 Prueba de aceptabilidad sensorial del Q.C.Ch

En las pruebas de aceptabilidad, en términos generales se determinó en la mayoría de los atributos, no hubo diferencia sensorial; los atributos que sí detectaron diferencia, fueron: humedad (apariencia) y el sabor amargo, donde se presentó mayor variación fue en la Ce., ya que en la No. fue muy homogénea.

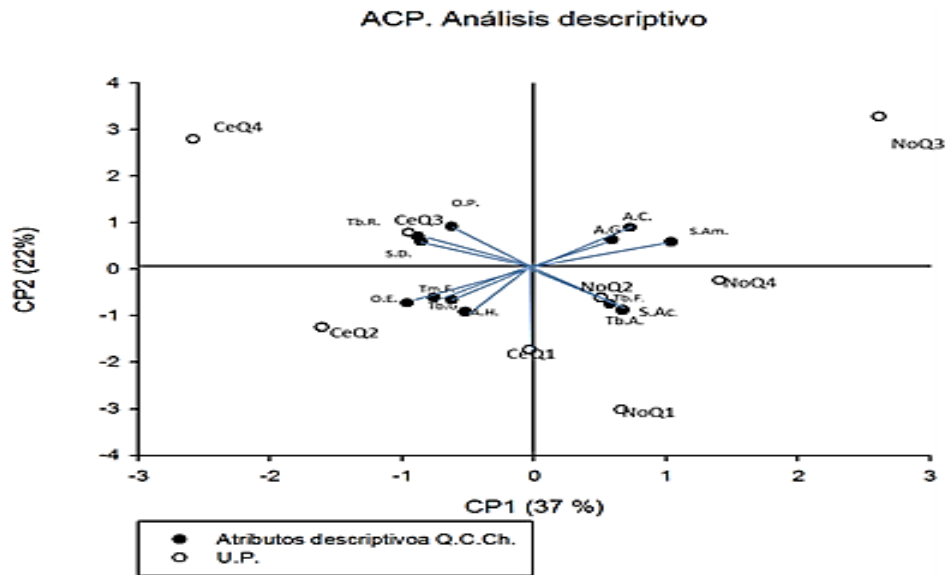
7.2.8.1 Correlación de los atributos de aceptabilidad, con respecto a la aceptabilidad global del consumidor en cada queso

En el gráfico 7.5, se muestra el análisis de regresión de cuadrados mínimos parciales 1 (RCMP 1) o PLS 1 en inglés, (Vega. 2010) en ella se describen los efectos de los resultados del análisis de aceptabilidad de cada uno de sus atributos (variable X), sobre la aceptabilidad global del consumidor (variable Y), las variables que explican que el queso sea aceptado fueron los sabores dulce, amargo y ácido, donde los dos primeros CP explicaron el 90% de la variación en la aceptación global, (CP1 83 % y CP2 7%); por el contrario las variables que explican la no aceptación del queso, fueron gomosidad y firmeza (CP1:-0.488 y CP2:0.275); ya que estos, mostraron el sentido contrario con respecto al vector de aceptabilidad global; los quesos que con mayor cercanía con estos atributos, fueron los de las queserías CeQ1 y CeQ2 con la gomosidad y los quesos NoQ4 y CeQ4 lo hicieron, tanto como con la gomosidad, como con la firmeza; y finalmente el queso NoQ2, quien únicamente lo hizo débilmente con la firmeza.

Al parecer la quesería NoQ3 sería considerada de aceptabilidad media, sin destacar alguna correlación. El queso NoQ1, está fuertemente relacionada al olor picante, a la sensación de recubrimiento (textura en boca) y a la friabilidad (textura en mano).

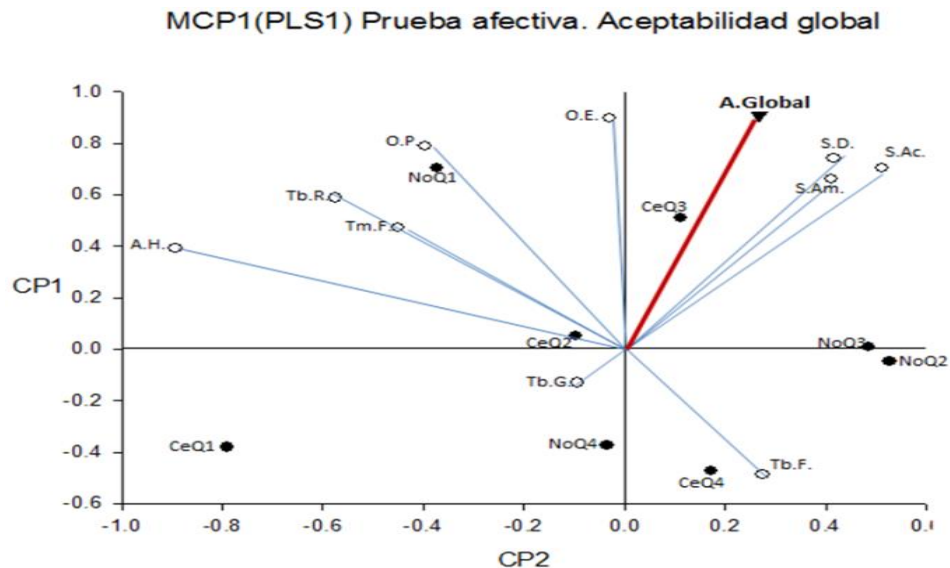
En cuanto a la aceptabilidad global, como mencionábamos. Anteriormente, esta se relacionó fuertemente y de manera positiva, con la aceptabilidad de los sabores dulce (CP1:0.740 y CP2:0.416), amargo (CP1:0.660 y CP2:0.412) y láctico (CP1:0.703 y CP2:0.513), y también, aunque en menor grado, con el olor a establo, el cual, muy probablemente evocó al queso, como un producto campirano y tradicional. La quesería que correspondió con estos atributos fue la CeQ3

Gráfico 7.4 Análisis de componentes principales de los descriptores determinados por los jueces entrenados en cada uno de los quesos de ambas zonas durante la época de lluvias



Nomenclatura: Apariencia: (Compactación = A.C., humedad = A.H., granulosidad = A.G.), textura en mano (friabilidad = Tm.F.), textura en boca (adhesividad = Tb.A., recubrimiento = Tb.R., gomosidad = Tb.G, firmeza = Tb.F.), olor (picante = O.P., estable = O.E.) y sabor (dulce = S.D., ácido láctico = S.Ac. y amargo = S.Am.)

Gráfico 7.5 Correlación de cada atributo en la prueba de aceptabilidad, con respecto a la aceptabilidad global del consumidor en cada U.P.



Mínimos Cuadrados Parciales: ● U.P. (puntuaciones), ○ Atributos (cargas) y ▼ Aceptabilidad global (vector resultante).
Nomenclatura: Apariencia (humedad=A.H., textura en mano (friabilidad=Tm.F.), textura en boca (recubrimiento=Tb.R., gomosidad=Tb.G, firmeza=Tb.F.), olor (picante=O.P., estable= O.E.), sabor (dule=S.D., ácido láctico=S.Ac. y amargo=S.Am) y aceptabilidad global = A.Global.

7.2.9 Análisis microbiológicos del queso

Los productores mostraron capacidad para mantener sus productos en condiciones higiénicamente favorables; ya que en ELL, nadie mostró contaminación por coliformes, sin embargo, en Ese, fueron varias unidades de producción las que disminuyeron sus controles en sus procedimientos a lo largo del tiempo, tal que las queserías Ce (Q2 y Q4) y No (Q2, Q3 y Q4) contaran con presencia de coliformes. Se observó que debido a los elevados rangos de la actividad acuosa en el momento del estudio que oscilaron entre los 0.92 a 0.98 y a pesar de los bajos pH's, (3.79 a 4.58), se determinó que no es suficiente para evitar la presencia de microorganismos patógenos, lo que implica que la inocuidad del alimento, estará en función desde las buenas prácticas agrícolas (BPA) y las buenas prácticas de manufactura (BPM) y es necesario la capacitación en este sentido para resolver este inconveniente.

7.2.10 Atributos de tipicidad

El QCCh se caracterizó por tener una elevada granulosis y humedad, mediana friabilidad, compactación, adhesividad, recubrimiento y sabor láctico; con una gomosis y firmeza bajas; con apenas notas de sabor dulce y amargo; y con tenues aromas a establo y picante; es ligeramente amarillo. El intervalo de humedad fue [58.77 - 68.68] % (expresada en Humedad Sin Materia Grasa); ubicándolo en: “semiblandos”, aunque el QCCh, región costa, entra en “semiduros o firmes”. Por su contenido de grasa, expresado en Grasa en el Extracto Seco-, se clasifica como queso “extragrasso”, por contener valores en el intervalo de [47.76 - 51.09] % y con una importante presencia de proteína [13.06 – 26.38] %. Dicho queso ha sido desmineralizado, por lo que no es una fuente que aporte calcio, pero que sí hace un aporte importante de sodio. Tanto estas descripciones, como las sensoriales, otorgan al queso una identidad, lo que permite contribuir en la descripción de su tipicidad. A partir de un trabajo colectivo, se tiene una descripción detallada sobre las condiciones actuales del sistema producto: Queso Crema de Chiapas. Fortalezas: Se tiene un producto aceptado por los consumidores, muy nutritivo y con elevado aporte calórico. Oportunidades de mejora: deficiencia en el rubro sanitario y baja infraestructura tecnológica.

7.3 Conclusiones

Se determinaron los cambios en las propiedades fisicoquímicas, viscoelásticas y sensoriales del Queso Crema de Chiapas, en relación a la composición de la leche utilizada, al proceso de elaboración de cada quesería en dos zonas y dos épocas el año. Se compararon los quesos provenientes de distintas queserías, de dos zonas de producción de Chiapas. Considerando que en cada lugar, las condiciones ambientales no son iguales (temperatura y humedad relativa), existen diferencias, tanto en la composición de sus leches, las combinaciones en todas y cada una de las operaciones durante el proceso de elaboración del queso, todas y cada una de estas diferencias, incluyendo la de la composición de los quesos, repercutieron en cada uno de las magnitudes de los parámetros fisicoquímicos, viscoelásticos y sensoriales en dos épocas del año. Sin embargo, estas diferencias, son sólo matices distintivos de cada UP, pues en general, sus parámetros fisicoquímico, comportamientos mecánicos y atributos sensoriales, obedecen a tendencias que pueden considerarse como “huellas dactilares” del producto en cuestión, por lo que se logró caracterizar al Queso Crema de Chiapas en relación a su composición, propiedades texturales, reológicas, microbiológicas y sensoriales, lo cual permitirá proveer información a los productores, con objeto de evidenciar elementos que contribuyan en la optimización de los procesos de sanidad y calidad del producto, tipificar de acuerdo a las características estudiadas y brindar elementos para explotar los atributos de valor detectados y así poder gestionar una protección jurídico comercial, marca colectiva o denominación de origen

7.4 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, a la Asociación de Procesadores de Queso Crema Chiapas, S.P.R. de R.L., representada por Sr. Efraín Prado (Quesería “San Juan”), líder de la asociación, quien brindó todo su interés y apoyo para bien de la investigación.

A los representantes de las queserías: Alfonso Mendosa (Quesería “San Bartolo”), Sebastián Cortázar (Quesería “Seyry”), Francisco Trejo (Quesería “Diprolac”), Alfredo Aguilar Pérez (Quesería “La neblina”), Beatriz Zenteno Urbina y Joel Zenteno (Quesería “Real de Moctezuma”), Daniel Zenteno Zenteno (Quesería “Zenteno”), Manuel Solís (Quesería “El mapache”), a Hernán Corso Jiménez y Luis Corso (Quesería “Santa Elena”) y a Doña Fancisa Mendoza (Quesería “La orquídea”); a todos ellos, junto con todo su personal, muchas gracias por la dedicación.

A la Universidad Autónoma Chapingo, personal e instalaciones y apoyo brindado. Este estudio fue realizado con un equipo integral de estudiantes de posgrado: Jasmin Enriquez, Carla Samanta, donde Pilar Corchado, Alejandro Suárez y Gustavo Serrano proporcionaron trabajo y datos experimentales; la asesoría de profesores: Eleazar Aguirre, Armando Santos, Arturo Hernández y Abraham Villegas.

7.5 Referencias

- Álvarez – Macías, F. Boucher, F. Cervantes E., A. Espinosa O. 2009. Agroindustria rural y territorio, Tomo II. Nuevas tendencias en el análisis de la lechería. UAEM-UAM_X-Ciestam. México
- Cenzano S., 1992. Los Quesos. Edit. Mundi-Prensa Libros, S.A. Madrid.
- Fick, K.,R., Mc Dowell L.,R., Miles H., P., Wilkinson S.,N., Funk J., D., y Conred J., H. 1979. Methods of mineral analysis for plant and animal tissues. Segunda edición. Departamento de Ciencia Animal, Universidad de Florida Gainesville. Florida. EUA.
- Godfrey T. 1996 .Industrial enzymology (second edition), Stuart West. EE.U.U. pp. 46-58.
- Hernández M., C. 2007, caracterización de queso añejo de Zacazonapan, Estado de México.UACH, México. Tesis de Maestría. UACH. Chapingo, Estado de México.
- Lawson J., J. Madrigal y J. Erjavec. 1992. Estrategias experimentales para el mejoramiento de la calidad en la Industria. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. México D.F. pp. 295 – 297
- Liu H., Xu X., M. y Guo S., D. 2008. Comparison of full-fat and low-fat cheese analogues with or without pectin gel through microstructure, texture, rheology, thermal and sensory analysis. International Journal of Food Science and Technology. 43: 1581 -1592.
- Lobato C., 2009. Texture and microestructure of low-fat and low cholesterol panela type cheeses: different methodologies. Departamento de Preparatoria Agrícola y Departamento de Ingeniería Agroindustrial.UACH. Ingeniería Agrícola y biosistemas. Vol. 1, No. 1. Pp. 39-48
- Martínez G., A. 1992. Experimentación agrícola. Métodos estadísticos. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 64 – 66.

Roser R. S., J. Mestres L. 2004. Tecnología. Productos lácteos. Edicions UPC.

Vega V. J. y J. Guzmán. 2010. Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones. Regresión PLS y PCA como solución al problema de multicolinealidad en regresión múltiple. 18(1): 9–20.

Veléz – Ruiz, J.F., González – Tomás, L., y Costell, E. 2005, Rheology of dairy custard model systems: Influence of milk and hydrocolloid type. European Food Research and Technology, 221, 342 – 347

Influencia del contenido de humedad en la composición iónica de sedimentos lacustres

PÉREZ-DÍAZ, José Pedro, ORTEGA-ESCOBAR, Héctor Manuel, RAMÍREZ-AYALA, Carlos, FLORES-MAGDALENO, Héctor, SÁNCHEZ-BERNAL, Edgar Iván, MANCILLA-VILLA, Oscar Raúl y CAN-CHULIM, Álvaro

J. Pérez¹, H. Ortega², C. Ramírez³, H. Flores⁴, E. Sánchez⁵, O. Mancilla⁶ y Á. Can⁷

¹Colegio de Postgraduados, Carr. México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Edo. de México, C.P. 56230

²Instituto de Ecología, Universidad del Mar Campus Puerto Ángel, Pochutla, Oaxaca, México. C.P. 70902

³Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de la Costa Sur, Universidad de Guadalajara. Av. Independencia Nacional 151. Autlán de Navarro, Jal. México. C.P. 48900

⁴Unidad Académica de Agricultura, Universidad Autónoma de Nayarit. Carretera Tepic-Compostela Km. 9. Xalisco, Nayarit, México. C.P. 63780

josepedro.perez@colpos.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

In this study the chemical composition of lacustrine sediments was determined in the crater lake La Alberca, located in Valle de Santiago, Guanajuato. To carry out this study, samples of lacustrine sediments were collected with an auger to one meter deep during spring of 2015. The objective was to know the concentration of the major ions in the sediment extract. Analysis of the results shows that the moisture content influenced in the total salinity, the pH and in the change of type of salinity from NaHCO_3 to Na_2SO_4 . Changes in the alkalinity, salinity, and the volume reduction were attributed to moisture loss due to evaporation.

8 Introducción

Las zonas lacustres son regiones donde han existido lagos, que por razones climáticas y actividad humana tienen estados avanzados de desecación. La mayoría de estas zonas se encuentra con diferente grado de afectación por salinidad, misma que está relacionada con variables climáticas como temperatura y precipitación. Los sedimentos del ex-lago de Texcoco presentan altos niveles de salinidad (Pérez-Díaz *et al.*, 2013) al igual que en este trabajo, sin embargo, es necesario señalar que el tipo de sales y su concentración dependen del contenido de humedad; en ese sentido Mancilla-Villa *et al.* (2014) demostraron que la evaporación favorece la concentración de las soluciones, mientras que la precipitación diluye la concentración de la salinidad. Por lo tanto, las regiones con escasa precipitación pluvial (las zonas áridas y semiáridas) estarán mayormente afectadas por la concentración de sales en la superficie (Kovda 1973).

Los problemas de salinidad generalmente se estudian desde una perspectiva agronómica debido a que influyen negativamente en la producción de cultivos (Richards *et al.*, 1982), en este estudio la perspectiva es, fundamentalmente, geoquímica.

Se trata de una investigación con enfoque cuantitativo, de alcance descriptivo, comparativo y correlacional (Hernández-Sampieri *et al.*, 2014) cuya hipótesis plantea que el contenido de humedad influye en la composición química de los sedimentos; el objetivo fue conocer la composición iónica del extracto de saturación de los sedimentos secos a la intemperie y tamizados y, sin secar ni tamizar; las muestras provienen del lago cráter La Alberca que se encuentra en Valle de Santiago, el cual presenta un alto grado de salinidad y está prácticamente seco. Se observó que el contenido de humedad influyó en la composición iónica de los sedimentos así como en la alcalinidad de los mismos.

8.1 Metodología

El cráter La Alberca se encuentra en Valle de Santiago, Guanajuato (20°23'23.19'' N, 101°12'5.19'' O; 1690 msnm); en éste se perforó un pozo con una barrena y se obtuvieron sedimentos cada diez centímetros hasta una profundidad de un metro. Los sedimentos se colectaron e identificaron en doble bolsa de polietileno negro para evitar la pérdida de humedad. Dada la naturaleza destructiva del muestreo, éste se realizó en una sola etapa sin repeticiones durante la primavera de 2015. Las muestras fueron divididas en dos partes: a una de ellas en su estado natural, se le determinó su contenido de humedad y, fueron saturados 500 g. de sedimento con agua destilada, se dejaron en reposo durante 24 horas para medir la humedad en saturación, posteriormente, mediante un sistema de filtración al vacío se extrajo el lixiviado. La otra parte fue secada a la intemperie, luego, molida y tamizada se determinó la humedad, se saturaron 400 g. de sedimento con agua destilada y se dejaron reposar 24 horas para medir la humedad en saturación, luego, con el sistema de filtración al vacío se extrajo el lixiviado. El pH, sólidos totales (ST), cationes y aniones, se midieron en el lixiviado extraído de los sedimentos (Richards *et al.*, 1982).

Tabla 8 Metodología para el análisis del lixiviado de los sedimentos

| Determinación | Unidad | Método | Referencia |
|-------------------------------|----------------------------------|---|---|
| Humedad | % | Gravimétrico | Richards <i>et al.</i> , 1982;
Eaton <i>et al.</i> , 1998. |
| pH | | Potenciómetro | |
| ST | % | Gravimétrico | |
| Ca ²⁺ | meq/100 g. de sedimento | Titulación con EDTA | |
| Mg ²⁺ | | Flamometría | |
| Na ⁺ | | | |
| K ⁺ | | Titulación con H ₂ SO ₄ | |
| CO ₃ ²⁻ | | | |
| HCO ₃ ⁻ | Titulación con AgNO ₃ | | |
| Cl ⁻ | | | |
| SO ₄ ²⁻ | Turbidimétrico | | |

Fuente: Elaboración propia de la investigación

Se calcularon los estadísticos descriptivos de las variables (mínimo, máximo, promedio, desviación estándar y coeficiente de variación) así como la relación entre humedad, pH, ST, cationes y aniones mediante el coeficiente de correlación de Spearman. El análisis estadístico de las variables se realizó con el programa IBM SPSS® Statistics versión 22.0.

8.2 Resultados y discusión

8.2.1 Análisis de los resultados obtenidos en los sedimentos con humedad natural

En la Tabla 8.1 se muestran los resultados del contenido de humedad de los sedimentos, se observa que tienen elevado contenido de humedad, el valor mínimo de humedad corresponde a la capa superficial a 10 cm. de profundidad, y el máximo se presentó a un metro de profundidad, estos valores se explican por la mayor pérdida de humedad en la superficie por evaporación. Debido al elevado contenido de humedad se requirió agregar poca agua destilada para obtener el punto de saturación de los sedimentos; una vez que se saturaron se midió su volumen, posteriormente fueron secados a 105° C y se midió su volumen nuevamente, la diferencia entre estas dos mediciones indicó la pérdida de volumen atribuida a la pérdida de humedad por evaporación; en este sentido, la pérdida de humedad inducida provocó la reducción de volumen y endurecimiento de los mismos, este fenómeno explicaría el hundimiento y agrietamiento observado en el cráter. Los sedimentos expuestos a la intemperie tuvieron muy bajo contenido de humedad. La pérdida total de humedad se calculó mediante la diferencia entre la humedad natural y la humedad después de desecación, los resultados mostraron que la pérdida de humedad fue muy grande y provocó endurecimiento y reducción de volumen de la masa de sedimentos expuestos. Con respecto a la variación de cada una de las variables medidas, de acuerdo con los valores del coeficiente de variación, se consideró que fue baja.

Tabla 8.1 Estadísticos descriptivos de las variables humedad y volumen

| | Mínimo | Máximo | Promedio | Desviación estándar | CV |
|---|--------|--------|----------|---------------------|-------|
| Humedad natural (%) | 109.54 | 383.3 | 303.82 | 93.23 | 30.68 |
| Humedad en saturación (%) | 164.47 | 422.54 | 355.40 | 85.49 | 24.05 |
| Volumen en saturación (cm ³) | 114.83 | 147.98 | 127.32 | 13.77 | 10.81 |
| Volumen en seco a 105 °C (cm ³) | 37.41 | 69.46 | 53.61 | 8.94 | 16.67 |
| Pérdida de volumen (cm ³) | 53.57 | 103.45 | 73.70 | 17.09 | 23.18 |
| Humedad seco al aire (%) | 4.53 | 7.95 | 6.82 | 1.04 | 15.24 |
| Pérdida de humedad (%) | 105.01 | 376.48 | 297 | 92.42 | 31.11 |

Fuente: Elaboración propia de la investigación

Para observar la relación entre algunas de las variables, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman (Tabla 8.2). Los valores positivos del coeficiente de correlación indican que las variables relacionadas crecen o decrecen simultáneamente, mientras que los valores negativos indican que cuando el valor de una variable crece la otra disminuye (García-Cué *et al.*, 2007) de manera que la pérdida de volumen y el endurecimiento de los sedimentos se atribuyeron a la pérdida de humedad por evaporación (Figura 8).

Tabla 8.2 Coeficientes de correlación de Spearman

| | Humedad natural | Humedad en saturación | Volumen en saturación | Volumen en seco a 105 °C |
|-----------------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| Humedad en saturación | 1.0** | | | |
| Pérdida de humedad | 1.0** | 1.0** | | |
| Pérdida de volumen | | | 0.67** | -0.62* |

Fuente: Elaboración propia de la investigación; $\alpha=0.05$

Figura 8 Pérdida de volumen de los sedimentos expuestos a desecación a 105° C



Fuente: Elaboración propia de la investigación

La composición iónica de los sedimentos (Tabla 7.3) muestra que el coeficiente de variación es medio, dicha variación se explica debido a que la distribución de los iones en el perfil es heterogénea. El pH y la salinidad total (ST) mostraron coeficiente de variación bajo, ello indica que la alcalinidad en el perfil es más o menos homogénea al igual que la salinidad total; en este sentido, se trata de sedimentos salino-alcalinos (Kovda 1973).

La composición de los sedimentos con respecto de los iones mayoritarios, considerando el promedio, indica la siguiente secuencia de concentración de cationes y aniones: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} = \text{Ca}^{2+}$; $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^-$. De acuerdo con estas secuencias puede deducirse que la sal predominante en los sedimentos es bicarbonato de sodio (NaHCO_3).

Tabla 8.3 Estadísticos descriptivos de la composición iónica del extracto de saturación de los sedimentos

| | pH | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | ST |
|---------------------|------|---------------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------|
| | | meq / 100 g. de sedimento | | | | | | | | |
| Mínimo | 8.97 | 0.005 | 0.002 | 1.479 | 0.131 | 0.310 | 0.740 | 0.237 | 0.272 | 2.58 |
| Máximo | 9.33 | 0.015 | 0.020 | 5.555 | 0.684 | 1.091 | 1.488 | 0.750 | 1.309 | 4.34 |
| Promedio | 9.07 | 0.008 | 0.008 | 2.303 | 0.228 | 0.475 | 1.013 | 0.468 | 0.669 | 2.93 |
| Desviación estándar | 0.10 | 0.002 | 0.005 | 1.205 | 0.167 | 0.226 | 0.234 | 0.170 | 0.368 | 0.51 |
| CV | 1.10 | 25 | 62.5 | 52.32 | 35.15 | 47.57 | 23.09 | 36.32 | 55.00 | 17.40 |

Fuente: Elaboración propia de la investigación

El agua del cráter La Alberca fue estudiada por Orozco y Madianaveitia (1941); ellos encontraron alta alcalinidad y, salinidad elevada cuya dominancia fue $\text{Na}_2\text{CO}_3 > \text{NaHCO}_3 > \text{NaCl} > \text{Na}_2\text{SO}_4$. La suma de los iones encontrados fue igual a 8.0695 g L^{-1} y, la CE estimada a partir de los datos reportados por los autores fue de $12.6086 \text{ dS m}^{-1}$. Por lo cual, algunas características del agua que contenía el cráter están en correspondencia con las de sus sedimentos. Para observar la influencia de la humedad en la composición iónica de los sedimentos, se determinó el coeficiente de correlación de Spearman (Tabla 8.4). El contenido de humedad influyó en algunas variables, afectó el contenido de Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} y ST. El coeficiente de correlación de Spearman indica que el incremento en el contenido de humedad disminuyó la concentración de Mg^{2+} , K^+ , SO_4^{2-} y ST, ello se explica por el factor de dilución, y en caso que ocurra la disminución en el contenido de humedad quedan en solución las sales de mayor solubilidad. Se observa que la humedad no afectó la concentración de Ca^{2+} , Na^+ , CO_3^{2-} y Cl^- ; en el caso del Na^+ y el Cl^- se debe a que forman cloruro de sodio (NaCl) y ésta es una sal de alta solubilidad que se encuentra aún a bajos niveles de humedad lo mismo que en humedad elevada; con respecto al Ca^{2+} y CO_3^{2-} forman la sal de CaCO_3 y esta es de muy baja solubilidad (0.0131 g L^{-1}) y no se encontró como principal componente en los sedimentos. La concentración de HCO_3^- , de acuerdo con el coeficiente de correlación de Spearman, incrementa o disminuye conforme exista mayor o menor contenido de humedad.

Tabla 8.4 Influencia del contenido de humedad en la composición iónica de los sedimentos

| | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | CO ₃ ²⁻ | HCO ₃ ⁻ | Cl ⁻ | SO ₄ ²⁻ | ST |
|-------|------------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------|
| H Nat | 0.383 | -0.730* | 0.006 | -0.638* | 0.324 | 0.954** | 0.123 | -0.782** | -0.770** |
| H Sat | 0.383 | -0.730* | 0.006 | -0.638* | 0.324 | 0.954** | 0.123 | -0.782** | -0.770** |

Fuente: Elaboración propia de la investigación; $\alpha=0.05$

8.2.2 Análisis de los resultados obtenidos en los sedimentos secos a la intemperie

Dado que se observó que el contenido de humedad influyó en la concentración y composición de los sedimentos, en la Tabla 8.5 se muestran los estadísticos descriptivos de la humedad en los sedimentos expuestos a desecación a la intemperie.

Tabla 8.5 Contenido de humedad y volumen en los sedimentos secos a la intemperie

| | Mínimo | Máximo | Promedio | Desviación estándar | CV |
|---|--------|--------|----------|---------------------|-------|
| Humedad en saturación (%) | 96.81 | 186.29 | 156.88 | 31.13 | 19.84 |
| Volumen en saturación (cm ³) | 105.68 | 117.56 | 110.06 | 3.85 | 3.49 |
| Volumen en seco a 105 °C (cm ³) | 87.03 | 95.03 | 90.90 | 2.12 | 2.33 |
| Pérdida de volumen (cm ³) | 14.57 | 19.46 | 17.36 | 1.76 | 10.13 |

Fuente: Elaboración propia de la investigación

El promedio de la humedad en saturación de los sedimentos secos a la intemperie fue menor que la de los sedimentos saturados con humedad natural. El volumen en seco a 105 °C de los sedimentos secos fue mayor con respecto de los sedimentos con humedad natural, mientras que la pérdida de volumen en los sedimentos secos fue menor que la de los que conservaron su humedad natural. Ello indica que la pérdida de humedad fue irreversible.

En la Tabla 8.6 se reportan los estadísticos descriptivos de la composición iónica de los sedimentos secos a la intemperie, el pH fue altamente alcalino, la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} fue muy baja, el Na^+ predomina sobre los demás cationes; con respecto a los aniones, la mayor concentración corresponde al SO_4^{2-} y, la salinidad total fue en promedio de 8.8%. El coeficiente de variación fue bajo, excepto en el Cl^- debido a su distribución heterogénea en el perfil.

Tabla 8.6 Estadísticos descriptivos de la composición iónica de los sedimentos secos a la intemperie

| | pH | Ca^{2+} | Mg^{2+} | Na^+ | K^+ | CO_3^{2-} | Cl^- | SO_4^{2-} | ST |
|---------------------|-------|---------------------------|------------------|---------------|--------------|--------------------|---------------|--------------------|-------|
| | | meq / 100 g. de sedimento | | | | | | | |
| Mínimo | 9.76 | 0.02 | 0.02 | 45.58 | 3.40 | 9.03 | 4.14 | 21.80 | 7.65 |
| Máximo | 10.14 | 0.03 | 0.03 | 94.25 | 6.34 | 21.76 | 25.35 | 33.79 | 11.22 |
| Promedio | 10.02 | 0.01 | 0.01 | 70.61 | 4.93 | 16.31 | 14.40 | 30.12 | 8.81 |
| Desviación estándar | 0.13 | 0.003 | 0.003 | 13.70 | 0.81 | 3.99 | 8.58 | 3.60 | 1.11 |
| CV | 1.29 | 30 | 30 | 19.40 | 16.43 | 24.46 | 59.58 | 11.95 | 12.59 |

Fuente: Elaboración propia de la investigación

El cráter La Alberca se encuentra seco, Alcocer *et al.* (2000) atribuyeron el estado de desecación a la extracción de agua subterránea y a la desviación de flujos de agua para la irrigación. Debido a que la desecación de los sedimentos indujo algunos cambios en la composición iónica de los mismos, se realizó la determinación del coeficiente de correlación de Spearman (Tabla 8.7) para observar la influencia del contenido de humedad en saturación; la desecación y rehidratación provocó la alcalinización (incremento en el pH) de los sedimentos.

Tabla 8.7 Influencia del contenido de humedad en la composición iónica de los sedimentos secos a la intemperie

| | pH | Ca^{2+} | Mg^{2+} | Na^+ | CO_3^{2-} | Cl^- |
|--------|--------|------------------|------------------|---------------|--------------------|---------------|
| HSSSat | 0.83** | -0.64* | -0.64* | 0.74* | 0.90** | 0.65* |

Fuente: Elaboración propia de la investigación; $\alpha=0.05$

El coeficiente de correlación de Spearman indica que a mayor contenido de humedad en saturación mayor valor de pH. La pérdida de humedad provoca la precipitación de Na_2CO_3 , el coeficiente de Spearman indica que la rehidratación de los sedimentos solubiliza parte del Na_2CO_3 y la disociación electrolítica de la solución los deja en su forma iónica Na^+ y CO_3^{2-} , lo mismo ocurre con el NaCl , se disocia en Na^+ y Cl^- . En el caso del Ca^{2+} y Mg^{2+} , estos iones precipitan y, debido a su baja solubilidad y concentración, son apenas cuantificables en la solución de los sedimentos.

De acuerdo con la composición iónica puede establecerse la siguiente secuencia de concentración de cationes: $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} = \text{Mg}^{2+}$; y con respecto de los aniones: $\text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} > \text{Cl}^-$, por lo tanto, en este caso el tipo de sal predominante fue sulfato de sodio (Na_2SO_4).

8.3 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos bajo las condiciones en que se realizó esta investigación, se concluye que el contenido de humedad influyó en la composición iónica de los sedimentos, se encontró mayor concentración de sales a bajos niveles de humedad; por lo tanto, se cumplieron los objetivos y no se rechaza la hipótesis planteada.

Los cambios en la salinidad cuantitativa y cualitativa se atribuyen a la pérdida de humedad por evaporación ya que la desecación de los sedimentos provocó mayor alcalinización, incrementó la salinidad total, así como la mayor concentración de CO_3^{2-} , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^- y, disminución total de HCO_3^- .

La salinidad cambió de NaHCO_3 en sedimentos con humedad natural a Na_2SO_4 en los sedimentos secos a la intemperie. La pérdida de humedad en los sedimentos fue irreversible y disminuyó el volumen de los mismos.

8.4 Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, por la asignación de recursos económicos.

8.5 Referencias

Alcocer, J., Escobar, E. & Lugo, A. 2000. Water use (and abuse) and its effects on the crater-lakes of Valle de Santiago, México. *Lakes & Reservoirs: Research and Management* 5: 145-149.

Eaton, A. D., Greenberg, A. E. & Clescerl, S. L. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th edition. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF). Clescerl, S. L.; Greenberg E. A. and Eaton A. D. (editors). Washington, D. C. EUA. 1325 p.

García-Cué, J. L., Santizo-Rincón, J. A., Jiménez-Velázquez M. A. & Marques Dos Santos, M. J. (2007). Probabilidad y estadística. Colegio de Postgraduados y FESZ-UNAM. [En línea] <http://colposfesz.galeon.com>

Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C. & Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación. Sexta edición. McGraw-Hill Interamericana S.A. de C.V. México D.F.

Kovda, V. A., (1973). Landscapes in relation to irrigation, drainage and salinity. In: *Irrigation, drainage and salinity. An international source book*. Chapter 6. FAO/UNESCO. Hutchinson. pp 155-176.

Mancilla-Villa, O. R., Bautista-Olivas, A. L., Ortega-Escobar, H. M., Sánchez-Bernal, E. I., Can-Chulim, Á., Guevara-Gutiérrez, R. D. & Ortega-Mikolaev, Y. M. (2014). Hidrogeoquímica de salinas Zapotitlán y los lagos-cráter Alchichica y Atexcac, Puebla. *IDESIA* 32: 55-69.

Orozco, F. & Madinaveitia, A. (1941). Estudio químico de los lagos alcalinos: origen del carbonato sódico. *Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México*. 12: 429-438.

Pérez-Díaz, J. P., García-Domínguez, Y. B., Terrazas-Mendoza, L., Ramírez-Ayala, C. & Ortega-Escobar, H. M. (2013). Composición y caracterización química del suelo: indicadores de salinidad y sodicidad. Memorias del XVII Congreso Nacional de Irrigación. 2-6 de septiembre de 2013, Puerto Vallarta, Jalisco, México. pp. 99.

Pérez-Díaz J. P., Ortega-Escobar H. M., Ramírez-Ayala C., Flores-Magdaleno H., Sánchez-Bernal E. I., Can-Chulim A. & Mancilla-Villa O. R. (2016). Índice de salinidad y contenido de humedad en sedimentos lacustres. Magdaleno-Villar, J. J., Martínez-Solís, J., Magaña-Lira, N., López-Rojo, M. (eds.). Memoria del IV Congreso Internacional y XVIII Congreso Nacional de Ciencias Agronómicas. Universidad Autónoma Chapingo, 20 al 22 de abril de 2016. Chapingo, Estado de México, México.

Richards, L. A., Allison, L. E., Brown, J. W., Hayward, H. E., Bernstein, L., Fireman, M., Pearson, G. A., Wilcox, L. V., Bower, C. A., Hatcher, J. T. & Reeve, R. C. (1982). Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. L. A. Richards, editor. Traducción al español: Sánchez-Durón, N., Ortega-Torres, E., Vera y Zapata, R., & Chena-Gonzalez, R. Ed. Limusa, S.A., México, D. F. 172 p.

Mejoramiento de la dieta de tilapia (*Oreochromis niloticus* rocky mountain var. *white*) con aceite de soya, para aumentar calidad de la canal, en zonas rurales de México

SALAZAR-BUSTOS, María del Socorro, SOSA-MONTES, Eliseo, MONTOYA-VENEGAS, Lucía, GÓMEZ-S., Alberto R., GÓMEZ, E. René, GARCÍA-URIZA, Gustavo y CARRILLO-DOMÍNGUEZ, Silvia

M. Salazar, E. Sosa, L. Montoya, A. Gómez, E. Gómez, G. García y S. Carrillo

Departamento de Zootecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México - Texcoco Km. 38.5, 56230 Texcoco de Mora, Méx. Tels: (595) 95 216 85. (595) 95 21500. Ext.168

ma.socorrosb@yahoo.com.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

Aquaculture, possibly the fastest-growing food-producing sector, now accounts for almost 50% of global fishery products for food. FAO, 2012. In Mexico, aquaculture was born as a complementary activity of social support to rural communities, which was intended to increase the consumption of animal protein and thus improve the nutritional levels of the population (Juárez-Palacios, 1987). Aquaculture participates in national fish production with just over 15.83 percent of the national production. Growth during the last ten years of this activity has an average rate of 3.44 percent. To strengthen and consolidate this activity, it is necessary to promote the diversification and technification of the same, orienting it to increase its productive efficiency; Reduce potential impacts; Diversify production lines and increase economic and social profitability. To achieve this, the participation of the productive sector in research and technological development is necessary. Thus the importance of the present investigation, with the improvement of the channel of tilapia (*Oreochromis niloticus* rocky mountain, var., White) to include in its diet of 32% PC, soybean oil, 0% (Witness) and two At different stages of their growth, with 3% and 5%, the field work done in ponds of Jurassic Park of the Department of Agroecology, UACH. As well as, the evaluation of the productive variables of tilapia: long and wide (cm) and weight (g). The chemical composition of the tilapias fillet, on a dry basis, was carried out in the Nutrition Laboratory (Department of Animal Science, UACH). At the end of the experimental phase, samples of tilapia fillets were obtained, dried and determined the following chemical variables (% on dry basis): crude protein, ethereal extract, organic matter, ash, calcium and phosphorus. Statistical analyzes were performed with the SPSS 15 package for multivariate analysis. The experimental design was factorial $3 * 12$ for the productive variables, and $3 * 3$ for the chemical variables. It was observed that the three productive variables, such as length and width (cm) and weight (g) of the Sampling Factor, increased linearly during the study period. The most sensitive variable was the weight, with which seven statistically different groups were formed, in the twelve samples evaluated. The raw fillet protein variable was 86, 80 and 87% for the eleventh, twelfth and thirteenth sampling. The crude protein from the 11 to 12 sample decreased but rose to the initial value at sampling 13. The crude protein values coincide with those found in commerce and in the literature, for fillet. The ethereal extract variable showed the values of 2.2, 5.8 and 5.9% for sampling 11, 12 and 13 (stage of fattening), being numerically higher in the latter two with respect to the eleventh. It was also observed that the productive variables of length and weight (22.5, 23.4, 23.5 cm and 262.6, 289.4, 277.4 g) for the levels 0, 3 and 5% of oil, being levels 3 and 5% statistically higher than the level 0%, for both variables; The variable width (height) was 8.7, 9.2, 8.8 cm for levels 0, 3 and 5% of oil, the value of level 3% being different from the other two. Initial weights (first sampling) were 148, 213 and 165 g for the levels of 0, 3 and 5% of soybean oil respectively, the weights of levels 0 and 5% being similar but different from those corresponding to the level 3% soybean oil in the diet. The final weights (twelfth sampling) were 311, 418 and 357 g for the same levels of soybean oil, the weights between levels 0 and 3% being statistically different from each other. The values of ethereal fillet extract increased numerically as the dietary soybean oil level increased (3.2, 5.2 and 5.2%), the crude protein variable showed values of 81.0, 84.2 and 87.0% for the levels of 0, 3 And 5% soybean oil being the third value different from the first. The addition of soybean oil had a 3% concentration effect on the 32% PC diet, improving the quality of the carcass and fillet

Figura 9 Muestreo de Tilapia blanca (*Oreochromis niloticus rocky mountain var. white*)

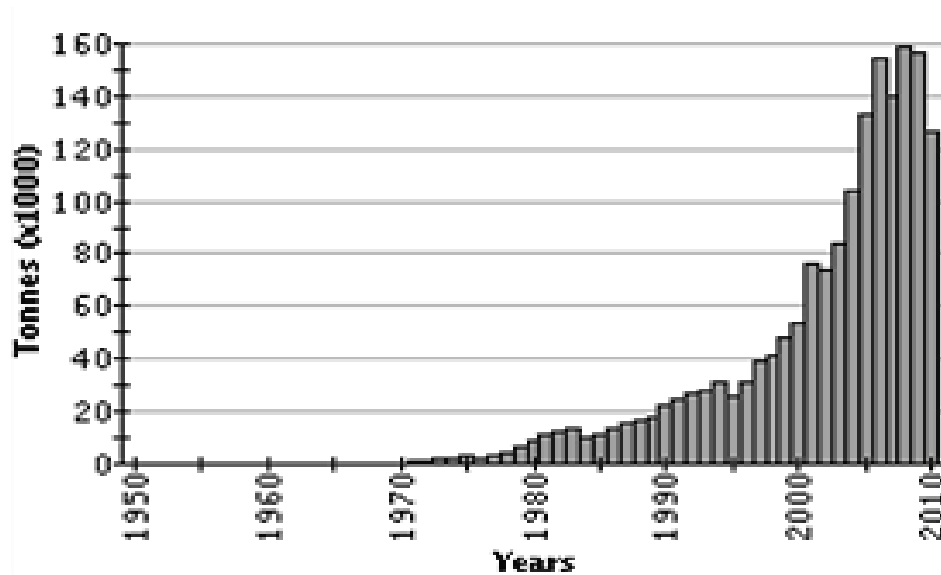


Foto: M.S.S.B. UACH, 2008

9 Introducción

La acuicultura abarca diversos sistemas de cultivo de plantas y animales en zonas continentales, costeras y marítimas utilizando y produciendo una amplia variedad de especies de animales y plantas. Aunque normalmente es aconsejable utilizar especies locales, las especies introducidas (o exóticas) generan aproximadamente un 17 por ciento de la producción mundial de peces de aleta y tienen importantes efectos sociales y económicos. Los recursos genéticos son el fundamento en el que se basan las especies, las poblaciones y las cepas mejoradas genéticamente. El cultivo de varias especies importantes sigue dependiendo de la recolección de reproductores o semillas procedentes de las poblaciones naturales. FAO, 2012. Gráfico 9.

En México, la pesca y la acuicultura son asuntos de seguridad nacional, para satisfacer la creciente demanda interna, donde el consumo per cápita es de 12,8 kilogramos anuales. Además, son un importante medio de subsistencia para más de 290 mil familias de pescadores en todo el país. En 2011, la producción acuícola y pesquera fue de 1,6 millones de toneladas de peso vivo, 2,5 por ciento superior a la obtenida en 2010, esto debido a las mayores capturas de sardina, que representa el 41 por ciento de la producción nacional; además del aumento en la captura y cultivo de camarón, parte esencial del quehacer económico y social del país (SAGARPA, 2012). La acuicultura representa una alternativa real para ampliar la oferta alimentaria en el país, contribuyendo a la seguridad alimentaria, generación de divisas y crear fuentes permanentes de empleo, estimulando el desarrollo regional. La acuicultura participa en la producción pesquera nacional con poco más de 15,83 por ciento de la producción nacional. El crecimiento durante los últimos diez años de esta actividad presenta una tasa promedio de 3,44 por ciento. Para fortalecer y consolidar esta actividad, se requiere de promover la diversificación y tecnificación de la misma, orientándola a incrementar su eficiencia productiva; reducir los posibles impactos; diversificar las líneas de producción e incrementar la rentabilidad económica y social. La acuicultura en México, se ha desarrollado en gran parte en aguas interiores, principalmente con peces y desde un enfoque de piscicultura de repoblación.

Gráfico 9 Producción de la acuicultura reportada de México (a partir de 1950)

Fuente:(FAO Fishery Statistic, 2012)

Desde sus inicios, la acuicultura ha trascendido por diferentes etapas de desarrollo y ha seguido tres vertientes principales, la acuicultura de fomento o la práctica de la actividad en pequeños cuerpos de agua y unidades de producción de zonas rurales, principalmente para autoconsumo y destinadas al cultivo de diferentes especies de tilapia y carpa; las pesquerías acuiculturales derivadas de la siembra sistemática en embalses de medianas y grandes dimensiones principalmente de carpa, tilapia, bagre y lobina, así como en las derivadas del manejo de existencias silvestres de crías de peces, postlarvas de langostino, ajolotes y similares; y los sistemas controlados principalmente de camarón, mojarra, trucha, atún, ostión y bagre practicada con fines de comercialización y demandas de grandes inversiones.

Las tilapias, son peces de origen africano, actualmente se encuentran distribuidas en casi todas las regiones tropicales del mundo. Debido a la calidad de su carne, que es blanca, firme, con ligero olor a pescado y muy palatable; además, presentan escasas espinas intermusculares. Por su rico sabor, existe una creciente demanda en el mercado (Manjarrez, 2000; Velázquez-López, 2006, FAO, 2012). Estos peces presentan una coloración oscura de su piel para la *Oreochromis niloticus*, o presentan una coloración blanca (*O. niloticus rocky mountain var., white*); otras variedades oscilan entre diversos tonos rosadas, rojas, grises y negras. A diferencia de la *O. niloticus rocky mountain var., white*, es una especie de piel blanca y está adaptada a climas templados con temperaturas que oscilan de 22 a 24 °C, se adaptan muy bien a climas templados como el Texcoco, Estado de México (López, C. N. A, 2005). El cultivo de la tilapia es de fácil manejo zootécnico no requiere de un sistema altamente tecnificado, su reproducción es rápida (tres meses) y controlable, sus huevos y larvas son resistentes al manipuleo, son organismos de rápido crecimiento y de alimentación sencilla, presentan alta capacidad de adaptación a temperaturas que van desde 22°C hasta 32°C, sobreviven a rangos de pH de 7.5 a 9.0, y resisten bajas concentraciones de oxígeno (Morales, 1991). La tilapia se ha popularizado en el país y en el mundo por sus cualidades de rusticidad y rápido crecimiento (Manjarrez, M. N. R. 2000) amplia tolerancia a desarrollarse en condiciones de alta densidad, habilidad para sobrevivir en bajas concentraciones de oxígeno (3-5mg/L), en aguas salinas (por ser una especie eurihalina) y a su capacidad de nutrirse de una gran variedad de alimentos naturales (Aguilera y Noriega 1988).

En estanques del Campo Agrícola Experimental (CAEUACH) y estanques del Parque Jurásico de la Universidad Autónoma Chapingo, las especies de tilapia que mejor se han adaptado son la tilapia gris, la africana (*Oreochromis niloticus*) y la tilapia blanca (*Oreochromis rocky mountain var. white*), ambas son macrófagas, aceptan con facilidad los alimentos artificiales, su conversión alimenticia es de 1.8 kg de alimento por kg de peso vivo de tilapia, siendo más eficiente en la conversión de alimentos primarios que otros animales como los bovinos, cerdos y aves (Aguilera y Noriega, 1985; Morales, 1991).

La combinación de *Oreochromis niloticus x Oreochromis aureus*, fue realizada por Pruginin, en Uganda (Hepher y Pruginin, 1985) y el resultado fue *Oreochromis rocky mountain*, que presenta ciertas ventajas sobre sus progenitores mayor facilidad de captura, uso eficiente de niveles tróficos mayor tolerancia a bajas temperaturas, color comercial más atractivo al mercado, mayor conversión alimenticia, y menor tiempo requerido para alcanzar la talla comercial (Brown, 1980; Aguilera-Hernández P. 1982, Hepher y Pruginin, 1985; Landau, 1992).

La acuicultura es una de las mejores técnicas ideadas por el hombre para incrementar la disponibilidad de alimento, aprovechando las aguas de ríos, lagos, lagunas litorales y áreas costeras en una fuente de recursos acuáticos, cultivando organismos en estas áreas y cuidando su entorno ecológico, de manera sustentable (Auró, 2001, Ley G de Pesca y Acuicultura sustentables, 2001).

La acuicultura como actividad multidisciplinaria, constituye una empresa productiva que utiliza los conocimientos sobre biología, ingeniería y ecología, y según la clase de organismos que se cultivan; se ha dividido en varios tipos, como el cultivo de diferentes especies acuícolas, siendo uno de los más desarrollados, la piscicultura o cultivo de peces. Esta actividad productiva es un conjunto de tecnologías que han cobrado importancia vital y presentan una alternativa de provisión de proteína de alta calidad para el consumo humano, a partir de una explotación del medio acuático. Ello es, de gran importancia, dada la escasez de alimentos ricos en proteína. (Anuario Estadístico de Pesca, CONAPESCA, 2000-2014). La acuicultura representa poco más del 12 por ciento de la producción pesquera total, aunque se estima que posee un potencial para alcanzar hasta un 40 por ciento de dicha producción pesquera total, en un lapso de 10 a 15 años (FAO, 2010).

Las actividades agrícolas y piscícolas pueden llevarse a cabo paralelamente con ventajas favorables como el uso de aguas de estanques acuícolas que proporcionan abono rico en nitrógeno y fósforo para los cultivos, lo cual, reducirá el uso de fertilizantes de síntesis química (Salazar, B. M. S., 2005, Salazar, B.M. S., 2015). El cultivo de la tilapia se inició en México en 1964, con la importación de los primeros ejemplares procedentes de la Universidad de Auburn, Alabama, EUA (Morales, 1991), las cuales fueron depositadas en la estación piscícola de Temascal, Oaxaca. Las especies introducidas fueron: *Tilapia aurea*, *T. melanopleura*, y *T. mossambica*. En 1978, se introdujo *O. niloticus* procedente de Panamá. En el periodo 1981-1987, se implementaron varios programas de producción controlada en jaulas flotantes en los Centros Acuícolas de Zacatepec y El Rodeo en el Estado de Morelos para *O. mossambicus* y *O. urolepis hornorum*, procedentes de Florida, EUA. En 1986, la primera línea roja de *O. niloticu*; llegó a México procedente de la Universidad de Stirling, Inglaterra, el híbrido rojo, se introdujo a varios centros acuícolas, la tilapia blanca *Oreochromis niloticus rocky mountain, var., white*, desde USA (Morales, 1991, Anuario Estadístico de Pesca, 2000). En México existe poca información referente al estudio de los parámetros productivos con dietas de 32% de PC y enriquecida con aceite de soya (0%, 3% y 5%) del híbrido *Oreochromis rocky mountain var. white*.

9.1 Requerimientos nutritivos de la tilapia

9.1.1 Proteína

Los peces necesitan un alto contenido de proteína en la dieta 35 - 60 por ciento, (Nutrient Requirements of Warmwater Fishes (1977), citado por Coll, 1986), sin embargo Kubaryx (1980), citado por Lovell (1989), mostró que se requiere de 36 % de PC para que las tilapias (con un peso de 3 a 30 gramos) crezcan rápidamente. A las proteínas les corresponde entre los nutrientes de máxima importancia en los aspectos cualitativos y cuantitativos. Puesto que son los componentes constitutivos del organismo animal en crecimiento y entre otras cosas revisten importancia para la formación de enzimas y proteínas estructurales de sus células (Steffens, 1987). Las proteínas en la dieta encarecen el costo de la alimentación, por lo que se han realizado pruebas con distintos niveles de proteína en la dieta para determinar la cantidad mínima necesaria para obtener el máximo crecimiento, en nuestro experimento se obtuvieron buenos resultados con un 32 % de PC. Tabla 9.

Tabla 9 Crecimiento de Tilapia con distintos niveles de proteína en la dieta

| Proteína en la dieta (%) | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Índice de conversión |
|--------------------------|------------------|----------------|----------------------|
| 21.7 | 1.35 | 2.52 | 1.44 |
| 29.6 | 1.82 | 3.42 | 1.49 |
| 34.7 | 1.80 | 3.43 | 1.20 |
| 37.9 | 1.71 | 3.17 | 1.28 |
| 44.15 | 1.75 | 3.21 | 1.46 |
| 53.64 | 1.44 | 2.53 | 1.50 |

Fuente: (Datos de Marzad, *Et Al* 1979, citado por coll 1986).

La cantidad mínima de proteína en la dieta que produce un crecimiento óptimo en tilapia es de 35%. A partir de este nivel la velocidad de crecimiento se reduce gradualmente. El índice de conversión es óptimo en todos los niveles.

9.1.2 Lípidos

Los peces necesitan de 20 a 30 % de lípidos en la dieta (Halver, 1989). Se utilizan como fuente de energía, almacenados como grasa o incorporados como fosfolípidos y componentes esteroideos de órganos vitales (Coll, 1991). Normalmente los peces son capaces de absorber y aprovechar grandes cantidades de grasa incluídas en el alimento (Yu *et al*, 1977; Reinitz y Hitzsel, 1980). Coll, 1991, Menciona que la salinidad y la temperatura afectan el requerimiento de ácidos grasos esenciales y a la composición de ácidos grasos de los lípidos de depósito de los peces. Tabla 9.1.

Tabla 9.1 Requerimientos de ácidos grasos en dieta de tilapia

| Especie | Requerimientos de AGE* | |
|---------|------------------------|-----------------|
| | 18:2 γ 6 | 20:4 γ 6 |
| Tilapia | 1.0 | 1.0 |

Nota: *En la mayoría de los casos, los ácidos grasos γ 3 ó γ 6 con longitud de cadena de 20 ó 22 carbonos son más eficientes, que los de 18 carbonos. Steffens, 1987)

Fuente: Coll, 1986)

9.1.3 Carbohidratos

Los carbohidratos no son requerimientos esenciales para los peces y constituyen para éstos solo una fuente secundaria para obtener energía. No obstante su presencia en la dieta es necesaria porque ésta sustituye a la proteína como fuente de energía, por lo que se reduce la proporción de esta en la dieta y por tanto los costos económicos de la alimentación. Además los hidratos de carbono en forma de almidones y fibra de celulosa se utilizan como aglutinantes de la dieta para la estabilidad de la misma (Coll, 1991). La dieta de este experimento contiene 3147.4 Kcal/Kg de materia seca (MS) de energía metabolizable (EM) por lo que cubre los requerimientos energéticos de la tilapia.

El nivel de la alimentación más eficiente sólo se logra cuando se dispone del suministro correcto de energía y los nutrientes esenciales en las proporciones requeridas para su mantenimiento y crecimiento acorde a su fase de desarrollo (Hepher, 1993).

La relación de proteína - energía necesaria para su máximo crecimiento, al igual que otras especies de interés zootécnico, disminuye cuando la tilapia incrementa de talla. La energía digerible por gramo de proteína diaria, para que exprese su máximo peso, es de aproximadamente de 8 a 9 Kcal de energía digerible. Se ha demostrado que al incrementar la energía en la dieta se disminuye el consumo diario para *Oreochromis niloticus*. A altos niveles de energía digerible hay una disminución en el consumo de proteína y una reducción en la ganancia de peso.

A continuación se muestra en la tabla los niveles de proteína y energía que dan por resultado el máximo crecimiento en la tilapia.

Tabla 9.2 Los niveles de proteína y energía que dan por resultado el máximo crecimiento en la tilapia

| Especie | Proteína en la dieta (%) | EB ^a de la dieta (Kcal/Kg) | Relación de Proteína y energía (mg/Kcal) |
|------------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--|
| <i>Oreochromis niloticus</i> | 52.7 | 3330 | 158 |
| <i>Oreochromis hibryd</i> | 30.35 | 4130 | 127 |

Fuente: Halver, 1989

Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar las variables productivas de este híbrido y el efecto del aceite de soya en la composición química de la calidad de la canal y/o del filete a distintos niveles de adición de aceite de soya y durante su crecimiento de tilapia *Oreochromis rocky mountain var. White*, con una dieta de 32% de PC.

9.2 Materiales y métodos

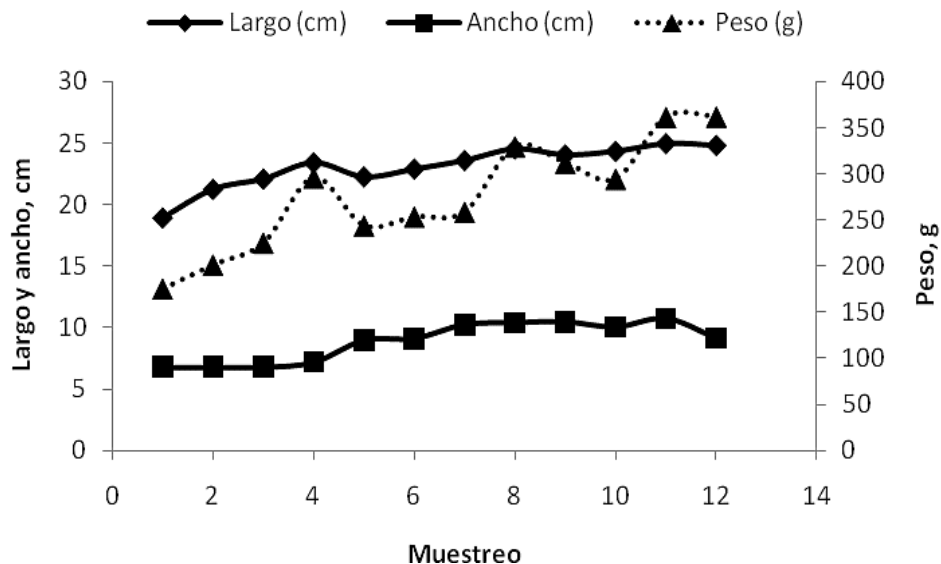
Se evaluaron las variables productivas del animal fresco y la composición química del filete en base seca. Se utilizaron 225 peces cada muestreo, cada 25 días. La alimentación de los peces con una dieta 32% PC más aceite de soya mezclado al momento del ofrecimiento del alimento (López, C.N.A., Salazar, B. M.S. 2007), se realizó en los estanques del Departamento de Agroecología de la Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México Texcoco km 38.5, municipio de Texcoco, México. Las determinaciones químicas se hicieron en el laboratorio de la Sección de Nutrición del Departamento de Zootecnia de la misma universidad (Sosa, 1979; AOAC, 1975). Se acondicionaron tres estanques, cada uno con 1500 peces de un peso inicial promedio de 148, 213 y 165 g, a los cuales se ofrecieron dietas con 32 % de proteína cruda y 0, 3 y 5 % de aceite de soya respectivamente.

Para proporcionarles palatabilidad a las dietas, se les agregó melaza. Se registraron datos durante 325 días, de la fase experimental, durante la que se realizaron en total 13 muestreos para las variables productivas: primero a doceavo, el treceavo fue para el análisis de proteína cruda (incluyendo los muestreos 11 y 12). Se evaluaron las variables productivas, se muestrearon 225 peces de cada estanque, a los cuales se les determinaron las siguientes variables: largo (cm) ancho (cm) y peso (g). En la parte final de la fase experimental (muestreos 11, 12 y 13), se obtuvieron muestras de filetes de tilapia, se secaron y se determinaron en ellos las siguientes variables químicas (% en base seca): proteína cruda, extracto etéreo, materia orgánica, cenizas, calcio y fósforo. Los análisis estadísticos fueron realizados con el paquete SPSS 15 para análisis multivariado. El diseño experimental fue factorial 3*12 (tres niveles de aceite por doce tiempos de muestreo) para las variables productivas, y 3*3 (tres niveles de aceite por tres tiempos de muestreo) para las variables químicas. Se usó el modelo general lineal multivariado (para las todas las variables) y las comparaciones de medias se hicieron empleando la prueba de Tukey, $P < 0.05$.

9.3 Resultados

Factor muestreo. Según se observa en la Gráfico 9.1, las variables productivas aumentaron linealmente ($P < 0.05$), al transcurrir el tiempo de muestreo ($P < 0.05$). La variable más sensible fue el peso, con la cual se formaron siete grupos estadísticamente diferentes en los doce muestreos evaluados (datos no mostrados).

Gráfico 9.1 Aumento de las variables productivas en función los muestreos (realizados cada 25 días)



Cada intercepto y pendiente fue estadísticamente significativa o distinta de cero ($P < 0.01$). Los puntos de la gráfica son un promedio de 225 peces cada uno

La variable proteína cruda (Tabla 9.2) del filete fue 85.5, 80 y 87.3 % para el muestreo 11, 12 y 13, este último siendo estadísticamente diferente de los otros dos ($P < 0.05$). Disminuyó la proteína cruda al pasar del onceavo al doceavo muestreo pero subió nuevamente en el treceavo ($P < 0.05$).

Los valores de proteína cruda coinciden con los encontrados en el comercio y en la literatura para filete, sin embargo son superiores a los valores para harinas de pescado que se reportan en la literatura consultada (NRC, 1989), lo cual es lógico puesto que las harinas de pescado contienen otros tejidos, además de la carne.

Estos valores se encuentran en el límite superior de los valores de proteína cruda de la carne de carpa (Geri *et al.*, 1995), y son similares a los reportados por Toledo y García, 1998 suponiendo una humedad de 77 % del filete de tilapia. Tabla 9.3.

Tabla 9.3 Variables químicas en los tres últimos muestreos: 11, 12 y 13

| Muestreo | Proteína cruda, % | Extracto etéreo, % | Cenizas, % | Materia orgánica, % |
|----------|-------------------|--------------------|------------|---------------------|
| 11 | 85.5 a | 2.2 b | 4.2 b | 95.8 a |
| 12 | 80.0 b | 5.9 a | 4.6 ab | 95.4 ab |
| 13 | 87.3 a | 5.2 a | 5.8 a | 94.2 b |

*Letras diferentes en una misma columna, indican diferencias estadísticas, Tukey (P<0.05)

La variable extracto etéreo (Tabla 9.3) mostró los valores de 2.2, 5.9 y 5.2 % para el muestreo 11, 12 y 13, siendo mayor en estos dos últimos respecto al onceavo (P>0.05). Estos valores fueron inferiores a los comerciales, y se encontraron en el límite inferior de los valores para carpa y de los reportados por Toledo y García, 1998, para tilapia. Los valores de cenizas y materia orgánica resultaron similares a los comerciales y a los reportados para filete de carpa.

Factor aceite de soya. En la Tabla 9.4, se observa que el peso y el largo de la tilapia aumentaron al incrementarse el nivel de aceite de soya en la dieta. El peso de los animales con 3 y 5 % de aceite, fue 10 y 6 % superior respecto al peso de los animales a cuya dieta no se le agregó aceite de soya. En forma similar las variables largo y ancho aumentaron 4 y 6 % al agregar 3 % aceite de soya a la dieta.

Tabla 9.4 Efecto de los niveles de aceite de soya sobre las variables productivas en los doce muestreos

| Nivel de aceite de soya en la dieta, % | Peso, g | Largo, cm | Ancho, cm |
|--|---------|-----------|-----------|
| 0 | 262.6 b | 22.5 b | 8.7 b |
| 3 | 289.4 a | 23.4 a | 9.2 a |
| 5 | 277.4 a | 23.5 a | 8.8 b |
| Incrementos respecto al nivel 0 % de aceite de soya, % | | | |
| 3 % vs 0 % | 10 | 4 | 6 |
| 5 % vs 0 % | 6 | 4 | 1 |

*Letras diferentes en una misma columna, indican diferencias estadísticas, Tukey (P<0.05)

Según la Tabla 9.5, los pesos iniciales (primer muestreo) fueron 148.4, 212.6 y 164.9 g para los niveles de 0, 3 y 5 % de aceite de soya respectivamente, siendo los pesos de los niveles 0 y 5 %, similares (P>0,05), pero distintos (P<0.05) de los correspondientes al nivel 3 % de aceite de soya en la dieta.

Tabla 9.5 Efecto de los niveles de aceite de soya sobre las variables productivas en el primero y doceavo muestreos

| Nivel de aceite de soya en la dieta, % | Primer muestreo | | | Doceavo muestreo | | |
|--|-----------------|-------------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | Peso inicial, g | Largo inicial, cm | Ancho inicial, cm | Peso final, g | Largo final, cm | Ancho final, cm |
| 0 | 148.4 b* | 14.9 b | 6.6 | 311.4 b | 23.8 b | 9.1 |
| 3 | 212.6 a | 21.5 a | 7.0 | 417.8 a | 25.4 a | 9.5 |
| 5 | 164.9 b | 20.6 a | 6.8 | 357.1 ab | 25.2 a | 8.8 |

*Letras diferentes en una misma columna, indican diferencias estadísticas, Tukey (P<0.05)

Los pesos finales (doceavo muestreo) fueron de 311.4, 417.8 y 357.1 g ($P < 0.05$) para los mismos niveles de aceite de soya, siendo los pesos entre los niveles 0 y 3 % estadísticamente diferentes entre sí ($P < 0.05$) y el peso del nivel 5 % de aceite de soya superó numéricamente al del nivel 0 %. Los valores de estos pesos resultaron similares a los obtenidos previamente para tilapia en condiciones atmosféricas y de alimentación parecidas (Ramírez y Vázquez, 2010) y a los reportados por Ruiz et al., 2006, también para tilapia. La variable ancho (alto) no fue diferente para los distintos niveles de aceite ni en el primero ni en el último muestreo. Las tres variables en estudio fueron diferentes ($P < 0.05$) al comparar los muestreos primero y doceavo (datos no mostrados). Tabla 9.6.

Tabla 9.6 Efecto de los niveles de aceite de soya sobre las variables químicas en los tres últimos muestreos: 11, 12 y 13

| Nivel de aceite de soya en la dieta, % | Proteína cruda, % | Extracto etéreo, % | Cenizas, % | Materia orgánica, % |
|--|-------------------|--------------------|------------|---------------------|
| 0 | 81.0 b | 2.2 | 5.0 | 95.0 |
| 3 | 84.2 ab | 5.2 | 4.7 | 95.3 |
| 5 | 87.0 a | 5.9 | 5.3 | 94.7 |
| Incrementos respecto al nivel 0 % de aceite de soya, % | | | | |
| 3 % vs 0 % | 4 | 136 | -6 | 0 |
| 5 % vs 0 % | 3 | 32 | 12 | 0 |

*Letras diferentes en una misma columna, indican diferencias estadísticas, Tukey ($P < 0.05$)

Los valores de extracto etéreo (Cuadro 7) del filete aumentaron numéricamente ($P = 0.093$) al aumentar el nivel de aceite de soya en la dieta (2.2, 5.2 y 5.9 %), la variable proteína cruda mostró los valores de 81, 84.2 y 87 % para los niveles de 0, 3 y 5 % de aceite de soya siendo el tercer valor estadísticamente diferente del primero ($P < 0.05$).

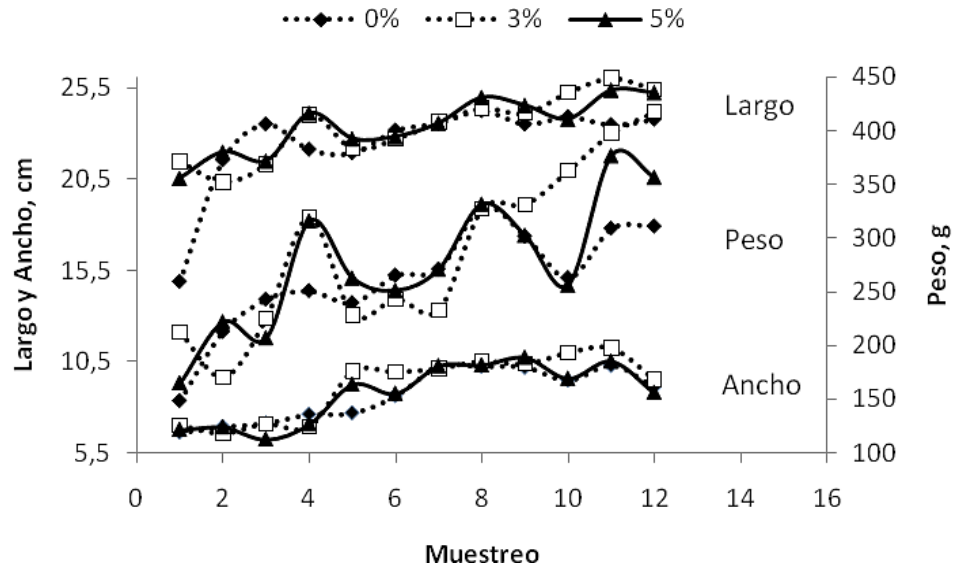
Ello indica que se detectó un efecto positivo sobre los valores de proteína cruda, al aumentar el aceite de soya en la dieta. Los valores de proteína cruda se encontraron en el rango de proteína cruda comerciales y en el rango de los reportados por otros autores para filete de pescado (Toledo y García, 2000).

Los valores de cenizas y materia orgánica no cambiaron estadísticamente ($P > 0.05$), pero se encontraron en el rango de los encontrados para carpa y en el rango de los valores comerciales. La proteína cruda de los filetes correspondientes a las dietas con 3 y 5 % de aceite de soya fue 4 % superior respecto al filete de los animales con la dieta sin aceite de soya. En forma similar el extracto etéreo aumentó numéricamente ($P = 0.084$) al agregar aceite de soya a la dieta.

Interacciones. Las interacciones estadísticamente significativas ($P < 0.05$) de los dos factores se interpretan de la siguiente manera: la variable peso aumentó al transcurrir el tiempo de muestreo, y conforme el nivel de aceite pasó de 0 a 3 y 5 %, pero el efecto no se detectó claramente en los primeros ocho muestreos, hasta los muestreos nueve a doce (Gráfico 9.2).

Un patrón similar se observó con la variable largo, pero la variable ancho solo se incrementó (datos no mostrados) con el nivel 5 % de aceite, los otros dos niveles fueron similares en los dos últimos muestreos.

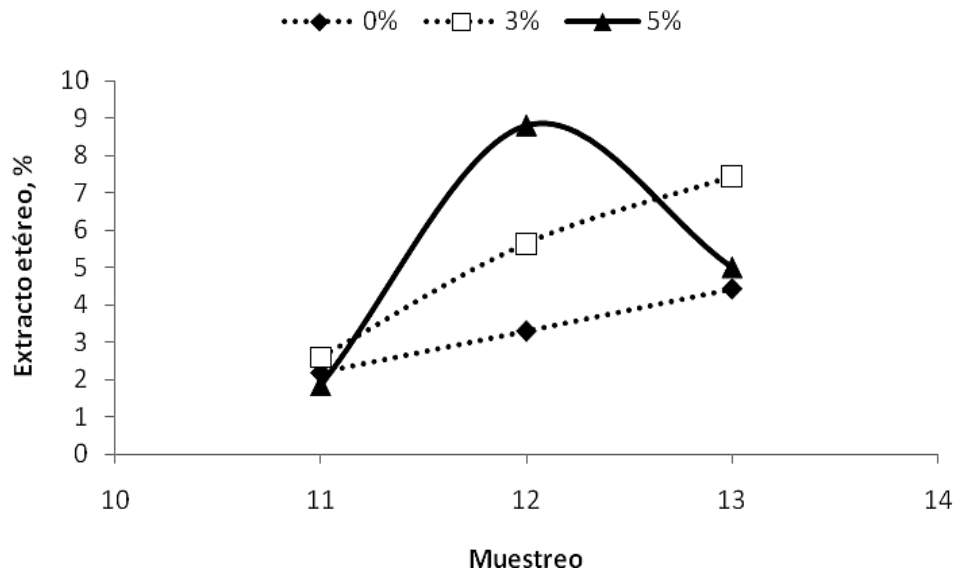
Gráfico 9.2 Interacción del nivel de aceite (0, 3 y 5 %) y el muestreo sobre las variables productivas (Tukey, $P < 0.01$)



Las variables (largo y peso) fueron superiores al testigo en los últimos muestreos

No se detectó interacción entre los factores muestreo y nivel de aceite de soya, empleando la variable proteína cruda. Sin embargo, se detectó una interacción numérica ($P = 0.06$) con la variable extracto etéreo del filete, la cual aumentó al incrementar el nivel de aceite de soya en la dieta hasta el doceavo muestreo, a partir del cual, la dieta con 3 % de aceite de soya produjo un incremento y la dieta con 5 % de aceite de soya produjo una disminución del extracto etéreo del filete de tilapia (Gráfico 9.3).

Gráfico 9.3 Interacción del nivel de aceite (0, 3 y 5 %) y el muestreo sobre la variable extracto etéreo (Tukey, $P < 0.06$)



9.4 Conclusiones

La relación de proteína-energía necesaria para su máximo crecimiento, al igual que otras especies de interés zootécnico, disminuye cuando la tilapia incrementa de talla. La energía digerible por gramo de proteína diaria, para que exprese su máximo peso, es de aproximadamente de 8 a 9 Kcal de energía digerible. Se ha demostrado que al incrementar la energía en la dieta se disminuye el consumo diario para *Oreochromis niloticus*. A altos niveles de energía digerible hay una disminución en el consumo de proteína y una reducción en la ganancia de peso.

El mejoramiento de la dieta de tilapia de 32% de PC, con aceite de soya al 3 y 5% fue muy importante; como se observan en las figuras anteriores el aceite de soya incrementa los niveles de proteína cruda del filete, en un 6 % y concomitantemente los niveles de extracto etéreo en más del 30 %, aumentando incluso el peso y largo de la tilapia en un 15 y 6 % respectivamente. Estos efectos del aceite de soya se presentan después de nueve semanas de proporcionarlo a 3 y 5 % de la dieta, y a partir de un peso inicial de la tilapia de 189 g.

Comer y beber bien son necesidades básicas para el organismo humano, saber seleccionar los alimentos, prepararlos y consumirlos de forma adecuada nos garantiza en buena medida, satisfacer los requerimientos de nuestro organismo. Para funcionar el cuerpo humano, requiere de sustancias químicas o nutrientes cuyo valor reside de su procedencia, de su frescura y de consumir las proporciones adecuadas según la edad, la fisiología, la genética, el desgaste físico que se realiza por el trabajo o ejercicio.

La composición que exhiben las grasas o lípidos de peces marinos y acuícolas es compleja y poliinsaturada, comparada con las grasas de animales y plantas terrestres. La grasa de los peces marinos y acuícolas, son por lo general de cadenas largas de 22 carbonos y contienen cuatro, cinco y seis dobles enlaces en su estructura química y la mayoría de los ácidos grasos poliinsaturados (AGPI), de los lípidos del pescado son del tipo 3n (Omega 3) en mayor porcentaje, y en menor proporción los tipo 6n (Omega 6). Los lípidos de algunos peces como el atún de aleta amarilla (rabil) y algunos mamíferos marinos presentan lípidos del tipo iso-16:0 e iso-18:0. Las carpas, truchas y tilapias mantienen concentraciones semejantes de estos lípidos. FAO, 2014.

De los ácidos grasos de todos los fosfolípidos, al menos el 50% poliénicos, básicamente el C_{20:5} como la fosfatidilcolina y C_{22:6} 3n, como la fosfatidiletanolamina, que son fosfolípidos indispensables en la dieta humana, ya que no los podemos sintetizar en nuestro cuerpo y deben ser aportados por los alimentos, para el recubrimiento de neuronas y el buen funcionamiento del Sistema Nervioso.

Los ácidos 6n son esenciales para el hombre, puesto que sirven para generar eicosanoides, que son sustancias químicas importantes en las funciones metabólicas de las células. Por ejemplo, el ácido araquidónico está presente en los lípidos de membranas de todas las células humanas y es el componente base para la síntesis de otras sustancias importantes como la prostaciclina, (PGI₂), diversas prostaglandinas (PGF_{2-alfa}) y tromboxanos (TXA₂) importantes en la agregación plaquetaria en la sangre.

Los AGPI aportados con la dieta reducen el nivel de colesterol y de lipoproteínas de baja densidad en sangre. Esta actividad metabólica de los AGPI, indican los efectos particularmente beneficiosos de las dietas ricas en pescado, en lo referente a disminuir las afecciones isquémicas del corazón y la trombosis, así como, la disminución a la generación de tumores y el cáncer. Se recomienda al menos, ingerir 5 gramos de aceite de pescado cada día.

La carne de pescado es una alternativa viable que puede dar respuesta a la problemática de la producción de alimentos proteínicos de calidad y de bajo precio hacia el consumidor.

Las proteínas contenidas en los músculos de la canal de tilapia, se encuentran ligadas a los ácidos nucleicos, lipoproteínas, cromoproteínas, etc. Entre las enzimas sarcoplásmicas con influencia sobre la calidad del pescado como alimento, destacan sobre todo, las enzimas del proceso glucolítico y las enzimas hidrolíticas de los lisosomas, como las proteinasas ácidas, neutras y alcalinas que participan en diversas reacciones químicas importantes del cuerpo humano.

Las proteínas de la canal como la miosina, actina y colágenos del músculo son responsables de la capacidad del pescado para retener agua, de la textura y sobre todo, de las propiedades organolépticas como el sabor, textura y calidad de su carne, ya que contiene tasas de siete aminoácidos esenciales, significativamente mayores a las carnes rojas. Figura 5.

Figura 9.1 Tilapia (*Oreochromis niloticus*, rocky mountain, var, white)



Foto: M. S. S. B., 2008, UACH

Entonces concluimos que: Si la dieta humana se mejora con el consumo de pescado, en este caso la tilapia, y si a la dieta de la tilapia la mejoramos con aceite de soya, entonces recibimos mejores nutrientes y más beneficios, en grasas buenas como los fosfolípidos, los Omegas 3 y 6 principalmente, reforzando las membranas celulares y mejora la reparación de tejidos del organismo, manteniendo nuestro organismo saludable.

9.5 Referencias

AOAC. 1975. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 12th ed. Washington, D.C. 1094 pp

Aguilera-Hernández P., P. Noriega. C. 1982. La acuicultura en México. FONDEPESCA, Secretaría de Pesca, México: 1-30.

Aguilera, H. P. y P. Noriega C. 1985. ¿Qué es la acuicultura? Secretaría de Pesca. México.

- Aguilera, H. P. y P. Noriega C. 1988. La tilapia y su cultivo. Secretaría de Pesca. México.
- Auró O. A. y Fragoso C. M. 2001. Principios Básicos de Acuicultura Ed. FMVZ. UNAM MÉXICO: 172.
- Brown, E. E.. and J. B. Gratzek. 1980. Fish Farming Handbook. Avi. Publishing Company Inc.
- CONAPESCA/SAGARPA. 2001. Anuario Estadístico de Pesca. 2000.
- CONAPESCA/SAGARPA. 2008. Anuario Estadístico de Pesca. 2007.
- CONAPESCA/SAGARPA. 2008. Anuario Estadístico de Pesca. 2012.
- CONAPESCA/SAGARPA. 2008. Anuario Estadístico de Pesca. 2014.
- Coll, M. J. 1986. Acuicultura Marina Animal. Ed. Mundi-Prensa. Tercera edición. Madrid, España. 670 p.
- FAO. 2010. Visión general del sector acuícola nacional México. Diagnostico sobre el estado de la acuicultura en México. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Halver, J. E. 1989. Fish Nutricion. Academic Press. Segunda edición. San Diego, California. USA. 798 p.
- Hepher, B., y Y. Pruginin. 1985. Cultivo de peces comerciales: Basado en las experiencias de las granjas piscícolas en Israel. Ed. Limusa. Primera Edición. México.
- Hepher, B. 1993. Nutrición de Peces Comerciales en estanques. Ed. Limusa, Gpo. Noriega Editores. Primera edición. México. 404 p.
- Hepher, B. y Pruginin, Y. 1989 Cultivo de peces comerciales. Ed. Limusa 2ª reimpresión. México D.F. 316 p.
- Kapoor, B. G., Smith, H. y Verighina, I. A. 1976. The Alimentary Canal and Digestion in teleosts. Adv. Mar-Biol. pp 109-239.
- Lovell, T. 1989. Nutrition and Feeding of fish. Van Nostrand Reinhold. New York. USA. 260 p.
- Landau, M. 1992. Introduction to aquaculture. John Wiley & Sons Inc. USA.
- López, C. N. A, Salazar, B. Ma. del S. 2005. Incremento al valor agregado de tilapias (*O. rocky mountain var. White* y *O. aureus* Linneus) a través de su pigmentación con *astaxantina*. Tesis Licenciatura Departamento de Zootecnia, UACH: 1-6.
- Ley de Pesca y su Reglamento. 2001. Edición realizada para la Cámara de Diputados. Comisión de Pesca.
- Manjarrez, M. N. R. 2000. Evaluación del Comportamiento Productivo entre Tilapia nilotica (*Oreochromis niloticus*) y Tilapia blanca (*O. Rocky mountain var. White*). Tesis, Departamento de Zootecnia, UACH. Chapingo, México. 1-93.

- Morales, D. A. 1991. La tilapia en México: Biología, cultivo y pesquerías. AGT Editores, S. A. México.
- NRC, 1993. Nutrient Requirements of Fish. NATIONAL ACADEMY PRESS. Washington, D.C. 105 p.
- National Research Council (USA). 1999. Nutrient Requirements of fish. National Academy Press. Washington. D. C. 2a. Impresión. Pp. 114.
- SAGARPA/CONAPESCA. 2001. Anuario Estadístico de Pesca 2000. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- SAGARPA/CONAPESCA. 2008. Anuario Estadístico de Pesca 2007. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.
- Salazar, B. M. S. 2001. México Rural: Políticas para su Reconstrucción; Diagnóstico del Sector Pecuario; Acuicultura. Ed. Universidad Autónoma Chapingo. México. 230-235 pp.
- Salazar, B., M.S. y Cols. 2005. Sistemas de producción de no rumiantes y especies menores: Cultivo de tilapia, una oportunidad de negocio. UACH, México. P. 109-138.
- Salazar B.M. S. 2005. Apuntes de piscicultura, Manejo intensivo en el cultivo de peces comestibles, Chapingo, México: 5-65.
- Salazar, B. 2013. El Cultivo de Tilapia. Sistemas de Cultivo. CADEUACH, UACH, Pp. 46.
- Salazar, B., M.S. 2013. El cultivo de Tilapia. Sistemas de cultivo. CADEUACH, UACH, México. Pp. 46.
- Sosa, E. 1979. Manual de procedimientos analíticos para alimentos de consumo animal. Chapingo, México: 115-127.
- Ruiz Velazco A. J. M. de J., Tapia Varela R., García Partida J. R. y González Vega H. 2006. Evaluación de un cultivo semi-intensivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) en tanques circulares con aguas termales. Revista Electrónica de Veterinaria REDVET. <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n111106.html>.
- Steffens, W. 1987. Principios Fundamentales de la Alimentación de los peces. Ed. ACRIBIA, S.A. Primera Edición. Zaragoza, España. 275 p.
- Toledo Pérez S. J. y García Capote M. C. 2000. Nutrición y alimentación de tilapia cultivada en América Latina y el Caribe. 83-137 pp. En: Civera Cerecedo, R., Pérez-Estrada, C. J., Ricque Marie, D. y Cruz Suárez, L. E. (Eds.) Avances en Nutrición Acuícola IV. Memorias del IV Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. Noviembre 15-18, 1998. La Paz, B. C. S., México.
- Velázquez-López, Ma. del C., M. Garduño-Lugo, G. Muñoz-Córdova. 2006. Desempeño Productivo y Heterosis de dos híbridos rojos de Tilapia (*Oreochromis* spp. Linneus). In: Memorias de la XIX Reunión Científica Tecnológica Forestal y Agropecuaria Veracruz, 2006: 1-7.

Sistemas antioxidantes del cultivo de *Cicer Arietinum* L bajo condiciones de estrés abiótico: Revisión de literatura

MIRELES-ARRIAGA, Ana Isabel, RUIZ-NIETO, Jorge Eric, MARÍN-HERNÁNDEZ, José Antonio, HERNÁNDEZ-RUIZ, Jesús y MONTERO, Víctor

A. Mireles`, J. Ruiz`, J. Marín`, J. Hernández` y V. Montero``

` Departamento de Agronomía, División de Ciencias de la Vida, Universidad de Guanajuato Campus Irapuato-Salamanca, Ex Hacienda El Copal, Km. 9 Carretera Irapuato-Silao A.P. 311 C.P. 36500. Irapuato, Gto.

`` Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo experimental Bajío, km 6.5 carretera Celaya San Miguel de Allende, Celaya Guanajuato C.P. 38010
ana.mireles@ugto.mx

F. Pérez, E. Figueroa, L. Godínez, J. Rocha (eds.) Ciencias de la Química y Agronomía. Handbook T-I.-©ECORFAN, Texcoco de Mora, México, 2017.

Abstract

The exposure of plants to unfavorable environmental conditions (abiotic stress) affecting their development by increasing the generation of reactive oxygen species (ROS), that can be capable to affect cellular functions. However, plants have enzymes and derived from secondary metabolism compounds that can act synergistically for prevent oxidative damage. This system can contribute to prevent low production yields affectations under abiotic stress in crops with economic and nutrimental interest as chickpea (*Cicer arietinum*). Given the importance of this crop in Mexico and the constant change on field conditions; this review proposes a general overview of the scientific work in order to understand the antioxidant response on chickpea crop.

10 Introducción

La exposición de las plantas a condiciones ambientales desfavorables es decir a estrés abiótico como temperaturas extremas, metales pesados, sequía, limitación en la disponibilidad de agua, contaminantes en el aire, deficiencias nutrimentales o estrés salino genera estrés en las plantas. El efecto primario del estrés abiótico es el desbalance hiperosmótico, que da como resultado la acumulación de especies reactivas del oxígeno ROS (por Reactive Oxygen Species) que en altas concentraciones resultan dañinas (Ahmad *et al.*, 2009) afectando las funciones celulares mediante la oxidación de proteínas, peroxidación de lípidos, dañando membranas y ácidos nucleicos lo cual al final resulta en la muerte celular, debido a esto, el estrés oxidativo es considerado una de las principales causas en las pérdidas de producción (Gill y Tuteja, 2010).

Para protegerse contra los radicales, las plantas pueden responder a un nivel morfológico, anatómico o celular con modificaciones que permiten que la planta para evite el estrés o aumentar su tolerancia (Sohrabi *et al.*, 2012). A un nivel celular, el sistema antioxidante de las plantas está formado principalmente por enzimas como la super oxidodismutasa (SOD), catalasa (CAT), polifenol oxidasa (PPO), peroxidasa (POD) ascorbato peroxidasa (AOX), peroxidasa (POD) reductasa, etc; así como metabolitos derivados del metabolismo secundario como el ácido ascórbico, compuestos fenólicos, alcaloides, tocoferoles, etc. (Gill y Tuteja, 2010). Este es el mecanismo más común para la desintoxicación de los ROS sintetizados durante el estrés. Por ejemplo; la inactivación del radical H_2O_2 es esencial para la célula, a fin de evitar la inhibición de enzimas que controlan el ciclo de Calvin en el cloroplasto, el H_2O_2 producido se puede inactivar mediante la enzima CAT (EC 1.11.1.6), POX (EC 1.11.1.7) o mediante su inactivación por compuestos antioxidantes. (Sohrabi *et al.*, 2012).

La sinergia entre enzimas y compuestos antioxidantes como defensa ante el estrés abiótico ha sido referenciada en diversos cultivos de importancia económica y nutrimental como lo reportado por Chang-Quan y Rui-Chang, (2008) en *Trifolium repens* L., Pan *et al.*, (2006) en *Glycyrrhiza uralensis* Fisch, Zlatev *et al.*, (2006) en *Phaseolus vulgaris* y Shankar *et al.*, (2016) en (*Cicer arietinum*).

El garbanzo (*Cicer arietinum*) un cultivo miembro de la familia fabácea originario de del sureste de Turquía y Syria. Es de gran importancia a nivel mundial, ya que es una excelente fuente de proteínas para consumo animal y humano, en especial en países en vías de desarrollo (Sharma *et al.*, 2013). Además de sus características nutrimentales, esta leguminosa, juega un papel importante en la sostenibilidad agrícola, ya que se utiliza como cultivo de rotación, debido a que permite la fijación de N_2 en el suelo. Dado que esta planta es cultivada en zonas con problemas agroecológicos severos (Kashiwagi *et al.*, 2015), es de suma importancia evaluar variedades capaces de tolerar el estrés abiótico, ya sea por medios fisiológicos o mediante sistemas como el antioxidante endógeno de la planta.

El presente trabajo se enfoca primordialmente en la revisión de los trabajos que han realizado la evaluación de la respuesta del sistema antioxidante enzimático y no enzimático del cultivo de garbanzo generadas bajo condiciones de estrés abiótico.

10.1 Generalidades del garbanzo (*Cicer arietinum*)

El garbanzo (*Cicer arietinum*) es un cultivo miembro de la familia fabácea que se originó y domesticó hace 12000-10000 años en la región del sureste de Turquía y áreas cercanas de Siria (Aliu *et al.*, 2016). La evidencia reciente sugiere que esto ocurrió como un evento único debido a la distribución geográfica limitada de las especies silvestres y la baja variación genética de la planta ya cultivada. Hace 4000-5000 años aprox., las formas domesticadas, inicialmente de tipos desi, fueron introducidas al sur de Europa y al norte de África mediante las rutas comerciales hacia el Mediterráneo. Los tipos kabuli llegaron después (hace 300 años aprox).

La importancia de Kabul en la ruta de la seda sugiere la introducción por tierra y el origen de la palabra 'kabuli'. En el siglo XVI, los viajeros españoles y portugueses llevaron tipos kabuli al Sur y América central en el que llegó a ser conocido por su nombre español 'garbanzo' (Maesen, 1987)

En la actualidad existe una creciente demanda de garbanzos debido a su valor nutricional, para consumo animal (Bampidis y Christodoulou 2011) y para consumo humano, en las zonas tropicales semiáridas esta leguminosa es un componente importante de la dieta ya que es considerado un sustituto de la proteína cárnica. Además es un producto libre de colesterol y es una buena fuente de fibra dietética, vitaminas y minerales (Jukanti *et al.*, 2012) (Tabla 10).

Tabla 10 Composición química de algunas leguminosas Leguminosa

| Leguminosa | Proteína* | Lípidos* | Carbohidratos* | Fibra* | Minerales* |
|---------------|-----------|----------|----------------|--------|------------|
| Frijol negro | 26.9 | 1.6 | 66.9 | 1.0 | 3.6 |
| Judía mungo | 26.7 | 2.3 | 64 | 7.2 | 3.6 |
| Garbanzo | 22.7 | 5.0 | 66.3 | 3.0 | 3.0 |
| Alubias | 24.1 | 1.8 | 65.2 | 4.5 | 4.4 |
| Chícharos | 27.4 | 1.3 | 66.6 | 0.9 | 3.8 |
| Lentejas | 28.6 | 0.8 | 67.3 | 0.8 | 2.4 |
| Chícharo seco | 25.7 | 1.6 | 68.6 | 1.6 | 3.0 |

*Cantidades expresadas en porcentaje (%) b.s. Fuente: tomado de (Vélez-Ruiz y F, 2013)

Dada su importancia nutrimental, hoy en día el cultivo de garbanzo está ampliamente distribuido en todo el mundo, sin embargo, la mayor parte se produce en entornos donde las condiciones no siempre resultan favorables como (a) Sistemas de suelos húmedos en el sur de Asia, (b) precipitaciones intensas durante la temporada en el Mediterráneo, (c) arenas alcalinas en el norte de la India (d) suelos aluviales en el noroeste de la India y Nepal y (e) poca retención de humedad en los suelos de Australia (Kashiwagi *et al.*, 2015).

Aunado a esto, los constantes cambios climáticos actuales intensifican los eventos que desencadenan el estrés abiótico en las plantas, afectando el rendimiento final (Leport *et al.*, 2006)(Wang *et al.*, 2006). Si bien el componente climático no es el único factor involucrado en el desarrollo del cultivo de garbanzo, se ha reportado que el estrés generado estos factores abióticos afecta la floración y el llenado de semillas, generando una pérdida importante en la producción final del cultivo (Mohammadi *et al.*, 2011).

10.2 Producción y daños producidos por ROS

Cuando las plantas son sometidas a estrés por factores abióticos ambientales (sequía, luminosidad, temperatura, salinidad y metales) suceden cambios que afectan su desarrollo estructural, fisiológico y procesos bioquímicos (Ahmad *et al.*, 2010). El efecto primario del estrés, es la ruptura del balance osmótico que desencadena la generación de especies reactivas del oxígeno (ROS) que son un grupo de radicales libres, iones moléculas y moléculas reactivas que incluyen el oxígeno singulete ($^1\text{O}_2$), radicales superóxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$) y peróxido de hidrogeno (H_2O_2), por mencionar algunos (Tabla 10.1) (Roldán-Arjona y Ariza 2009).

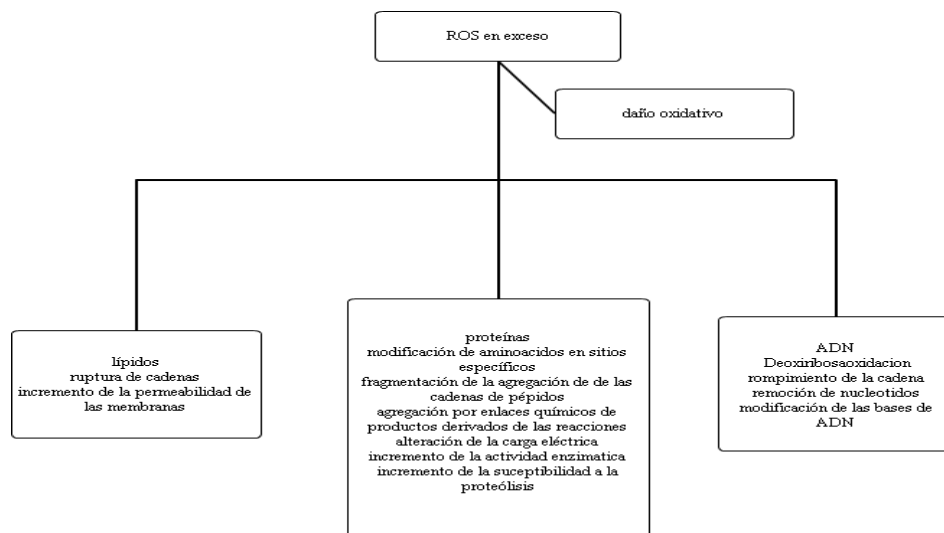
Tabla 10.1 Principales especies reactivas del oxígeno en plantas

| ROS | T1/2 | Fuentes | Modo de acción | Reacción con DNA | Reacción con proteína |
|--|-------------------|--|---|--------------------------|---------------------------------------|
| Superoxido ($\text{O}_2^{\cdot-}$) | 1-4 μs | Membranas cloroplastos mitocondria | Reacciona con complejos que contiene dobles enlaces como proteínas Fe-S | Muy baja | Con el centro Fe |
| Radial hidroxilo (OH^{\cdot}) | 1 μs | Membranas cloroplastos mitocondria | Extremadamente reactivo con todas las biomoléculas | Rápida | Rápida |
| Peróxido de hidrogeno (H_2O_2) | 1ms | Membranas cloroplastos mitocondria peroxisomas | Oxida proteínas y formas de OH vía O_2 | baja | Ataca residuos Cys |
| Oxigeno singulete ($^1\text{O}_2$) | 1-4 μs | Membranas cloroplastos mitocondria | Oxida proteínas PUFAs y ADN | Reacciona con residuos G | Ataca residuos de Trp, Tyr, Met y Cys |

Fuente: Adaptado de Kaushik y Roychoudhury (2014)

Se ha estimado que cerca del 1% del oxígeno consumido por las plantas se transforma en ROS en varios compartimentos de la célula vegetal, no obstante, aun cuando estas moléculas juegan un papel beneficioso (en bajas concentraciones actúan como segundo mensajero en la señalización) (Choudhury *et al.*, 2013; Sharma *et al.*, 2012), en altas concentraciones causan daños en proteínas, lípidos, proteínas, carbohidratos y DNA (Figura 10) que culmina en la muerte celular (Ahmad *et al.*, 2009).

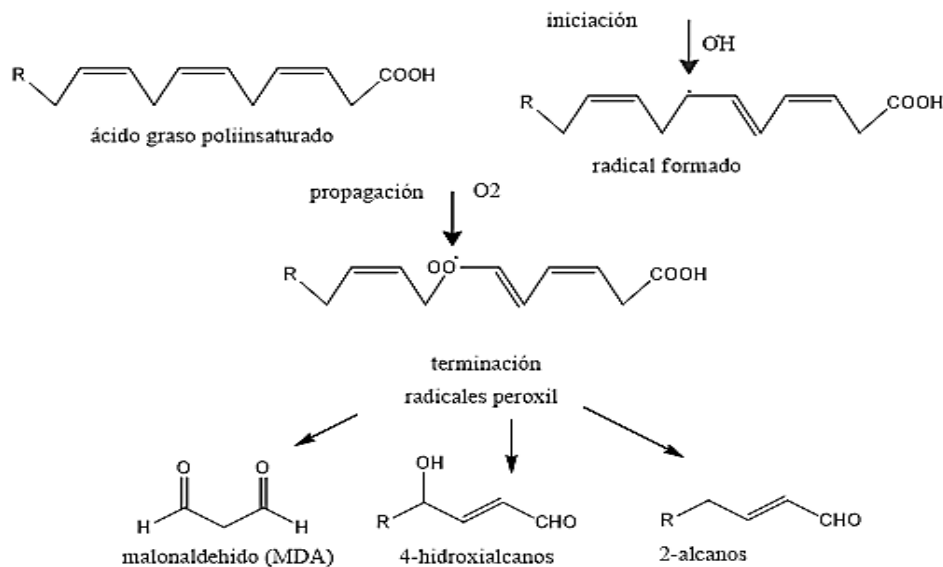
Figura 10 Daños provocados por ROS en células vegetales



Fuente: Adaptado de Sharma *et al.*, 2012

Las principales moléculas atacadas por las especies reactivas son los lípidos y las proteínas y algunos carbohidratos libres. Los lípidos vegetales incluyen grasas, ceras, esteroides, fosfolípidos, hidrocarburos ácidos grasos libres y lípidos de membrana constituyen un componente químico importante de todas las membranas celulares y están representados principalmente por fosfolípidos (la más abundante) y esteroides (en particular, estigmasterol) (Anjum *et al.*, 2015). La peroxidación de los lípidos (POL) es considerado como el proceso más dañino generado en los tejidos vivos, ya que se asocia a la oxidación lipídica y con la programación de la muerte celular (Farmer y Mueller 2013). De hecho, la medición de los derivados de la peroxidación lipídica resulta ser un indicador confiable de la presencia de ROS (Figura 10.1). Durante la POL, los productos se forman a partir de precursores de ácidos grasos poliinsaturados dando como resultado incluyen pequeños fragmentos de hidrocarburos tales como cetonas, malonaldehído (MDA) y compuestos relacionados con ellos, estas moléculas son altamente reactivas (Gill y Tuteja 2010) iniciando la cadena de oxidación de otros lípidos o bien daños a otras macromoléculas como las proteínas.

Figura 10.1 Generación de lipoperóxidos



Fuente: (Mimica-Dukić *et al.*, 2012)

La oxidación de proteínas se define como la modificación covalente inducida por los ROS o subproductos del estrés oxidativo. La mayoría de los tipos de oxidaciones de proteínas son esencialmente irreversible, mientras que, algunas pocas que involucran aminoácidos que contienen azufre son reversibles (Ahmad *et al.*, 2010). La oxidación proteica puede utilizarse como marcador para diagnosticar el estrés en plantas, el daño más común es dado a los residuos Cys, Met, Arg, Pro y Trp, (Møller *et al.*, 2007), a las formas mtADN nADN o bien con la formación de complejos con productos derivados de la oxidación de lípidos generando modificaciones del ADN o conduciendo a cambios en la metilación de las citosinas, lo cual, es importante para la regulación de la expresión génica (Ahmad *et al.*, 2009).

En el caso de la oxidación de los carbohidratos, resulta menor en comparación con la oxidación de lípidos y proteínas, generalmente los polisacáridos de la pared celular, azúcares y polioles son susceptibles a la oxidación mediante radicales HO^\bullet cuya acción está involucrada en la debilitación de la pared celular durante la maduración y senescencia de las frutas (Møller *et al.*, 2007).

Para aliviar el exceso de ROS, las plantas han desarrollado diversos mecanismos que incluyen antioxidantes de carácter enzimático (Gill y Tuteja 2010) y no enzimático que son derivados del metabolismo secundario de la plantas, entre los que se destaca los compuestos polifenólicos, carotenoides y diversos ácidos orgánicos (Wanasundara y Shahidi 2005).

10.3 Sistema antioxidante

Los antioxidantes (enzimáticos y no enzimáticos) juegan un rol crítico en la eliminación de ROS y su actividad generalmente se correlaciona con la defensa ante el estrés abiótico y el desarrollo de las plantas. La supervivencia en el medio ambiente requiere de un estado redox estable, que necesita vías antioxidantes eficaces para restaurar el balance de la producción de ROS y el estado homeostático celular, previniendo así la muerte de la misma (Choudhury *et al.*, 2013). Los antioxidantes más comunes y la forma en la que contribuyen a la inactivación de moléculas reactivas son mencionados en la Tabla 10.2.

Tabla 10.2 Diferentes antioxidantes con capacidad de inactivar ROS

| Antioxidante | código | Mayor reacción catalizada | Sitio de reacción |
|---|---------------|--|-------------------------|
| SOD (superóxido dismutasa) | EC 1.15.1.1 | $2O_2^- + 2H^+ \rightarrow H_2O_2 + O_2$ | Chl, Cyt, Apo, Mit, Per |
| CAT (catalase) | EC 1.11.1.6 | $H_2O_2 \rightarrow H_2O + \frac{1}{2}O_2$ | Per, Chl, Mit |
| APX (ascorbate peroxidasa) | EC 1.11.1.11 | $H_2O_2 + 2AsA \rightarrow 2H_2O + 2MDHA$ | Chl, Cyt, Apo, Mit, Per |
| MDHAR (monodehidro ascorbato reductasa) | EC 1.6.5.4 | $NADH + H^+ + 2MDHA \rightarrow 2AsA + NADP^+$ | Chl, Cyt, Mit |
| DHAR (Dehidroascorbato reductasa) | EC 1.8.5.1 | $DHA + 2GSH \rightarrow AsA + GSSG$ | Chl, Cyt, Mit |
| GR (glutathione reductase) | EC 1.6.4.2 | $NADPH + H^+ + GSSG \rightarrow 2GSH + NADP^+$ | Chl, Mit, Cyt |
| GPX (glutathione peroxidasa) | EC 1.11.1.9 | $2GSH + ROOH(H_2O_2) \rightarrow GSSG + ROH + H_2O(2H_2O)$ | Cyt, Mit |
| GST (glutathione transferase) | EC 2.5.1.18 | $H_2O_2 + 2GSH \rightarrow 2H_2O + GSSG + RX$
$+ GSH \rightarrow HX + GS - R$ | Chl, Cyt, Mit |
| AsA | - | <i>inactiva</i> O_2^- , H_2O_2 , 1O_2 | Chl, Cyt, Apo, Mit, Per |
| GSH | - | <i>inactiva</i> H_2O_2 , $OH\bullet$, 1O_2 | Chl, Cyt, Apo, Mit, Per |
| POD | (EC 1.11.1.7) | $2RH + H_2O_2 \rightarrow 2R\bullet + 2H_2O$ | Membranas |
| PPX | EC 1.14.18.1 | | |
| Compuestos polifenolicos | - | $ROO\bullet + PhOH \rightarrow ROOH + PhO\bullet$ | - |
| Tocoferoles | - | <i>inactiva</i> 1O_2 , $OH\bullet$, $ROO\bullet$, $ROOH$ | Membrana |

Chl cloroplastos, Cyt: citosol, Mit mitochondria, PhOH: antioxidante fenólico Apo: apoplasto, Per: peroxisome, R: pueden ser grupos alifáticos aromáticos o heterocíclicos, X: pueden ser grupos sulfato nitrito o haluro

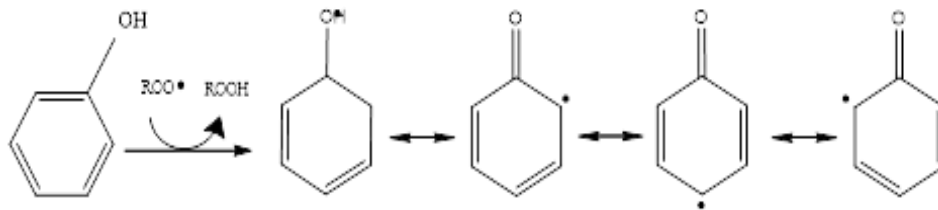
Fuente: Hasanuzzaman *et al.*, (2012); Awad *et al.*, (2011); Amahad *et al.*, (2010); Almagro *et al.*, (2009)

10.4 Inactivación de ROS

Cada enzima y/o metabolito secundario actúa de manera distinta al captar, o inactivar radicales libres, un antioxidante se define como una sustancia o compuesto que cuando se encuentra en baja concentración en comparación con un sustrato oxidable, es capaz de retrasar o detener las reacciones de oxidación, ya sea en sistemas biológicos o no biológicos susceptibles de sufrir daños por esa causa (Moon y Shibamoto 2009).

Uno de los principales antioxidantes presentes en las plantas son los compuestos polifenólicos que constituyen el grupo de metabolitos secundarios más abundantes en las plantas. Sus propiedades antioxidantes están relacionadas con su estructura química como los anillos fenólicos, enlaces de hidrógeno y resonancia, mismas que pueden facilitar la captación de radicales peróxido (ROO^\bullet) en moléculas más estables (Wanasundara y Shahidi 2005), su habilidad para donar hidrógeno o electrones, así como por la habilidad del radical polifenólico de estabilizar y deslocalizar el electrón impar (ruptura de cadena de oxidación) (Ahmad *et al.*, 2010), es decir; la donación de un átomo de Hidrógeno al radical peroxi formando un radical peróxido, el radical nuevo exhibe menor energía lo que asegura su menor reactividad para catalizar la oxidación de otras moléculas, este nuevo radical es estabilizado mediante la delocalización del electrón impar próximo al anillo fenólico para formar un híbrido de resonancia estable (Figura 10.2). A este tipo de mecanismo se le conoce como “ruptura de la cadena de oxidación” (Ahmad *et al.*, 2010).

Tabla 10.2 Híbridos con resonancia estable de derivados de antioxidante fenólicos



Fuente: (Shahidi, 2005)

Aquellos antioxidantes que no interrumpen directamente la cadena de oxidación son conocidos como antioxidantes secundarios y pueden actuar mediante otros mecanismos como la quelación de iones metálicos, oxígeno, descomposición de hidroperóxidos, absorbiendo radiación UV y desactivando el oxígeno singlete. En esta clasificación encontramos a las enzimas antioxidantes que comprenden la superóxido dismutasa (SOD) que descompone $\text{O}_2^{\bullet-}$ a O_2 y H_2O_2 que se oxida después a oxígeno molecular y H_2O por peroxidasas (POX), catalasa (CAT) y enzimas de la ruta ascorbato-glutatión, tales como ascorbato peroxidasa (APX) y la glutatión reductasa (GR) (Ardic *et al.*, 2009) que actúan al inactivar el radical H_2O_2 presente en los cloroplastos y mitocondrias. Los otros antioxidantes enzimáticos, catalasa (CAT) y peroxidasa (POX), son capaces de eliminar H_2O_2 , neutralizar o eliminar los radicales y oxintermedios libres tal como se muestra en la Tabla 10.3 (Jaleel *et al.*, 2009).

El sistema de defensa antioxidante, actúa de manera sinérgica para controlar la de oxidación y así proteger a las células vegetales (Gill y Tuteja 2010). Estos sistemas se encuentran en casi todos los compartimentos celulares, lo que demuestra la importancia de la desintoxicación de los ROS para la supervivencia celular (Hasanuzzaman *et al.*, 2012). Una vez que las plantas se someten a factores que generan ROS, las células vegetales reaccionan de distinta manera dependiendo del factor de estrés, tiempo de exposición, variedad genética y periodos previos (Møller *et al.*, 2007). Si bien la evaluación de cultivos durante periodos o factores de estrés es algo bien documentado (Jenks, 2007), la descripción de la respuesta antioxidante después de periodos de estrés abiótico es algo poco estudiado, en el cultivo de garbanzo, ya que la mayor parte de las investigaciones relativas a este tipo de estrés se centra en la búsqueda de marcadores genéticos o en la fisiología y rendimiento del cultivo (Peng *et al.*, 2009; Molina *et al.*, 2008; Leport *et al.*, 2006; Srinivasan *et al.*, 1999).

En los trabajos de investigación donde se evalúa la respuesta antioxidante ante el estrés abiótico, generalmente se busca la actividad enzimática y la producción de MDA como índice de oxidación, la comprensión de estas respuestas en el cultivo de garbanzo bajo factores de estrés abiótico, puede ayudar en la comprensión global de la tolerancia del cultivo ante dichos factores o bien contribuir al monitoreo y control previo al estrés, ya que los cambios en la producción de ROS y la respuesta antioxidante son detectables antes de identificar cualquier cambio morfológico a nivel visual (Nazari *et al.*, 2012).

10.5 Sistema antioxidante de (*Cicer arietinum*) bajo condiciones de estrés

La sequía, salinidad, frío y altas temperaturas son considerados los mayores factores de estrés abiótico (Grant, 2012), sin embargo existen otros factores como metales pesados, aleloquímicos (herbicidas) y exposición a rayos UV que pueden generar estrés (El-Soud *et al.*, 2013; Gunes *et al.*, 2009). La sequía y la salinidad son los factores abióticos más estudiados en el cultivo de garbanzo debido a que la mayor parte de la producción mundial se cultiva en regiones semiáridas (Sohrabi *et al.*, 2012). Si bien los trabajos sobre la identificación de variedades tolerantes a factores abióticos en garbanzo son abundantes, la mayoría se enfoca en la identificación de marcadores genéticos (Sharma *et al.*, 2013), dejando la búsqueda de la actividad antioxidante enzimática y no enzimática como un método más sencillo y menos costoso para lograr dicha identificación.

10.6 Sequía

En el trabajo reportado por Mohammadi *et al.*, (2011) se evaluaron tres variedades de garbanzo (Jam, ILC 482 y Bivanij), bajo condiciones de estrés por sequía con la adición de selenio. Para la actividad SOD se reporta un incremento de actividad de 709 u/g proteína a 1127 u/g proteína, no se reporta diferencia entre variedades pero sí entre la adición de selenio, en cuanto a la actividad la actividad CAT reporta un incremento de 59.95 u/g proteína a 103.84 μ /g proteína, al igual que la actividad SOD no reporta interacción respecto a las variedades. La actividad GPX se distingue el incremento de la actividad en condiciones de sequía e interacciones entre la adición de selenio, siendo la variedad Bivaniji y Jam las que reportan mejor actividad. Si bien este trabajo no reporta compuestos no enzimáticos, sí refiere el incremento de la producción de MDA (derivado de la oxidación lipídica), como indicativo principal de las variedades tolerantes. Por su parte Pradeep *et al.* (2011) evaluaron, las variedades Tyson, ICC 4958, JG 315 y DCP 92-3 con tratamiento de estrés por sequía con la adición de ácido salicílico (AS), durante dos estadios críticos distintos (pre y post anthesis). En este trabajo se observó reducción de las lesiones relativas a la oxidación en las plantas sometidas al estrés tratadas con AS a 1,5 mM en comparación con las plantas control. La actividad POL, CAT, POX, SOD, y APX, fue diferente entre variedades de garbanzo y entre los periodos de estrés. Las variedades identificadas como tolerantes fueron Tyson e ICC-4958. Adicionalmente, se indica la posible eficiencia superior de la actividad POX comparada con la actividad CAT en la detoxificación del radical H₂O₂, así como la interacción positiva de la actividad SOD con la adición de AS.

10.7 Salinidad

Rasool *et al.*, (2013) evaluó ocho variedades de garbanzo en distintos niveles de salinidad, El aumento de la concentración de sal aumenta la actividad de las enzimas antioxidantes como la SOD, CAT, APX y GR en todos los genotipos de garbanzo. Sin embargo, no se observan los mismos cambios en todas las variedades con actividad máxima en las variedades SKUA-06 y SKUA-07. Aunado a esto, se analizaron los genotipos de variedades tolerantes y sensibles a la sal, mediante PCR en tiempo real, que reveló que la expresión de los genes de SOD, APX y CAT se incrementó en presencia de NaCl en las variedades tolerante.

10.8 Temperatura

Kaushal *et al.*, (2011) evaluaron tratamientos de estrés por temperatura, con la adición de prolina, en la variedad GPF2, en este estudio demostraron que las plantas que crecen en la presencia de prolina adicionada acumulando hasta 63 mmol g^{-1} (base seca), mostraron menos daño a las membranas, además, observó una mejora significativa en las actividades de las enzimas del metabolismo del carbono, y en SOD, CAT, APX, así como en el ácido ascórbico, glutatióna y prolina, no obstante el aumento de la actividad solo se observó a $40/35 \text{ }^\circ\text{C}$, ya que a mayores temperaturas $45/40 \text{ }^\circ\text{C}$ se mostró una disminución en comparación con los controles, los autores atribuyen dicha respuesta, puede deberse a la desnaturalización por la temperatura. Caso contrario se observó con la producción de MDA cuyo valor se vio disminuido aun a altas temperaturas en parte por la prolina añadida.

En el caso de estrés provocado por frío Kaur *et al.*, (2009) evaluaron ocho variedades de garbanzo ICCV 96029, ICCV 96030, 5008, 5012, 5014, 5018, 5039 y 5078 ante bajas temperaturas durante la etapa reproductiva demostrando que la actividad enzimática CAT, GSH y GR aumento considerablemente en las variedades tolerantes. La actividad GR fue mayor en las paredes de líneas tolerantes puede deberse a un aumento de la translocación de GSH de las paredes a las semillas, que podrían contribuir a aumentar la quelación de los ROS, proporcionando tolerancia a la pared de las vainas contra las bajas temperaturas. En comparación con los controles, también se detectó que las actividades específicas CAT y APX son mayores en las paredes de las variedades tolerantes. Existen otros trabajos como el reportado por Erdal *et al.*, (2015), donde además de las enzimas comúnmente identificadas (SOD, APX, CAT y GR), se evaluó la respuesta de la enzima guaiacol peroxidasa (GPX) y la AOX denominada oxidasa alternativa, (la cual se sigue que se activa solo en condiciones de estrés) y algunos compuestos antioxidantes como el ácido ascórbico y la glutatióna, en semillas de garbanzo variedad Müfitbey tratadas con ácido salicilhidroxámico (SHAM) piruvato y antimicina A durante el estrés por frío. El estrés por frío aumentó notablemente la actividad de las enzimas antioxidantes en comparación con el control. La adición de piruvato y antimicina aumentaron significativamente la actividad antioxidante, disminuyendo en las semillas tratadas con SHAM. De igual manera los niveles de POL se redujeron significativamente en presencia de piruvato y antimicina A, aumentando en el tratamiento de SHAM.

10.9 Otros

Ardic *et al.*, (2009) evaluaron la respuesta antioxidante en las variedades Küsmen y Gökce ante el estrés provocado por Boro (B). En el estudio se encontraron aumentos significativos en la actividad SOD total en los brotes de ambas variedades en dosis de 1,6 y 6,4 mm de B, exhibiendo bandas de actividad, identificados como MnSOD y Cu/ZnSOD, (mitocondrial y cobre/zinc dependiente) En comparación con el grupo de control, todas las actividades de enzimas (excepto APX y SOD) disminuyeron con 1,6 mm de B. la actividad GR disminuyó, mientras que las actividades de CAT, POX y APX no cambiaron con 6,4 mm B para la variedad Küsmen. Por otra parte, las actividades de CAT, APX y SOD aumentaron en la variedad Gökce a ambos niveles de B. Además, la peroxidación lipídica fue mayor en Küsmen que en Gökce, lo que indica más daño que la variedad Gökce es más tolerante que Küsmen ante el estrés generado por B, dado que su sistema antioxidantes actúa disminuyendo la producción de MDA protegiendo a las membranas. En el trabajo realizado por Ceylan *et al.*, (2013), probaron la adición de coronatina (COR) ante el estrés osmótico generado por polietilenglicol (PEG), temperatura y la combinación de ambos factores en la raíz de la variedad ICC 4958. En este estudio se destaca el incremento de la actividad de enzimas quelantes de H_2O_2 en las plantas tratadas con COR bajo estrés por temperatura, así como de las enzimas APX en estrés por PEG y las enzimas CAT y POX en la combinación de ambos tipos de estrés. La adición de COR aumenta la actividad enzimática promoviendo la disminución del MDA y del H_2O_2 y con ello la protección de las membranas.

Similar a lo realizado por Ceylan *et al.*, (2013), el trabajo de El-Soud *et al.*, (2013) evaluó la capacidad de la adición de ácido elágico para detener el estrés osmótico generado por PEG a (0, -0.2, -0.4, -0.6 y -0.8 MPa) durante la germinación de garbanzo. Las plántulas tratadas mostraron menores niveles de POL. La (GSH), flavonoides (CAT), (POX), (SOD), y (GR), así como las enzimas de la vía del ácido shikímico (fenilalanina amonio liasa y la chalcona sintasa) mostraron un notable incremento con el tratamiento previo de ácido elágico en comparación con plántulas no tratadas, especialmente bajo estrés osmótico en valores bajos (-0,2 y -0.4MPa). Estos resultados sugieren que el tratamiento con ácido elágico podría conferir una mayor tolerancia de las plántulas de garbanzo a estrés osmótico, a través de la reducción de los niveles de H₂O₂ mediante el aumento de los compuestos antioxidantes y de actividad enzimática antioxidante.

10.10 Conclusiones

La mayoría de los trabajos refiere la actividad SOD y CAT seguido del a actividad GR y APX, en cuanto a los compuestos no enzimáticos son relativamente pocos aquellos estudios que evalúan dichos compuestos en condiciones de estrés. Generalmente los compuestos fenolicos en garbanzo se evalúan en semilla para calidad tecnológica, sin embargo la producción del radical MDA funge como indicativo confiable de la presencia de daños por oxidación en las membranas en los cultivos sujetos a estrés.

Exceptuando el caso del estrés por temperatura alta, donde las enzimas parecen desnaturalizarse, resulta factible la medición de la actividad enzimática como criterio que facilite la identificación de variedades tolerantes, además, existe la posibilidad de que la adición de otros de cofactores como el COR y el ácido elágico pueden contribuir potencializando la actividad de las enzimas antioxidantes. De manera natural existen iones y otros compuestos que coadyuvan la catálisis enzimática, quizá resulte conveniente evaluar su adición, dosis y cómo influye en la respuesta antioxidante ante distintos factores de estrés, a fin de encontrar nuevos procedimientos que puedan minimizar los daños oxidativos y con ello garantiza de cierto modo la producción agrícola de este cultivo.

10.11 Referencias

- Ahmad, P., Jaeel, C., Azooz, M., y Nabi, G. (2009). Generation of ROS and non-enzymatic antioxidants during abiotic stress in plants. *Botany Research International*, 2(November), 11–20.
- Ahmad, P., Jaleel, C. A., Salem, M. A, Nabi, G., y Sharma, S. (2010). Roles of enzymatic and nonenzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. *Critical reviews in biotechnology*, 30(3), 161–175.
- Aliu, s., Kaul, H., Rusinovci, I., Shala-Mayrhofer, V., Fetahu, S., y Zeka, D. (2016). Genetic Diversity for Some Nutritive Traits of chickpea (*Cicer arietinum l.*) From different regions in Kosova. *Turkish Journal of Field Crops*, 21(1), 154.
- Almagro, L., Gómez R, L., Belchi-Navarro, S., Bru, R., Ros-Barceló, A., y Pedreño, M. A. (2009). Class III peroxidases in plant defence reactions. *Journal of Experimental Botany*, 60(2), 377–390.
- Anjum, N. A., Sofó, A., Scopa, A., Roychoudhury, A., Gill, S. S., Iqbal, M., Ahmad, I. (2015). Lipids and proteins—major targets of oxidative modifications in abiotic stressed plants. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(6), 4099–4121.

- Ardic, M., Sekmen, A., Tokur, S., Ozdemir, F., y Turkan, I. (2009). Antioxidant responses of chickpea plants subjected to boron toxicity. *Plant Biology*, 11(3), 328–338.
- Awad, M., Al-Qurashi, A., y Mohamed, S. (2011). Antioxidant capacity, antioxidant compounds and antioxidant enzyme activities in five date cultivars during development and ripening. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 688–693. Bampidis, V. A., y Christodoulou, V. (2011). Chickpeas (*Cicer arietinum* L.) in animal nutrition: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 168(1-2), 1–20.
- Ceylan, H., Türkan, I., y Sekmen, A. (2013). Effect of Coronatine on Antioxidant Enzyme Response of Chickpea Roots to Combination of PEG-Induced Osmotic Stress and Heat Stress. *Journal of Plant Growth Regulation*, 32(1), 72–82.
- Chang-Quan, W., y Rui-Chang, L. (2008). Enhancement of superoxide dismutase activity in the leaves of white clover (*Trifolium repens* L.) in response to polyethylene glycol-induced water stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(6), 841–847.
- Choudhury, S., Panda, P., Sahoo, L., y Panda, S. K. (2013). Reactive oxygen species signaling in plants under abiotic stress. *Plant Signaling and Behavior*, 8(4), e23681.
- El-Soud, W, Hegab, M., Elgawad, H., Zinta, G., y Asard, H. (2013). Ability of ellagic acid to alleviate osmotic stress on chickpea seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 71, 173–183.
- Erdal, S., Genisel, M., Turk, H., Dumlupinar, R., y Demir, Y. (2015). Modulation of alternative oxidase to enhance tolerance against cold stress of chickpea by chemical treatments. *Journal of Plant Physiology*.
- Farmer, E., y Mueller, M. (2013). ROS-Mediated Lipid Peroxidation and RES-Activated Signaling. *Annual Review of Plant Biology*, 64(1), 429–450.
- Gill, S. S., y Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909–930.
- Grant, O. (2012). Abiotic Stress Responses in Plants. *Abiotic Stress Responses in Plants: Metabolism, Productivity and Sustainability*, 89–104.
- Gunes, A., Pilbeam, D. J., y Inal, A. (2009). Effect of arsenic-phosphorus interaction on arsenic-induced oxidative stress in chickpea plants. *Plant and Soil*, 314(1-2), 211–220.
- Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., da Silva, J. A. T., y Fujita, M. (2012). Plant response and tolerance to abiotic oxidative stress: antioxidant defense is a key factor. In *Crop stress and its management: Perspectives and strategies* (pp. 261–315). Springer Netherlands.
- Hudson, B. J. (1990). *Food antioxidants*. London, (Ed.). Elsevier applied science.
- Jaleel, C., Riadh, K., Gopi, R., Manivannan, P., Al-Juburi, H. J., Panneerselvam, R. (2009). Antioxidant defense responses: Physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31(3), 427–436.
- Jenks, M. (2007). *Plant Abiotic Stress*. Blacwell Science (Vol. 43).

- Jukanti, A., Gaur, P., Gowda, C., y Chibbar, R. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition*, 108(S1), S11–S26.
- Kashiwagi, J., Krishnamurthy, L., Purushothaman, R., Upadhyaya, H., Gaur, P., Gowda, C., Varshney, R. (2015). Scope for improvement of yield under drought through the root traits in chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Field Crops Research*, 170, 47–54.
- Kaur, S., Gupta, A., Kaur, N., Sandhu, J., y Gupta, S. (2009). Antioxidative enzymes and sucrose synthase contribute to cold stress tolerance in chickpea. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(5), 393–397.
- Kaushal, N., Gupta, K., Bhandhari, K., Kumar, S., Thakur, P., y Nayyar, H. (2011). Proline induces heat tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.) plants by protecting vital enzymes of carbon and antioxidative metabolism. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 17(3), 203–213.
- Kaushik, D., y Roychoudhury, A. (2014). Reactive oxygen species (ROS) and response of antioxidants as ROS-scavengers during environmental stress in plants. *Frontiers in Environmental Science*, 2(December), 53 (1–13).
- Leport, L., Turner, N., Davies, S., y Siddique, K. (2006). Variation in pod production and abortion among chickpea cultivars under terminal drought. *European Journal of Agronomy*, 24(3), 236–246.
- Maesen, L. J. G. (1987). Origin, history and taxonomy of the chickpea.
- Mimica-Dukić, N., Simin, N., Svirčev, E., Orčić, D., Beara, I., Lesjak, M., y Božin, B. (2012). The effect of plant secondary metabolites on lipid peroxidation and eicosanoid pathway. *Lipid Peroxidation*, 193–210, book edited by Angel Catala, ISBN 978-953-51-0716-3, Published: August 29, 2012 under CC BY 3.0
- Mohammadi, A., Habibi, D., Rohami, M., y Mafakheri, S. (2011). Effect of Drought Stress on Antioxidant Enzymes Activity of Some Chickpea Cultivars. *American-Eurasian J. Agric. y Environ. Sci.*, 11(6), 782–785.
- Molina, C., Rotter, B., Horres, R., Udupa, S. M., Besser, B., Bellarmino, L., Winter, P. (2008). SuperSAGE: the drought stress-responsive transcriptome of chickpea roots. *BMC genomics*, 9,
- Møller, I., Jensen, P., y Hansson, A. (2007). Oxidative modifications to cellular components in plants. *Annual review of plant biology*, 58, 459–81.
- Moon, J., y Shibamoto, T. (2009). Antioxidant assays for plant and food components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(5), 1655–1666.
- Nazari, M., Maali Amiri, R., Mehraban, F. H., y Khaneghah, H. Z. (2012). Change in antioxidant responses against oxidative damage in black chickpea following cold acclimation. *Russian Journal of Plant Physiology*, 59(2), 183–189. <http://doi.org/10.1134/S102144371201013X>
- Pan, Y., Wu, L. J., y Yu, Z. L. (2006). Effect of salt and drought stress on antioxidant enzymes activities and SOD isoenzymes of liquorice (*Glycyrrhiza uralensis* Fisch). *Plant Growth Regulatin*, 49(2-3), 157–165.

- Peng, H., Cheng, H. Y., Yu, X. W., Shi, Q. H., Zhang, H., Li, J. G., y Ma, H. (2009). Characterization of a chickpea (*Cicer arietinum* L.) NAC family gene, CarNAC5, which is both developmentally- and stress-regulated. *Plant Physiology and Biochemistry*, 47(11-12), 1037–1045.
- Pradeep, P., Hemantaranjan, A., Sarma, B., y Singh, R. (2011). Growth and antioxidant system under drought stress in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) as sustained by salicylic acid. *Growth and antioxidant system under drought stress in Chickpea (*Cicer arietinum* L.) as sustained by salicylic acid*, 7(4), 130–144.
- Rasool, S., Ahmad, A., Siddiqi, T. O., y Ahmad, P. (2013). Changes in growth, lipid peroxidation and some key antioxidant enzymes in chickpea genotypes under salt stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(4), 1039–1050.
- Roldán-Arjona, T., y Ariza, R. (2009). Repair and tolerance of oxidative DNA damage in plants. *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*, 681(2-3), 169–179.
- Shankar, V., Kumar, D., y Agrawal, V. (2016). Assessment of Antioxidant Enzyme Activity and Mineral Nutrients in Response to NaCl Stress and its Amelioration Through Glutathione in Chickpea. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 178(2), 267–284.
- Sharma, P., Jha, A. B., Dubey, R. S., y Pessarakli, M. (2012). Reactive Oxygen Species, Oxidative Damage, and Antioxidative Defense Mechanism in Plants under Stressful Conditions. *Journal of Botany*, 2012, 1–26. <http://doi.org/10.1155/2012/217037>
- Sharma, S., Upadhyaya, H., Roorkiwal, M., Varshney, R., y Gowda, C. (2013). Chickpea. Genetic and Genomic Resources of Grain Legume Improvement. Elsevier Inc.
- Sohrabi, Y., Heidari, G., Weisany, W., Golezani, K., y Mohammadi, K. (2012). Changes of antioxidative enzymes, lipid peroxidation and chlorophyll content in chickpea types colonized by different *Glomus* species under drought stress. *Symbiosis*, 56(1), 5–18.
- Varshney, R. K., y Gowda, C. L. (2013). Shivali Sharma, Hari D. Upadhyaya, Manish Roorkiwal. Genetic and Genomic Resources of Grain Legume Improvement, 8
- Vélez-ruiz, V. G., y F, A. J. (2013). Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 7, 25–34.
- Wanasundara, P., y Shahidi, F. (2005). Antioxidants: Science, Technology, and Applications. En F. Shahidi. (Ed.), *Bailey's Industrial Oil and Fat Products* (sixth, pp. 431–489). John Wiley y Sons, Inc.
- Wang, J., Gan, Y. T., Clarke, F., y McDonald, C. L. (2006). Response of chickpea yield to high temperature stress during reproductive development. *Crop Science*, 46(5), 2171–2178.
- Zlatev, Z. S., Lidon, F. C., Ramalho, J. C., y Yordanov, I. T. (2006). Comparison of resistance to drought of three bean cultivars. *Biologia Plantarum*, 50(3), 389-394.

Apéndice A. Consejo Editor ECORFAN

ANGELES-CASTRO, Gerardo. PhD
Instituto Politécnico Nacional, México

MANRIQUEZ-CAMPOS, Irma. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México, México

PERALTA-FERRIZ, Cecilia. PhD
Washington University, EUA

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

DAVID-FELDMAN, German. PhD
Johann Wolfgang Goethe Universität, Alemania

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

VARGAS-HERNÁNDEZ, José. PhD
Keele University, Inglaterra

AZIZ-POSWAL, Bilal. PhD
University of the Punjab, Pakistan

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

PIRES-FERREIRA-MARÃO, José. PhD
Federal University of Maranhão, Brasil

RAÚL-CHAPARRO, Germán. PhD
Universidad Central, Colombia

QUINTANILLA-CÓNDOR, Cerapio. PhD
Universidad Nacional de Huancavelica, Perú

GARCÍA-ESPINOSA, Cecilia. PhD
Universidad Península de Santa Elena, Ecuador

ALVAREZ-ECHEVERRÍA, Francisco. PhD
University José Matías Delgado, El Salvador

GUZMÁN-HURTADO, Juan. PhD
Universidad Real y Pontifica de San Francisco Xavier, Bolivia

NUÑEZ-SELLES, Alberto. PhD
Universidad Evangelica Nacional, Republica Dominicana

ESCOBEDO-BONILLA, Cesar Marcial. PhD
Universidad de Gante, Belgica

ARMADO-MATUTE, Arnaldo José. PhD
Universidad de Carabobo, Venezuela

GALICIA-PALACIOS, Alexander. PhD
Instituto Politécnico Nacional, México

NAVARRO-FRÓMETA, Enrique. PhD
Instituto Azerbaidzhan de Petróleo y Química Azizbekov, Rusia

ALVAREZ-ECHEVERRÍA, Francisco. PhD
University José Matías Delgado, El Salvador

BELTRÁN-MORALES, Luis Felipe. PhD
Universidad de Concepción, Chile, Chile

TUTOR-SÁNCHEZ, Joaquín. PhD
Universidad de la Habana, Cuba.

ARAUJO-BURGOS, Tania. PhD
Universita Degli Studi Di Napoli Federico II, Italia

HIRA, Anil. PhD
Simon Fraser University, Canada

MIRANDA-GARCÍA, Marta. PhD
Universidad Complutense de Madrid, España

LUFUNDISU- BADENGO, Patrick. BsC
Institut Superieur de Techniques Appliquee, Republica Democratica del Congo

DUARTE, Oscar Mauricio
Higher Institute of Economics "Karl Marx" in Sofia, Bulgaria

OCAÑA, Ely. MsC
Universidad de San Carlos de Guatemala, Republica de Guatemala

CANTEROS, Cristina. PhD
Instituto Nacional de Enfermedades Ifecciosas-ANLIS "Dr. Carlos G. Malbrán", Argentina

NARVÁEZ-SOLÍS, Concepción. MsC
Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Republica de Nicaragua

CANDIDO-GONZALES, Bogarin. BsC
Universidad Nacional de Asunción, Paraguay

GANDICA-DE ROA, Elizabeth. PhD
Universidad Católica del Uruguay, Uruguay

BANERJEE, Bidisha. MsC
Amity University, India

Apéndice B. Comité Arbitral ECORFAN

HERNANDEZ-MARTÍNEZ, Rufina PhD
University of California, EUA

DE AZEVEDO-JUNIOR, Wladimir Colman. PhD
Federal University of Mato Grosso, Brasil

VARGAS-DELGADO, Oscar. PhD.
Universidad Centroamericana, Nicaragua

MARTINEZ-BRAVO, Oscar Mario. PhD
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica-UNAM

GONZALEZ-TORRIVILLA, Cesar Castor. PhD
Universidad Central de Venezuela Venezuela

TUTOR-SÁNCHEZ, Joaquín. PhD
Universidad de la Habana

YAN-TSAI, Jeng. PhD
Tampkang University, Taiwan.

POSADA-GOMEZ, Rubén. PhD
Institut National Polytechnique de la Lorraine, Francia

SOTERO-SOLIS, Victor Erasmo. PhD
Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, Perú

GONZÁLEZ-IBARRA, Miguel Rodrigo. PhD
Universidad Nacional Autónoma de México, México

MONTERO-PANTOJA, Carlos. PhD
Universidad de Valladolid, España

RAMIREZ-MARTINEZ, Ivonne. PhD
Universidad Andina Simón Bolívar, Bolivia

ARAUJO-BURGOS, Tania. PhD
Università Degli Studi Di Napoli Federico II, Italia

ALVAREZ-ECHEVERRÍA, Francisco. PhD
Universidad José Matías Delgado, El Salvador

SORIA-FREIRE, Vladimir. PhD
Universidad de Guayaquil, Ecuador

