

Tópicos agropecuarios

Otilio A. Acevedo Sandoval
Compilador



Tópicos agropecuarios

Instituto de Ciencias Agropecuarias

Áreas académicas:

Ciencias Agrícolas y Forestales

Medicina Veterinaria y Zootecnia

Ingeniería Agroindustrial e Ingeniería en Alimentos



**CONSEJO
EDITORIAL**

Este libro fue impreso con recursos del Programa Integral de Fortalecimiento Institucional (*PIFI*) 2014.

Tópicos agropecuarios

Otilio A. Acevedo Sandoval

Compilador



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Pachuca de Soto, Hidalgo, México

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

Octavio Castillo Acosta
Rector

Julio César Leines Medécigo
Secretario General

Marco Antonio Alfaro Morales
Coordinador de la División de Extensión de la Cultura

Armando Peláez Acero
Director del Instituto de Ciencias Agropecuarias

Fondo Editorial

Asael Ortiz Lazcano
Director de Ediciones y Publicaciones

Joselito Medina Marín
Subdirector de Ediciones y Publicaciones

Primera edición electrónica: 2025

D.R. © UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO
Abasolo 600, Col. Centro, Pachuca de Soto, Hidalgo, México, C.P. 42000

Dirección electrónica: editor@uaeh.edu.mx

El contenido y el tratamiento de los trabajos que componen este libro son responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente el punto de vista de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

ISBN:978-607-482-924-2

Esta obra está autorizada bajo la licencia internacional Creative Commons Reconocimiento – No Comercial – Sin Obra Derivada (by-nc-nd) No se permite un uso comercial de la obra original ni la generación de obras derivadas. Para ver una copia de la licencia, visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>.



Hecho en México/*Printed in México*

Prólogo

El contenido

13

Capítulo 1

Horticultura en el Valle de Tulancingo: retos y oportunidades

Introducción

Las hortalizas en el Valle de Tulancingo, Hidalgo, México

¿Cómo determinar el potencial de una región hortícola?

Cambio climático, ¿ventaja o desventaja para el Valle de Tulancingo?

Cultivo agro energético en el estado de Hidalgo

Efectos marginales y elasticidad

Evaluación de impactos

Conclusiones

Bibliografía

31

Capítulo 2

Estrategia de control con *Beauveria bassiana* (Balsamo-Crivelli) Vuillemin en el cultivo de café (*Coffea arabica*): estado de Hidalgo

Introducción

Municipios productores en el estado de Hidalgo

Plagas y enfermedades del cafeto

Utilización de *Beauveria bassiana* en problemas fitosanitarios

Proceso infeccioso

Producción de *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill

Utilización de hongos endofíticos

Bibliografía

45

Capítulo 3

Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el estado de Hidalgo

Selección de residuos con fines de aprovechamiento biotecnológico

Recursos agroindustriales en México

Principales residuos agrícolas del estado de Hidalgo

Selección de residuos con fines de aprovechamiento biotecnológico

Cultivo en medio sólido

Producción fermentativa de metabolitos

Bibliografía

Capítulo 4

61

Las coníferas del estado de Hidalgo

- Introducción
- Historia evolutiva
- Distribución geográfica
- Ecología
- Suelos forestales de coníferas
- Rasgos morfológicos
- Rasgos moleculares
- Sistemática
- Diversidad
- Las coníferas de Hidalgo
- Distribución geográfica y descripción morfológica de las especies de coníferas en el estado de hidalgo
- Diversidad de coníferas en los munucipios del estado de Hidalgo
- Las coníferas y su importancia para la sociedad
- Bibliografía

83

Capítulo 5

Relación entre densidad básica, ancho de anillos y porcentaje de madera tardía de *Pinus patula* de Hidalgo, México

- Introducción
- Marco de referencia
- Objetivo
- Metodología
- Resultados y discusión
- Relación densidad básica - ancho de anillos
- Relación densidad básica - % de madera tardía
- Conclusiones
- Bibliografía

97

Capítulo 6

Metodología para estimar carbono almacenado en bosques de pino en Hidalgo

- Introducción
- Marco de referencia
- Depósitos de carbono en un bosque de pino
- Alcances
- Bibliografía

Calidad de la leche en el Valle de Tulancingo

Introducción
Objetivo general
Antecedentes
Definición de leche
Calidad de la leche
Materiales y métodos
Muestreo de leche líquida
Descripción del proceso de análisis rápido de leche en un equipo Combifoss 6000
Principio de funcionamiento del análisis de leche por espectrofotometría con luz infrarroja
Milko Scan Ft 6000
Fossomatic 5000
Resultados y discusión
Conclusiones
Bibliografía

Capítulo 8**Uso de los componentes del suero en la industria alimentaria y no alimentaria****Introducción**

Introducción
Procedencia del suero
Características generales del suero o lactosuero
Diferencia entre suero ácido y dulce
Usos del suero láctico
Lactosuero como aditivo
Lactosuero en la alimentación animal
Uso del lactosuero en la elaboración de requesón
Uso del lactosuero en la elaboración de bebidas
Bebidas no alcohólicas a partir de suero ácido y dulce
Preparación de una bebida de suero con adición de bacterias lácticas
Bebidas alcohólicas a partir de lactosuero
Uso del lactosuero en la industria confitera y panadera
Producción de lactosa y su uso
Conclusión
Bibliografía

Prólogo

Otilio Arturo Acevedo Sandoval

La presente publicación reúne una serie de capítulos que tienen como finalidad introducir al lector en el extenso e interesante mundo de las ciencias agropecuarias. El orden en que se han organizado los capítulos lleva al lector a un recorrido que va desde la producción agrícola y forestal hasta las actividades propias de la agroindustria. La inquietud por haber seleccionado estos temas responde básicamente a la relevancia histórica de estas actividades y a su impacto innegable en la economía del Valle de Tulancingo, que alberga al Instituto de Ciencias Agropecuarias, y en general del estado de Hidalgo.

Este libro busca integrar la imperiosa necesidad de identificar áreas de oportunidad en los sistemas agrícolas, forestales y agroindustriales, con el fin de apoyar al productor y que este obtenga un valor agregado a su producto dentro de la cadena agroalimentaria, al considerar las interrelaciones con otros procesos de la cadena, como: proveedores de insumos, transformación industrial, la distribución y el consumo final.

Aprovecho el espacio para agradecer la colaboración de especialistas del Instituto de Ciencias Agropecuarias por su contribución en la escritura de los capítulos del libro, así como al Consejo Editorial de la UAEH por sus invaluable aportaciones en la mejora del proyecto.

El contenido

El estado de Hidalgo tiene una superficie de 1.1 % del territorio nacional; por su ubicación y localización geográfica es poseedor de una gran variedad de climas que permiten tener dentro de una pequeña extensión un contraste de ecosistemas, cultura y tradición. En el Valle de Tulancingo la tradición de la siembra y aprovechamiento de especies hortícolas es importante desde la década de 1950. El sector agrícola en Tulancingo describe que la horticultura tradicional ha presentado cambios. En la actualidad se cultivan cerca de 80 diferentes especies de plantas hortícolas; sin embargo, para dimensionar los cambios en la superficie de cultivos agrícolas por cultivos agroenergéticos es conveniente utilizar un modelo micro econométrico que evalúe el impacto sobre los ecosistemas naturales y las preferencias de los agricultores para elegir la alternativa de cultivo. En el capítulo *Horticultura en el Valle de Tulancingo: retos y oportunidades* se ejemplifica, con este modelo, la estimación y la validación en el comportamiento del sistema agrícola.

El sistema agroforestal del cultivo del café es generador de ingresos en las comunidades; sin embargo, es necesaria la capacitación de los productores, ya que México produce café de excelente calidad con variedades clasificadas entre las mejores del mundo, además de ser el primer productor mundial de café orgánico. No obstante, la producción global de café disminuyó durante los últimos 15 años debido a la falta de reemplazo de plantaciones y a plagas tales como la broca del café, la cual puede ser controlada con el hongo entomopatógeno *Beauveria bassiana*.

En el siguiente capítulo se realiza una revisión del aprovechamiento de los procesos agroindustriales, los cuales integran la producción primaria agrícola, pecuaria o forestal. Los residuos agroindustriales materiales en estado sólido o líquido que se generan y que ya no son de utilidad para el proceso que los generó son susceptibles al aprovechamiento o transformación para obtener otro producto con valor económico; con esto se pueden evitar contaminantes de suelo y agua, deterioro ambiental y pérdidas de materiales con alto potencial biotecnológico.

En el apartado de coníferas de Hidalgo se expone la descripción general de las especies, géneros y familias del orden Coniferales; se detallan los órganos principales que conforman cada especie. Hidalgo tiene importancia forestal por la presencia de diversos géneros de gimnospermas. En este apartado el lector y las personas que se interesan por los recursos forestales y recorren el estado de Hidalgo encontrarán la distribución a nivel municipal de las especies para que las puedan apreciar e identificar durante su visita.

La madera del *Pinus patula* (que por sus altas tasas de crecimiento y elevado potencial productivo se ha convertido en la especie preferida para realizar plantaciones comerciales en el centro y el sur de México, incluyendo el estado de Hidalgo) es apreciada para la fabricación de papel por la longitud de sus fibras y para la elaboración de cajas de empaque y acabado en interiores y exteriores. El lector interesado en la industria forestal comprenderá la importancia de la relación que tiene la densidad básica de la madera con el ancho de los anillos formados, reflejado en el porcentaje de madera tardía que se encuentra en el fuste de *Pinus patula*.

Es necesario mencionar que el objetivo de este libro es transmitir la importancia de los recursos forestales ya que proporcionan servicios ambientales no tangibles como la amortiguación de las temperaturas extremas, producción de oxígeno, belleza escénica, refugio para fauna silvestre, almacenamiento de carbono en beneficio de la humanidad. Este último en la actualidad es de vital importancia debido al cambio climático presente. Por ello, con el presente escrito se pretende que los lectores reproduzcan la metodología para estimar el carbono almacenado en las masas forestales de diferentes edades, alturas, densidades, composición en otras partes del país, pensando en programar acciones que ayuden a mitigar el cambio climático.

Es necesario que más personas se interesen por los recursos agrícolas y forestales. Los ya involucrados deben generar conocimientos que expongan acciones de conservación, manejo, beneficios y servicios ambientales que se obtienen para la humanidad.

Por la importancia de la industria de leche en el estado de Hidalgo, particularmente en el Valle de Tulancingo, el Valle del Mezquital y la Cuenca Lechera de Tizayuca, resulta inevitable la revisión de esos tópicos en este libro. En el capítulo Calidad de la leche en el valle de Tulancingo, se hace una reseña sobre este líquido con alto contenido nutritivo y los criterios que debe cumplir para considerarse como un producto de calidad. La revisión resulta muy enriquecedora para el lector, pues le presenta todos los parámetros medibles en la leche, que incluyen desde un análisis bromatológico hasta el fisicoquímico, organoléptico y microbiológico, así como las especificaciones que deben satisfacer. Esta revisión representará además una excelente guía para aquellas personas productoras de la leche sobre las metodologías implementadas para la evaluación de la calidad de la leche.

Finalmente, en el capítulo Uso de los componentes del suero en la industria alimentaria y no alimentaria, se revisa el tema del suero, subproducto de la leche y considerado como un efluente contaminante. El contenido de estas páginas hará que el lector sea testigo de los alcances que puede tener este líquido y su alto potencial comercial. El lector tendrá un vasto recorrido por las múltiples aplicaciones del suero, que van desde la panadería, la confitería, como edulcorante, aditivo, en la alimentación animal, la industria quesera o las bebidas, entre otros usos.

Capítulo 1

Horticultura en el Valle de Tulancingo: retos y oportunidades

Sergio Rubén Pérez Ríos^{1*}

Luis Ambrosio Flores²

Valero Pascual Gallego²

María del Carmen Marín Ferrer²

Judith Prieto Méndez¹

Introducción

La palabra horticultura es un término que proviene del latín *hortus* (huerto) y *cultura* (cultivo) y se refiere al cultivo de hortalizas. La horticultura por ende, es una rama de la agricultura que se preocupa fundamentalmente en la producción de plantas utilizadas por el hombre, ya sea para cuestiones alimenticias, ornamental, medicinal y especias. Retrospectivamente, la historia evolutiva del hombre reconoce un factor que contribuyó sin duda al cambio en su estilo de vida que llevaba, de nómada a sedentario; la actividad agrícola con lo cual aprendieron a cultivar sus tierras con la intención de garantizar alimentos para sus núcleos sociales. Con el tiempo, la técnica de

1 * Sergio Rubén Pérez Ríos (sperez@uaeh.edu.mx).

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México.

² Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España.

cultivar fue dominada por civilizaciones como la egipcia, china, romana y griega. Hoy, al hablar de horticultura y su forma de producir alimentos, obedece a condiciones diferentes a las de aquellas civilizaciones, y entre esos cambios se encuentran los siguientes: necesidad humana, tecnología, comercio, clima, inocuidad alimentaria y muy recientemente la agroenergética.

México tiene un enorme potencial como productor de hortalizas, ocupa un lugar preponderante entre los mejores países exportadores del mundo. El desarrollo actual de su horticultura aprovecha la enorme diversidad climática para realizarla bajo un esquema productivo, competitivo y rentable. Ello tiene impacto directo en su PIB (Producto Interno Bruto) ya que al tercer trimestre de 2013 registró 15.4 billones de pesos distribuidos en el sector primario, secundario y terciario con porcentajes de 2.8%, 35.4% y 61.8%, respectivamente. En la actualidad el campo mexicano presenta problemas de índole político, económico y social, ya que los 26 millones de mexicanos que dependen de esta actividad, 80% son pobres y 16 millones más viven en pobreza extrema; 72% de las unidades de producción rural son trabajadas por campesinos, indígenas y pequeños productores con superficies menores a cinco hectáreas y producen para el autoconsumo; 22% lo es por pequeños productores con superficies de cuatro a 20 hectáreas, produciendo para el autoconsumo y algo para el mercado local; solo 6% de los productores son empresarios que canalizan sus mercancías al mercado nacional e internacional. Sobre importación de alimentos se tiene el maíz (30%), arroz (70%), oleaginosas y soya (95%). Aunque la FAO indica que los países no deberían de importar más de 25% de los alimentos que consumen. El presente estudio describe parte de la horticultura tradicional en el Valle de Tulancingo, la influencia del cambio climático y un posible escenario por la eminente entrada del estado de Hidalgo a la producción de cultivos agro energéticos para producir biocombustible.

Las hortalizas en el Valle de Tulancingo, Hidalgo, México

En el Valle de Tulancingo, la tradición de la siembra y aprovechamiento de especies hortícolas ya era actividad importante desde la década de 1950, destacando la recolección de plantas silvestres y malezas que crecían junto a los cultivos básicos como maíz, frijol, tomate rojo, calabacita, chile verde, entre otras. De estas plantas silvestres destaca el quelite, verdolaga, nopal, chayote; hierbas y especias como epazote, pericón y perejil; medicinales como manzanilla, árnica y romero, y otras más como el cempasúchil para cuestiones religiosas. Se adaptan bien

los árboles frutales como tejocote, pera, membrillo y manzano por lo cual estos se integraban a la alimentación de la población. En la actualidad, se tienen registradas como cultivadas cerca de 80 diferentes especies de plantas hortícolas, entre las que sobresalen: chile verde y seco, tomate o jitomate, tomate de cáscara, papa, pepino, calabacitas, ajo, cebolla, lechuga, col o repollo y una gran variedad de hierbas anuales: cilantro, perejil, berro, anís, menta y tomillo. Otros como alverjón, huitlacoche, achiote, xoconostle, habas, gualumbo. El *cuadro 1*, muestra los cultivos agrícolas anuales y perennes del municipio de Tulancingo.

Cuadro 1. Superficie cosechada y disponibilidad de agua de la producción agrícola en el municipio de Tulancingo

Cultivo	Total municipio	Superficie de riego	Superficie de temporal
(Hectáreas)			
Maíz grano	4 737.00	1 300.00	3 437.00
Cebada grano	2 337.00	0.00	2 337.00
Avena forrajera	946.00	907.00	39.00
Maíz forrajero	300.00	300.00	0.00
Tomate verde	102.00	102.00	0.00
Trigo grano	12.00	0.00	12.00
Frijol	14.00	0.00	14.00
Pastos y praderas	2,132.00	2,132.00	0.00
Alfalfa verde	967.00	967.00	0.00

Fuente: Cuaderno Estadístico Municipal inegi, 2005.

¿Cómo determinar el potencial de una región hortícola?

Cuando se desea evaluar el potencial productivo de una región hortícola, sin la necesidad de realizar una evaluación agroecológica más profunda, el primer factor por analizar es el de las variaciones diarias de la temperatura (Castaños *et al.*, 1993).

El comportamiento de crecimiento y desarrollo de las hortalizas responde a la fluctuación de las temperaturas máximas y mínimas lo cual proporcionará la confiabilidad de la selección de las hortalizas que respondan o se adecuen favorablemente a una zona agrícola determinada.

Regularmente, las técnicas de la producción van encaminadas a favorecer microclimas alrededor de los cultivos los cuales les permitan tolerar variaciones de temperatura, principalmente cuando se adelanta la fecha de siembra o trasplante. En caso contrario, cuando existen temperaturas superiores de los 33 °C se puede ocasionar algunos trastornos fisiológicos (Castaños *et al.*, 1993).

Cambio climático, ¿ventaja o desventaja para el Valle de Tulancingo?

Alguno de los más profundos y directos impactos del cambio climático sobre las siguientes décadas podría ser sobre la agricultura y el sistema alimentario. El incremento de las temperaturas y declinación de las precipitaciones sobre las regiones semiáridas es probable la reducción en los rendimientos de maíz, trigo, arroz y otros cultivos primarios en las dos próximas décadas. Desde 1990, el aumento del precio de las materias primas y la disminución de área cultivada por habitante han llevado a disminuir la producción de alimentos, erosionando la seguridad alimentaria en varias comunidades. Muchas regiones carecen de esta, por lo que dependen de la producción agrícola local para satisfacer sus necesidades alimentarias (sagarpa, 2010). El clima en el Valle de Tulancingo es semiseco, templado; hacia los bordes del valle, subhúmedo, con lluvias en verano. La precipitación pluvial media anual en la Estación Alcholoya, en el periodo de 1961 a 2008, fue de 539.8 milímetros; en la Estación Presa La Esperanza, para el periodo de 1956 a 2008, fue de 546.4 milímetros; y en la Estación Tulancingo en el periodo de 1950 a 2008, fue de 514.5 milímetros. Regionalmente, la precipitación media anual es de 532.1 milímetros; el periodo de lluvias comprende los meses de mayo a octubre, mientras que la época de estiaje corresponde al periodo de noviembre y abril. La temperatura media anual en los mismos periodos fue de 14.8 grados centígrados en la Estación Tulancingo y 15.7 grados centígrados en la Estación de Santiago Tulantepec. La temperatura media anual en el valle es de 15 grados centígrados (Diario Oficial de la Nación, 2013). De acuerdo con datos de la nasa, en la década de los 90 fue la más calurosa en promedio de los últimos mil años, mientras que el 2005 ha sido probablemente el año más caluroso de la historia. Se estima que la temperatura global promedio puede subir a lo largo de este siglo entre 1.4 y 5.8°C. Los modelos climáticos estiman que la superficie global del planeta podría alcanzar una temperatura superior a los 3° C. Estos cambios en el clima global desde luego afectan y seguirán modificando el comportamiento de las especies vegetales, en el Valle de Tulancingo. Los cultivos potenciales que puedan adaptarse a las condiciones agroclimatológicas del Valle de Tulancingo figura el chile habanero, calabacín italiano, pepino holandés, zarzamora, fresa, blueberry,

amaranto, quinoa, ajonjolí, entre otros.

Cultivo agro energético en el estado de Hidalgo

En el año 2013, el gobierno del estado de Hidalgo junto con Aeropuertos y Servicios Auxiliares (ASA), realizó un plan estratégico y trazo de ruta sobre acciones probables en la producción de biocombustibles de aviación lo cual comprendería desde la generación de materias primas, transformación, hasta el acceso al mercado de la aviación. El estado de Hidalgo fue elegido por poseer características potenciales tales como su estratégica posición geográfica, infraestructura industrial para el desarrollo y adecuado clima para el establecimiento de cultivos como es la jatroha (para la huasteca hidalguense) y la higuera (en el Valle del Mezquital) de los cuales se obtendrá el biodiesel. Esta política agroenergética repercutirá hacia el interior de la actividad agrícola del estado en donde los productores competirán en imponerse y adecuarse a la moda que el mercado regional y nacional necesita de abastecimiento, aunque la manera en cómo se producen no sean económicamente viables de forma sustentable.

El Valle de Tulancingo no será una excepción ante esta tendencia y repercutirá con un alto costo ambiental y social dado su diversidad de ecosistemas frágiles los cuales han sobrevivido a través de la historia. Se prevé una reconversión hortícola en la amplia gama de cultivos que usualmente los productores establecían.

El modelo micro econométrico es una herramienta que puede llegar a ser útil para evaluar el impacto sobre los ecosistemas naturales sobre las preferencias de los agricultores a la hora de elegir su alternativa de cultivo en la cual se puede llegar a prever dicho cambio en la tasa de superficie cultivada por su margen bruto.

Pérez et al, (2009) realizó un modelo el cual especifica, estima y valida mediante datos desagregados a nivel de explotaciones individuales obtenidos a partir de una muestra de explotaciones agrarias diseñada al efecto. El modelo trata de encontrar reglas de comportamiento de los agricultores, consistentes con las preferencias reveladas a través de la elección de su alternativa de cultivos [Pascual (2007), Ambrosio et al., (2008)]. Lo que se observa es la elección, y_i , del individuo i y esa elección se considera como una manifestación de las utilidades subyacentes, $U_i(\underline{x}_j)$ derivadas de los atributos, $\underline{x}_j$ de cada opción, j de acuerdo con el siguiente modelo:

$$U_i(\underline{x}_j) = U(\underline{x}_{ij}; \underline{\beta}_{ij}) + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

$$y_i = f(U_i(\underline{x}_j)) \quad (2)$$

en el que (1) es la ecuación estructural y (2) es la ecuación de observación o medida.

En la ecuación estructural (1), $\underline{\beta}_{ij}$ es un vector de parámetros que representan los efectos marginales y/o las elasticidades de cambios en los atributos, $\underline{x}_j$ sobre la utilidad $U_i(\underline{x}_j)$ de la opción j .

El modelo más común consiste en especificar una ecuación estructural lineal en los efectos marginales y/o las elasticidades y una ecuación de observación en la que se asume que el individuo elige la opción o alternativa de máxima utilidad,

$$U_i(\underline{x}_j) = \underline{x}_{ij} \underline{\beta}_j + \varepsilon_{ij}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1; & \text{si } U_i(\underline{x}_j) = \max_j \{U_i(\underline{x}_j)\} \\ 0; & \text{en otro caso} \end{cases}$$

La probabilidad, P_{ij} , de que el agricultor i opte por la alternativa j es, según el modelo, la misma $(\underline{\beta}_{ij} = \underline{\beta}_j)$ para todos los individuos i e igual a:

$$P_{ij} = P(y_{ij} = 1 | \underline{x}_{ij}) = P\left(\left(U_i(\underline{x}_{ij}) \geq U_i(\underline{x}_{ik})\right) | \underline{x}_{ij}, \underline{x}_{ik}\right); \forall k \neq j$$

El agricultor i opta por la alternativa j si el valor de la función de utilidad correspondiente a esa alternativa, $U_i(\underline{x}_{ij})$, es mayor que la de cualquier otra,

$$\left(U_i(\underline{x}_{ij}) \geq U_i(\underline{x}_{ik})\right) | \underline{x}_{ij}, \underline{x}_{ik}; \forall k \neq j, \text{ esto es, si}$$

$$\left(U_i(\underline{x}_{ik}) - U_i(\underline{x}_{ij}) \leq 0\right) | \underline{x}_{ij}, \underline{x}_{ik}; \forall k \neq j. .$$

En consecuencia, la probabilidad, P_{ij} , de que el agricultor opte por la alternativa j es, según el modelo,

$$p_{ij} = P\left(\left(U_i(\underline{x}_{ik}) - U_i(\underline{x}_{ij}) \leq 0 \mid \underline{x}_{ij}, \underline{x}_{ik}\right); \forall k \neq j\right),$$

y depende de la distribución conjunta de la componente aleatoria de la función de utilidad $\{\varepsilon_{ij}; j = 1, 2, \dots, J\}$.

Dada esa distribución conjunta, se puede calcular la probabilidad de las $J - 1$ componentes aunque generalmente no es posible encontrar una expresión algebraica simple.

$$P\left(\left(\varepsilon_{ik} - \varepsilon_{ij} \leq U_i(\underline{x}_{ij}; \underline{\beta}_j) - U_i(\underline{x}_{ik}; \underline{\beta}_k) \mid \underline{x}_{ij}, \underline{x}_{ik}\right); k(\neq j) = 1, 2, \dots, J\right)$$

En el modelo logit multinomial se asume que $\{\varepsilon_{ij}; j = 1, 2, \dots, J\}$ son independientes e idénticamente distribuidas según una distribución de valores extremos de tipo 1, cuya función de distribución es

$G(e_{ij}) = e^{-e^{-e_{ij}}}$; $-\infty < e_{ij} < \infty$ y la de densidad $f(\varepsilon_{ij}) = e^{-\varepsilon_{ij}} \exp(-e^{-\varepsilon_{ij}})$; $j = 1, 2, \dots, J$, y se puede probar que

$$P_{ij} = \frac{\exp\left(U_i(\underline{x}_{ij}; \underline{\beta}_j)\right)}{\sum_{j=1}^J \exp\left(U_i(\underline{x}_{ij}; \underline{\beta}_j)\right)},$$

$$\text{donde } U_i(\underline{x}_j; \underline{\beta}_j) = \underline{x}_{ij} \underline{\beta}_j.$$

Si se asume que $\{\varepsilon_{ij}; j = 1, 2, \dots, J\}$ sigue una distribución normal multivariante, el modelo que resulta es el probit multinomial. Estos dos modelos recibieron un gran impulso como herramientas para el análisis económico, a partir de 1965 con los trabajos de McFadden (1977, 1978).

Efectos marginales y elasticidades

El efecto marginal sobre p_{ij} de cambios en las variables explicativas, $\underline{x}_i$ es

$$\begin{aligned}\frac{\partial p_{ij}}{\partial \underline{x}_i} &= \left[\frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{i1}} \quad \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{i2}} \quad \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{ij}} \quad \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{iJ}} \right]^T = p_{ij} \left(\underline{\beta}_j - \bar{\beta}_i \right) \\ \underline{\beta}_j &= [\beta_{j1} \quad \beta_{j2} \quad \beta_{jj} \quad \beta_{jJ}]' \\ \bar{\beta}_i &= \sum_{j=1}^J p_{ij} \underline{\beta}_j = \left[\sum_{j=1}^J p_{ij} \beta_{j1} \quad \sum_{j=1}^J p_{ij} \beta_{j2} \quad \sum_{j=1}^J p_{ij} \beta_{jj} \quad \sum_{j=1}^J p_{ij} \beta_{jJ} \right]^T\end{aligned}$$

Nótese que el signo de $\frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{ij}}$ no viene determinado solamente por el signo de β_j (elemento j-ésimo de $\underline{\beta}_j$), sino también por el signo del j-ésimo elemento en

$$\bar{\beta}_i = \sum_{j=1}^J p_{ij} \underline{\beta}_j \quad .$$

El efecto marginal medio a nivel regional sería,

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\partial p_{ij}}{\partial \underline{x}_i} = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{i1}} \quad \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{i2}} \quad \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{ij}} \quad \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{iJ}} \right]^T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{ij} \left(\underline{\beta}_j - \bar{\beta}_i \right)$$

La elasticidad de p_{ij} respecto de x_{ij} es:

$$\frac{x_{ij}}{p_{ij}} \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{ij}},$$

y la media regional es

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{x_{ij}}{p_{ij}} \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{ij}}$$

Estimación

El objetivo es estimar el vector de parámetros $\underline{\beta} = [\underline{\beta}_1^T \underline{\beta}_2^T \dots \underline{\beta}_j^T \dots \underline{\beta}_J^T]^T$ del que dependen los efectos marginales y las elasticidades. En la muestra de explotaciones se observan los usos del suelo de modo que el conjunto de datos relativos a la alternativa de cultivos se considera una muestra de J-vectores aleatorios

independientes, $\{\underline{Y}_1, \underline{Y}_2, \dots, \underline{Y}_i, \dots, \underline{Y}_n\}$, cada uno con distribución multinomial, $M(Y_i; p_i)$, donde $Y_i = \sum_{j=1}^J Y_{ij}$ es fija para cada $i = 1, 2, \dots, n$ y $p_i = [p_{i1} \ p_{i2} \ \dots \ p_{ij} \ \dots \ p_{iJ}]^T$. Las componentes del vector $\underline{Y}_i$ verifican la restricción

$Y_i = \sum_{j=1}^J Y_{ij}$ y las del vector de parámetros p_i verifican la restricción $\sum_{j=1}^J p_{ij} = 1$. El vector de parámetros $\underline{\beta}$ se estima por máxima verosimilitud.

Validación

El modelo se valida mediante la realización de test de hipótesis sobre $\underline{\beta}$ y comprobando el grado de bondad del ajuste de las predicciones del modelo con los datos observados.

Los datos

Para la observación de los datos requeridos en la estimación del modelo, se diseñó una muestra aleatoria estratificada de 30 explotaciones agrarias del estado de Hidalgo, México. Los criterios para la estratificación fueron: región, cultivo, o grupo de cultivo implantados en una explotación agraria objeto de estudio y superficie del mismo en la explotación. El cuadro 2, muestra las medias por explotación de los márgenes brutos de los cultivos y el peso relativo de cada cultivo en la alternativa.

Cuadro 2. Márgenes brutos y alternativa de cultivos medios por explotación

Cultivo	Variedad	Margen bruto por hectárea (pesos/ha)	Alternativa de Cultivo (Superficies de cultivo en 100 has: media de las explotaciones)
Ajo riego	Chileno	51921	1.04
Chile rayado	Chile Rayado Criollo Regional Huichapan Mejorado	3016	1.27
Maíz grano riego	A-7545	1206	0.63
Maíz grano riego	Tromba As-910	2202	0.48
Cebada grano seco	Esmeralda	1473	1.19
Trigo grano seco	Salamanca	66	0.12
Tomate cáscara riego	Rendidora	20907	0.78
Alfalfa riego	Puebla 76	12589	1.09
Calabacita riego	Gray Zucchinni Larga	23240	2.95
Maíz forrajero riego	Pantera	5758	0.75
Pepino riego	Turbo	28494	1.98
Durazno riego	Oro Zacatecas	578	0.43
Fríjol riego	Flor De Mayo	8523	2.19
Jitomate campo riego	Turbio	76058	0.69
Maíz grano riego	Halcón	2957	2.83
Maíz grano riego	H -311	934	0.83
Avena forrajera seco	Juchitepec	5799	0.55
Cebada forrajera seco	Regional	2890	0.28
Fríjol seco	Flor De Junio	16	0.63
Maíz grano seco	Criollo Blanco Seleccionado	399	0.69
Trigo grano seco	Zacatecas	1748	0.82
Café cereza	Mondo Novo	-7628	0.18
Fríjol seco	Criollo Seleccionado	750	0.77
Maíz grano seco	Criollo Blanco Seleccionado	50	0.18
Maíz-frijol seco	Maíz - Frijol Criollos Seleccionado	155	0.43
Café cereza seco	Typica	-16679	1.16

Cultivo	Variedad	Margen bruto por hectárea (pesos/ha)	Alternativa de Cultivo (Superficies de cultivo en 100 has: media de las explotaciones)
Chile rayado riego auxilio	Criollo Regional Huichapan Mejorado	16887	1.31
Fríjol seco	Flor De Mayo	-651	0.21
Maíz grano seco	Criollo Seleccionado Huichapan	710	0.73
Naranja (en producción) seco	Valencia	-4242	2.82
Papaya maradol seco	Maradol	6650	1.27
Caña azúcar (mantenimiento) seco	Mex 69-749	28322	0.41
Limón persa seco	Limón Persa	-5977	1.19
Papaya maradol (establecimiento) riego	Papaya Maradol	42319	0.71
Cacahuete seco	Río Balsas	11515	0.17
Chile piquín seco	Criollo Regional	976	0.17
Maíz grano seco	Criollo Amarillo Regional Huejutla	1311	0.93
Mandarina (mantenimiento) seco	Dancy	455	0.69
Zempoaxochitl	Regional Huejutla	16926	0.25
Café cereza seco	Borbon En Cereza	258	0.29
Fríjol seco	Negro Criollo	258	0.39
Palma camedor seco	Chamadoera Elegans	3510	0.90
Fríjol jamapa seco	Jamapa	1420	1.97
Maíz grano seco	QPM (H-519c)	1235	0.92
Pimienta gorda (establecimiento) seco	Regional	-9433	0.58
Maíz grano seco	Halcón	939	2.42
Maguey pulquero seco	Chalqueño	39579	1.89
Nopal tunero seco	Zacatecas	1631	0.69
Alfalfa en producción riego	San Miguelito	3598	4.09
Maíz grano riego	Lobo	7661	1.61
Maíz forrajero riego	Pantera Riego	4134	2.07
Alberjón seco	Mejorado	842	0.73
Chile riego	Tampiqueño	20529	2.13
Fríjol seco	Pinto Nacional	4134	0.76
Trigo grano riego	Temporalera M87	3812	0.39

Cultivo	Variedad	Margen bruto por hectárea (pesos/ha)	Alternativa de Cultivo (Superficies de cultivo en 100 has: media de las explotaciones)
Fríjol seco	Bayomex	2987	0.37
Fríjol riego	Pinto Americano	6858	0.92
Nabo riego	Canadiense	3677	0.35
Avena grano seco	Chihuahua	2427	1.43
Jitomate riego	Río Grande	13942	2.49
Alfalfa (establecimiento) riego	Valenciana	2860	3.73
Avena forrajera riego	Cuauhtémoc	560	1.04
Cacahuete de seco	Huitzuc 93	7374	0.52
Fríjol seco	Negro Huasteco 81	2455	1.32
Maíz grano riego	Qpm H-553 C	2609	0.44
Sandia riego	Súper Sangría	9165	0.63
Litchi (establecimiento) riego	Racimo Rojo	24777	2.65
Maíz grano riego	QPM.(V-537 C)	1975	0.69
Caña azúcar seco	Mex 69-749	36204	0.46
Pasto seco	Bermuda	2764	0.69
Calabaza pipián seco	Criolla Regional Huejutla	5044	0.12
Alfalfa riego	Pavón	5296	4.34
Avena grano seco	SAIA	2828	1.61
Maíz forrajero riego	H-135	1219	1.27
Maíz grano riego	Z-60	1855	0.58
Pradera riego	Rye Grass	8081	5.36
Trigo grano seco	Temporalera M87	2128	0.63
Cacahuete riego	Salvatierra	20937	0.46
Fríjol riego	Bayomex	2980	0.69
Cebada grano riego	Esmeralda	2244	0.77
Maíz grano riego	Hs2	6084	3.64
Trigo grano riego	Saturno-86	103	0.97
Jitomate temporal	Criollo Regional	9725	0.21
Maíz grano blanco seco	Criollo Blanco Regional Pachuca-Tizayuca	87	0.52

Cultivo	Variedad	Margen bruto por hectárea (pesos/ha)	Alternativa de Cultivo (Superficies de cultivo en 100 has: media de las explotaciones)
Maíz grano amarillo	Criollo Amarillo Regional Tizayuca	291	0.32
Nopal tunero seco	Alfajayucan	3804	0.77
Patata seco	Alpha	50238	0.75
Trigo grano riego	Salamanca	2435	0.97
Alcachofa seco	Var	192943	0.18
Durazno (mantenimiento) seco	Amaple	39165	0.46

El margen bruto medio por hectárea de la alternativa de cultivos es 8807,71 pesos/ha.

Evaluación de impactos

Una vez validado, el modelo puede ser utilizado para la evaluación de impactos de medidas de política agraria que se concreten en variaciones del margen bruto de los cultivos (políticas de renta o de precios). El impacto de un cambio en el margen bruto de un cultivo determinado sobre las p_{ij} para $j = 1, 2, L, J$ se evalúa como sigue: dado un cultivo k , se trata de multiplicar los efectos marginales de ese cultivo sobre la variación del margen bruto del cultivo k : el resultado es el impacto (la variación) sobre la media por explotación de las p_{ij} para $j = 1, 2, L, J$ debido a la variación del margen bruto del cultivo k . Nótese que puesto que $\sum_{j=1}^J p_{ij} = 1$ debe ser $\sum_{j=1}^J \frac{\partial p_{ij}}{\partial x_{ik}} = 0$ y, por tanto la suma de los impactos sobre la media por explotación de las p_{ij} para $j = 1, 2, L, J$ debido a la variación del margen bruto del cultivo k debe ser nula. En el cuadro 3, se recogen las estimaciones de los efectos marginales.

A continuación se ilustra el uso del modelo para la evaluación de los impactos del siguiente escenario: el margen bruto del frijol de riego se duplica (incrementándose en 8523 pesos/ha) y el del maíz de riego se duplica (incrementándose en 2957.97 pesos/ha). El de los restantes cultivos se mantiene sin cambios. El cuadro 4, recoge los resultados.

Puede observarse cómo, cuando el margen bruto del frijol se incrementa en 8523 pesos/ha, la proporción del frijol en la alternativa de cultivos experimentaría un incremento de 34.09 puntos porcentuales. Este incremento implicaría una disminución del peso de otros cultivos en la alternativa, en particular de la avena y el maíz y es compatible con un aumento de la proporción de otros cultivos tales como la cebada de riego. Así mismo, puede observarse cómo, cuando el margen bruto del maíz de riego se incrementa en 2957 pesos/ha, la proporción

del maíz en la alternativa de cultivos experimentaría un incremento de 6 puntos porcentuales. Este incremento implicaría una disminución del peso de otros cultivos en la alternativa, en particular de la cebada de riego y el maíz forrajero y es compatible con un aumento de la proporción de otros cultivos tales como el frijol o el chile de riego.

El impacto agregado de los incrementos de los márgenes brutos del frijol y del maíz es la suma de los impactos marginales: el peso relativo del frijol en la alternativa de cultivos experimentaría un incremento de 37 puntos porcentajes y la cebada un incremento de 30 puntos porcentuales, mientras que la cebada disminuiría en 45 puntos porcentajes.

Conclusiones

Se ha especificado y estimado un modelo microeconómico que explica satisfactoriamente los datos observados. Dicho modelo, es consistente con la teoría económica, en el sentido de que la variabilidad en la elección de los cultivos de la alternativa puede ser explicada en función de los márgenes económicos de los cultivos: los test Chi-2 muestran que los cambios de los márgenes brutos de un cultivo tienen un efecto significativo sobre el peso de ese cultivo en la alternativa.

Se han estimado los efectos marginales de los cambios en los márgenes brutos de cada cultivo sobre todos y cada uno de los cultivos de la alternativa y se ha mostrado su utilidad para la evaluación de impactos de medidas de política agroambiental. Se requieren desarrollos posteriores que permitan validar los efectos cruzados del modelo e incluir en la alternativa cultivos agroenergéticos.

La posible incorporación del Valle de Tulancingo a la producción de biocombustible, afectara la proporción de área cultivada agroalimentaria por la agroenergética, por lo que este tipo de trabajo previene potenciales afectaciones a la agricultura sustentable de la región y de sus recursos naturales.

Bibliografía

- Ambrosio I., Iglesias I., Marín C., Pascual, V. y Serrano A. 2008. A **spatial high resolution model on the dynamics of the agricultural land use**. **Agricultural Economics**. Vol 38, pags: 233-245.
- Ambrosio L, Iglesias L, Marín C, Montañés J, Rubio LA, Pecharromán V y Serrano A. 2006. Diseño de encuestas agrícolas basadas en un marco de áreas. Serie estadística. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. Serie Política, Economía y Sociología. Sevilla.
- Castaños M. Castaños, C. M. 1993. Horticultura. Manejo simplificado. Colección Fenix. U.A. Chapingo, México.
- Diario Oficial de la Nación 2013. Url:http://diariooficial.segob.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5320583&fecha=04/11/2013.
- INEGI. 2005. Cuadernillo Estadístico Municipal. México, D. F.
- McFadden D, Tye W. B. Train K. 1977. An application of diagnostic tests for the independence from irrelevant alternatives property of the multinomial logit model. Institute of Transportation Studies, University of California.
- McFadden D. 1978. Modelling the choice of residencial location, Institute of Transportation Studies University of California.
- Pascual V. 2007. Modelos microeconomicos de elección en agricultura en condiciones de riesgo climático: Aplicaciones al diseño de estrategias de adaptación al cambio climático. Tesis Doctoral. ETSI Agrónomos. Madrid.
- Pérez R., S. R., et al. 2009. Un modelo microeconómico para la evaluación de políticas agroambientales. Aplicación al estado de Hidalgo, México. VII Congreso de Economía Agraria.
- SAGARPA, 2010. Retos y oportunidades del sistema agroalimentario de México en los próximos 20 años, en <http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios>.

Cuadro 3. Estimaciones ($\times 10^{-3}$) de los efectos marginales

Cultivo	Alfalfa riego	Avena riego	Avena secano	Caca- huate secano	Cebada riego	Cebada secano	Café secano	Chile riego	Chile secano	Frijol riego	Frijol secano	Maíz forrajero riego	Maíz riego	Maíz secano	Nopal tunero secano	Tomate cáscara riego	Trigo riego	Trigo secano
Alfalfa riego	0,04	-0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	-0,01	0,00	-0,02	0,00	-0,01	0,04	0,01	-0,01	-0,01	-0,05	0,00	0,00
Avena riego	-0,01	0,36	-0,01	-0,01	-0,06	-0,01	-0,04	-0,01	-0,01	-0,05	-0,01	-0,08	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,04
Avena secano	0,00	0,00	0,05	-0,01	0,00	-0,02	0,01	-0,01	-0,01	-0,02	0,02	-0,01	0,00	0,01	-0,01	0,03	-0,01	0,00
Cacahuete secano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cebada riego	0,06	-0,01	0,07	0,01	0,07	0,03	-0,13	0,09	-0,01	0,05	-0,09	0,04	-0,04	-0,06	-0,01	-0,20	0,08	0,04
Cebada secano	0,00	-0,01	-0,02	-0,02	-0,01	0,09	-0,06	0,00	0,01	-0,01	0,00	0,00	-0,01	0,01	0,00	-0,06	0,00	0,06
Café secano	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Chile riego	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Chile secano	0,01	0,00	0,03	0,00	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	-0,06	-0,07	-0,01	0,01	0,01
Frijol riego	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	-0,02	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	-0,05	0,00	-0,01
Frijol secano	-0,02	0,00	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,05	0,00	-0,01	-0,01	0,05	0,00	0,01	0,01	-0,02	0,03	0,00	-0,05
Maíz forrajero riego	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	-0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Maíz riego	-0,01	0,00	-0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,03	0,01	-0,01	0,01	-0,01	0,02	0,01	0,01	0,04	-0,01	0,01
Maíz secano	-0,02	-0,02	-0,04	-0,02	-0,02	-0,05	0,05	-0,01	0,03	-0,02	0,03	0,00	-0,02	0,08	0,09	-0,05	-0,01	-0,01
Nopal tunero secano	0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,02	0,00	-0,03	-0,01	-0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,00	0,00
Tomate cáscara riego	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Trigo riego	0,06	0,00	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	0,00	-0,01	-0,01	0,02	-0,01	0,00	0,00	0,00	-0,01	0,04	-0,01
Trigo secano	-0,03	0,01	0,00	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02	0,03	0,01	0,00	-0,11	-0,02	0,00	0,00	0,08	-0,01	0,09

Cuadro 4. Efecto marginal de los cambios en el margen bruto del frijol de riego y en el maíz de riego sobre la alternativa del cultivo.

Escenario 1	Efecto Marginal (x10 ⁻³) Frijol riego	Variación del MB/HA del Frijol de riego	Impacto sobre la alterna- tiva de cultivo	Efecto Marginal (x10 ⁻³) Maíz riego	Variación del MB/HA del Maíz de riego	Impacto sobre la alterna- tiva de cultivo	Variación de la Alternativa
Alfalfa riego	0,00	8523	0,085	0,01	2957,95	0,0296	0,115
Avena riego	-0,05	8523	-0,426	-0,01	2957,95	0,0296	-0,396
Avena secano	-0,02	8523	-0,170	0,01	2957,95	-0,0296	-0,200
Cacahuete secano	0,00	8523	0,085	0,01	2957,95	0,0296	0,115
Cebada riego	0,05	8523	0,426	-0,04	2957,95	0,0296	0,4556
Cebada secano	-0,01	8523	-0,085	-0,01	2957,95	-0,1183	-0,203
Café secano	0,00	8523	0,085	0,01	2957,95	-0,0296	0,056
Chile riego	0,01	8523	0,085	0,01	2957,95	0,0296	0,115
Chile secano	0,00	8523	0,085	0,01	2957,95	0,0296	0,115
Frijol riego	0,04	8523	0,341	0,01	2957,95	0,0296	0,370
Frijol secano	-0,01	8523	-0,085	0,01	2957,95	0,0296	-0,056
Maíz forrajero riego	0,00	8523	0,085	-0,03	2957,95	0,0296	0,115
Maíz riego	-0,01	8523	-0,085	0,02	2957,95	-0,0887	-0,174
Maíz secano	-0,02	8523	-0,170	-0,02	2957,95	0,0592	-0,111
Nopal tunero secano	-0,01	8523	-0,085	0,01	2957,95	-0,0592	-0,144
Tomate cáscara riego	0,00	8523	0,085	0,01	2957,95	0,0295795	0,115
Trigo riego	-0,01	8523	-0,085	0,01	2957,95	0,0296	-0,056
Trigo secano	0,01	8523	0,085	-0,02	2957,95	0,0296	0,115

Capítulo 2

Estrategia de control con *Beauveria bassiana* (Balsamo-Crivelli) Vuillemin en el cultivo de café (*Coffea arabica*): estado de Hidalgo

Oscar Arce-Cervantes ^{2*1}

Otilio Acevedo Sandoval¹

Mariana Saucedo-García¹

Paul Misael Garza López¹

V. Díaz-Vicente²

R. Montesinos-Matías³

Introducción

La participación de México en la producción global de café disminuyó a más de la mitad durante los últimos 15 años y la inversión para el remplazo de plantaciones se redujo a inicios de la década pasada, cuando los precios cayeron a mínimos históricos y los arbustos produjeron cada vez menos granos por ciclo. Pero ahora, con la expectativa de un alza en el precio, México está enfocando sus energías en rejuvenecer cultivos con miras a incrementar la producción a más del 40% en los próximos dos o tres años (Amecafé, 2013).

Actualmente, México produce café de excelente calidad, ya que su topografía, altitud, climas y suelos, le permiten cultivar y producir variedades clasificadas entre las mejores del mundo, además de ser el primer

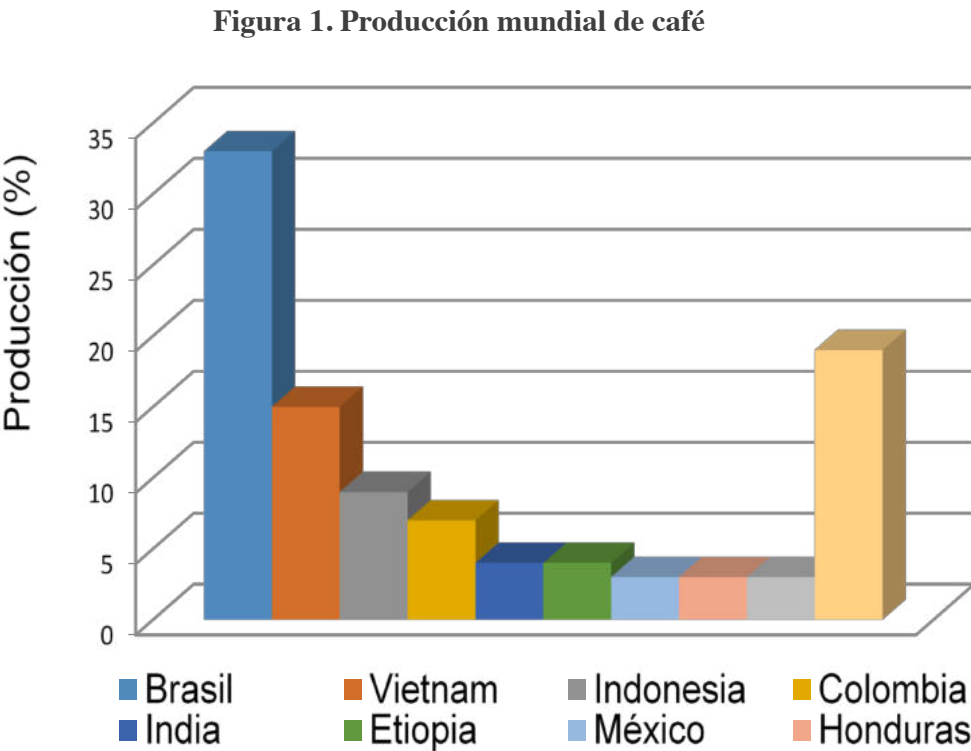
2 * Óscar Arce-Cervantes (oarce@uaeh.edu.mx).

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México.

² Universidad Autónoma de Chiapas. Tapachula, Chiapas, México.

³ Centro Nacional de Referencia de Control Biológico, Tecoman, Colima, México.

productor mundial de café orgánico. La variedad genérica que se produce en México es la “arábica”, que se clasifica dentro del grupo de “cafés suaves”. En la Figura 1 se observa que México ocupa el quinto lugar a nivel mundial en producción de café, después de Brasil, Colombia, Indonesia y Vietnam; sin embargo, es el primer productor mundial de café orgánico (SAGARPA, 2013).



Fuente: SAGARPA, 2013.

El café (*Coffea arabica*) es un cultivo permanente, se siembra y empieza a producir después de cuatro años, su vida productiva puede ser mayor a los 40 años y su producción se da una vez al año. México produjo 4.2 millones de sacos de café de 60 kilos en la cosecha 2010/11, convirtiéndolo en el séptimo mayor productor en el mundo. El cafeto es un arbusto de la familia de las rubiáceas, los frutos contienen menos cafeína que otras especies cultivadas comercialmente, es un sistema de producción artificial, el cual está compuesto por plantas de café y por árboles de sombra. Las especies de arbusto del cafeto que se cultivan en el país son dos: la árabe o arábica y la robusta o canéphora.

El cultivo requiere de un clima templado, pero con un alto nivel de humedad; para ello, se requiere que se planten cerca de árboles de diferentes especies, que los protejan del sol. Las plantaciones de café se encuentran en altitudes comprendidas entre el nivel del mar y el límite de las nieves perpetuas tropicales, que se encuentra a

unos 1,800 msnm (Ureña, 2009).

El cafeto requiere suelo fértiles, profundos, bien drenados y con buena retención de humedad (50% de poros), con poca piedra, de textura media a ligeramente arcillosa, con un buen equilibrio de poros para un buen drenaje y retención de humedad, y 5% de materia orgánica. En la Figura 2 se observan cafetales del municipio de San Bartolo Tutoltepec, en el estado de Hidalgo. Sus suelos se caracterizan por tener 10.7% de materia orgánica (Datos no publicados).

Figura 2. El cultivo del café en San Bartolo Tutoltepec, Hgo.



A pesar de la importancia de la producción de café en la economía internacional, el café es un cultivo abandonado por las innovaciones tecnológicas e ignorado por las políticas públicas, aunado a los fenómenos cíclicos de un mercado sumamente volátil y el atraso tecnológico que se distingue en los cafetales mexicanos (Amecafé, 2013).

Municipios productores en el estado de Hidalgo

De los 400 municipios cafetaleros en México el 80% se localizan en zonas ecológicas tropicales húmedas (selvas altas y selvas medianas) y subhúmedas (selvas bajas) y el 20% restante en bosques mesófilos o de neblina. Todas estas áreas son estratégicas para la conservación de la biodiversidad. El cultivo del café se realiza principalmente en 11 estados, los cuales se agrupan en cuatro regiones (Cuadro 1).

Cerca de 92% de los productores poseen superficies menores a 5 ha. La producción de variedades híbridas es reducida, lo mismo que el uso de agroquímicos, factores que son de interés a nivel internacional, debido a la tendencia de consumo de alimentos sanos.

El Estado de Hidalgo se ubica como el sexto estado cafetalero más importante en nuestro país, con una superficie de 23,818.10 ha cultivadas con café, mismas que representan el 3.5% del total nacional. De acuerdo con el Padrón Estatal cafetalero de Hidalgo, alrededor del 77% de los cafeticultores hidalguenses son indígenas,

siendo los municipios de Tepehuacán de Guerrero, Xochicoatlán, Tlanchinol, Lolotla, Calnali, San Bartolo Tutoltepec, Huehuetla, Tenango de Doria, Agua Blanca de Iturbide, San Felipe, Pisaflores, Chapulhuacan, Huazalingo, Atlapexco, Tianguistengo y Huejutla de Reyes en donde se cultiva.

Cuadro 1. Regiones productoras de café en México

Región			
Golfo	Océano Pacífico	Soconusco	Norte de Chiapas
San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, México y Veracruz	Colima, Guerrero, Jalisco, Oaxaca y Michoacán	Chiapas (Café Orgánico)	Chiapas

En función de su localización geográfica las zonas cafetaleras del estado se distribuyen en cuatro regiones: Región Chapulhuacán (Sierra Gorda); Región Tlanchinol-Calnali (Sierra Alta); Región Huasteca y Región Otomí-Tepehua. En general, solo el 24% la estructura productiva de los cafetos en las cuatro regiones está en condiciones de producción normal, lo que da soporte productivo; 19% de los cafetos requieren podas; 15% de cafetales necesitan rejuvenecimiento; 22% de cafetos requieren renovarse, lo anterior aunado a factores bióticos y abióticos, nos indica que las unidades de producción solo están a 40% de su potencial productivo.

El cultivo de café en el estado de Hidalgo, se caracteriza en general por su baja productividad, la dependencia de una acentuada fluctuación de precios en el mercado internacional y la baja producción, que no sobrepasan las 2 ton ha⁻¹ (SAGARPA, 2013). La principal variedad que se cultiva en el estado es la arábica (100%), siendo entre las variedades que destacan por su calidad son la Coatepec, Pluma Hidalgo, Jaltenango, Marago y Natural de Atoyac (AMECAFE, 2011).

Plagas y enfermedades del cafeto

Las pérdidas que provocan anualmente las plagas en cultivos de importancia agrícola son considerables. Los bioinsecticidas son una alternativa en la agricultura sostenible y el manejo integrado de plagas. El uso de

bioinsecticidas ha aumentado debido a que muchas especies de insectos han desarrollado resistencia a través de insecticidas convencionales; además la tecnología de control biológico preservar el ambiente y evita o disminuye los riesgos a la salud humana.

En el cultivo del café las plagas generan pérdidas que pueden llegar a hacer insostenibles al cultivo, debido a que ocasionan daños físicos en hojas y frutos, alteran el desarrollo fisiológico de las plantas y disminuyen drásticamente la calidad del grano, con efectos posteriores como bajos rendimientos y mala calidad del producto.

Una de las enfermedades más comunes en este cultivo es la roya del cafeto, es producida por el hongo *Hemileia vastratix* Berkeley & Broome. Los ataques de este hongo se producen en épocas de lluvias ligeras y corto periodo. La espora de *H. vastratix* es muy resistente y puede transportarse por corrientes de aire o adherirse a cualquier objeto, además tiene una germinación de solo tres horas, en condiciones óptimas, (cefp, 2001).

Por otra parte, la broca del café *Hypothenemus hampei* (Wood y Bright, 1992) (*Stephanoderes hampei*) (Coleoptera: Curculionidae) es la plaga más dañina a escala mundial (Soto-Pinto, 2002, Barrera et al., 2007). Es una plaga endémica de África Central, se ha distribuido por la mayoría de las regiones cafetaleras de todo el mundo. Es un diminuto escarabajo negro que penetra la cereza del cafeto y se aloja dentro de la semilla, dejándola inservible y con un aspecto negruzco.

Esta plaga entró a Chiapas en 1979, y al igual que la roya, proviene de Centroamérica (cefp, 2001), se expandió rápidamente a otros estados cafetaleros de México. En 1998, el Consejo Mexicano del Café informó que la broca se encontraba presente en Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Guerrero, Hidalgo y Nayarit, infestando una superficie superior a 22% (Castillo, 1998). Trabajos realizados por Ramírez et al., (2007) indican que esta plaga ya invadió a todos los estados cafetaleros de México.

Las plantaciones en tierras muy bajas suelen ser más afectadas por la plaga (Naturland, 2000). En el cuadro 2 se describen las plagas presentes en los cafetales del estado de Hidalgo, de las cuales a la broca del café se les aplica un control en 90% de los cafetales; a la hormiga arriera en 50% y a la roya del café se controla en 25% de los cafetales; sin embargo, más de 50% de las plagas y enfermedades no se les aplica un control (Amecafé, 2013).

Anteriormente la estrategia de manejo de plaga contra la broca del café se centró principalmente en el uso de insecticidas, la cual es costosa y con efectos negativos a la salud humana y al agroecosistema. Además del desarrollo de resistencia, como ejemplo al endosulfan, uno de los insecticidas más utilizados (Villalba et al., 1995).

Cuadro 2. Principales problemas fitosanitarios del café

Nombre común	Nombre científico	Método de control
Roya anaranjada o roya del café	Hemileia vastratix	Control cultural (podas, regulado de sombra y control de malezas). Control químico (Oxicloruro de cobre, Caldo Bordeles). Mejoramiento genético (variedad Oro Azteca es resistente a 32 razas del hongo).
Broca de café	Hypothenemus hampei	Control biológico con Beauveria bassiana
Ojo de gallo o gotera	Mycena citricolor	Control cultural (podas, regulado de sombra y control de malezas). La aplicación de lixiviados de lombri-composta favorece la presencia de microorganismos antagonistas del hongo. La variedad caturra muestra resistencia a la enfermedad.
Mancha de hierro	Cercospora coffeicola	Control cultural (manejo de sombra, fertilización de suelo, uso de caldos minerales, control de malezas, uso de compuestos a base de cobre).
Mal de hilachas	Pellicularia koleroga	Control cultural (podas, control de malezas).
Hormiga arriera	Atta sp.	Control biológico con Beauveria bassiana, Metarhizium anisopliae y hongos micopatógenos como Trichoderma lignorum. Control químico con formícidas.
Gallina ciega	Phyllophaga sp.	Control biológico con infusión de Crotalaria. Control cultural.
Antracnosis	Colletotricum coffeanum	Control cultural (adecuada fertilidad del suelo). Manejo de sombra y evitar anegamiento. Control químico

Desde la década de 1990 surgió como alternativa de control biológico de la broca del café, la inoculación de plantas con el hongo entomopatógeno (HE) *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv) Vuill. (Ascomycota: Hypocreales) (Arnol y Lewis, 2005). Este HE tiene un rango amplio de huéspedes y distribución geográfica cosmopolita, es un hongo que tiene formas de desarrollo miceliales y conidióforos que llevan esporas asexuales o conidias (Alatorre-Rosas, 2007). Una característica adicional *B. bassiana*, además de entomopatógeno es endófito (organismo vivo encontrado dentro del tejido vivo de un autótrofo) y que se presenta en asociación con la planta del café de manera asintomática (Posada y Vega, 2006).

Utilización de *Beauveria bassiana* en problemas fitosanitarios

La biotecnología agrícola está enfocada a dar solución a problemas de baja producción y pérdidas económicas de cultivos provocadas por factores abióticos y bióticos del campo, enfocándose a principalmente a lograr una agricultura sustentable. En este sentido, un objetivo de la biotecnología es reducir la dependencia de agroquímicos sin afectar la productividad (Menn y Hal, 1999).

El hongo *B. bassiana* fue descrito por primera vez hace 178 años (1835). Desde aquellos tiempos es considerado como un hongo que puede ser utilizado como agente de control biológico de insectos plaga (Zimmermann, 2007). Se encuentra ampliamente distribuido en todas las regiones del mundo y puede ser aislado de insectos, ácaros y en suelos, donde es parte de la biota microbiana y otros substratos.

La luz solar es perjudicial para el patógeno, su exposición directa por periodos de 60 min, lo inactiva casi en su totalidad, afectando su eficiencia contra la plaga (Edgington et al., 2000). Se ha utilizado en todo el mundo por más de 100 años como micoinsecticida, representa el 33.9 % de los productos comercializados (de Faria y Wraight, 2007), principalmente contra plagas de cultivos agrícolas y forestales, y es considerado como factor de mortalidad de manera natural en poblaciones de insectos, causando epizootias en algunos ecosistemas (Zimmermann, 2007).

El hongo infecta al insecto, el cual muere entre el cuarto y quinto día de haberse infectado, se caracteriza por el micelio blanco algodonoso que se desarrolla entre los tegumentos de su hospedero (Posada y Vega 2005). *B. bassiana* puede atacar a la broca cuando está fuera del fruto, o bien si no se encuentra muy profunda en el fruto, ya que de otra forma es casi invulnerable al patógeno.

Si la broca se infecta por el hongo, muere después de tres a seis días en condiciones de alta humedad y dura hasta nueve días si las condiciones de humedad relativa son de 70 a 80%. Sin embargo, los resultados de

eficiencia de *B. bassiana* contra la broca son variables y pueden estar entre 20 y 75% (Bustillos et al., 2006).

El horario recomendado para la aplicación de *B. bassiana* es durante las horas más frescas del día, por la mañana o por la tarde, asperjando en forma directa al fruto dañado y aplicándolo con bomba de mochila (procafe 2000). Se ha encontrado que son necesarias dos aplicaciones del hongo para lograr mejor control. En México se recomienda usar una concentración de 1.3×10^{12} esporas/ha (SAGARPA, 2007).

Para un mejor desempeño de cepas de *B. bassiana* en términos de infectividad sobre el insecto plaga, se recomienda evitar más de tres resiembras sucesivas en medios de cultivo artificial en laboratorio previo a su producción masiva, por lo que se recomienda monitorear periódicamente la retención de la virulencia del hongo durante todo el proceso de producción (Bustillo, 2006).

Los (HE) son un grupo con potencial para el manejo de plagas; entre los más destacados está *Beauveria bassiana*, el cual tiene la capacidad de infectar más de 700 especies de insectos. Este comprende a 521 géneros y 149 familias en 15 órdenes (Li 1988). A pesar de la prevalencia de *Beauveria*, muchos aislados tienen restringido su rango de hospedero, por lo que es necesario evaluar la virulencia del hongo contra la plaga que se desea controlar.

En el cuadro 3 se puede observar las especies de insectos plaga que *B. bassiana* es capaz de infectar.

Cuadro 3. Algunas plagas controladas por *Beauveria bassiana*.

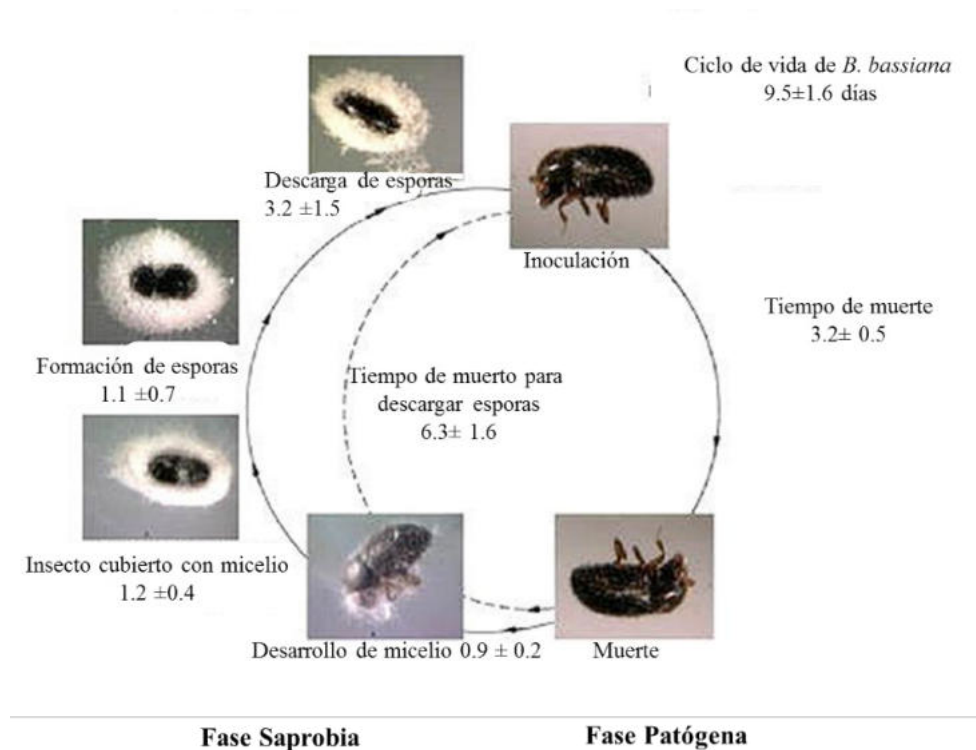
Nombre común	Nombre científico	Estado Suscep- tible
Picudo del algodón	Anthonomus grandis	Adulto
Palomilla de la manzana	Cydia pomonella	Adulto
Barrenador del tallo de maíz	Diatraea saccharalis	Larva
Gusano de la harina	Tenebrio molitor	Larva
Broca del café	Hypothenemus hampei	Adulto
Chinche ligus	Lygus lineolaris	Adulto
Mosca del Mediterráneo	Ceratitis capitata	Adulto
Gusano elotero	Heliotis zea	Larva
Gusano minador del tomate	Tuta absoluta	Larva
Gusano blanco de las rosáceas	Asynonychus cervinus	Larva
Mosquita blanca	Bemisia tabaci	Ninfas
Gallina ciega	Phyllophaga sp.	Larvas

Proceso infectivo

El proceso de infección de *B. bassiana* en la broca del café inicia con la adhesión de las conidias a la superficie de la cutícula; posteriormente estas germinan estimuladas por el integumento del huésped y emiten estructuras especializadas, que con mecanismos físicos y enzimáticos, perforan la cutícula hasta llegar al hemocele. En el interior del insecto, el hongo crece como cuerpos hifales o blastosporas, las cuales invaden y consumen todos los tejidos y sus órganos. Como consecuencia del daño ocasionado por el hongo y la producción de toxinas, la broca muere. Posterior a la muerte del insecto, y en condiciones de humedad alta el hongo emerge sobre el cadáver y esporula (Figura 3).

Una de las características en el proceso infectivo de los HE es que los conidios actúan por contacto, adhiriéndose a la superficie de la cutícula del insecto a partir de fuerzas hidrofóbicas, la presencia de proteínas ricas en cisteínas conocidas como hidrofobinas (Charnley, 1997).

Figura 3. Ciclo de infección de *B. bassiana* sobre la broca de café.



Fuente: Posada y Vega, 2005.

Un cadáver de broca puede producir hasta 10 millones de conidios; desde que inicia la infección, hasta el desprendimiento de los conidios transcurren ocho días en laboratorio y entre 15 y 30 días en campo (Bustillo, 2006). Como se mencionó previamente, la virulencia del patógeno y su respuesta a factores abióticos varían conforme al origen de la cepa o aislamiento. Comprendiendo el mecanismo de infección se deduce la importancia de las unidades infectivas.

Producción de *Beauveria bassiana* (Bals.-Criv.) Vuill

El sustrato comúnmente utilizado en la producción de conidios de hongos entomopatógenos es el arroz. Grimm (2001) utilizando granos de arroz menciona que la producción de conidios por los hongos *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana* fue de 8×10^8 y 5×10^9 conidios/gssi, respectivamente. Otro ejemplo del uso de granos de arroz para la producción de conidios son los estudios realizados por Neves y Alves (2000) los cuales utilizaron dicho sustrato para la selección de aislados de *B. bassiana* y *M. anisopliae* que produjeran gran cantidad de conidios. Garza-López et al., (2008) también utilizaron como sustrato granos de arroz y determinaron la influencia de la concentración de O_2 y CO_2 para la producción de conidios por *B. bassiana*, obteniendo una producción de 1.80×10^8 conidios/gssi.

Utilización de hongos endofíticos

Los hongos endófitos colonizan órganos vivos de la planta sin causar efectos negativos, son asintomáticos (Hirsch y Braun, 1992). Estos hongos ubicados principalmente en el orden Hypocreales, penetran a través de los estomas o de un mecanismo similar al que utilizan durante el proceso de patogénesis en insectos. Se han reportado cerca de 600 especies de plantas en asociación, que representan a cerca de 320 géneros y 100 familias (Jumpponen y Trappe, 1998). Los hongos endófitos de la raíz se producen desde los trópicos hasta el ártico, comprenden un grupo heterogéneo que es funcional ecológicamente con los hongos del suelo, hongos saprofitos, hongos patógenos y hongos micorrízicos.

El hongo *B. bassiana* ha sido reportado como un hongo endófito en maíz (Bing y Lewis, 1991), papas, algodón (Jones, 1994), tomate (Leckie, 2002) y cacao (Posada y Vega, 2005). En Colombia fue aislado *Beauveria bassiana* como un hongo endófito en plantas de café, demostrando que es posible inocular plantas de café con

Beauveria bassiana utilizando inyecciones, microaspersión y suelo húmedo.

Los estudios de hongos endófitos hasta ahora han presentado resultados inconsistentes, esto es en gran parte a las afinidades taxonómicas inciertas de las cepas de los hongos endófitos utilizados. Los HE son ampliamente estudiados y los métodos para su producción y aplicación en agroecosistemas del café están siendo desarrolladas (Posada et al., 2004).

El hongo *B. bassiana* se ha establecido como un microorganismo endófito en plántulas de café (*in vitro*). Posada y Vega (2006) mostraron que utilizando una suspensión de conidios de *B. bassiana* en la radícula el hongo se logra establecer el hongo en el cultivo, pudiendo ser detectado a diferentes días post inoculación.

Bibliografía

- Alatorre-Rosas R (2007). “Hongos entomopatógenos”, en L.A. Rodríguez del Bosque y H.C. Arredondo Bernal (eds.) Teoría y aplicación del control biológico. Sociedad Mexicana de Control Biológico, México, pp. 127-143.
- Amecafé (2013). Estrategia de innovación hacia la competitividad en la cafecultura mexicana.
<http://amecafe.org.mx/downloads/PLAN%20DE%20INNOVACION%20HIDALGO.pdf> Fecha de Consulta: 03/09/2013.
- Arnold AE, Lewis LC (2005) Ecology and evolution of fungal endophytes and their roles against insects. In: Vega F.E., Blackwell M., eds. Insect-fungal associations: ecology and evolution. New York: Oxford University Press, pp. 74-96.
- Barrera JF, García A, Domínguez B, Luna C (2007). La broca del café en América Tropical: hallazgos y enfoques. Sociedad Mexicana de Entomología y el Colegio de la Frontera Sur. México, pp. 141.
- Bing LA, Lewis LC (1991). Suppression of the European corn borer, *Ostrinia nubilalis* (Hubner) (Lepidoptera: Pyralidae), by endophytic *Beauveria bassiana* (Balsamo) Vuillemin. *Environmental Entomology*, 20:1207-1211.
- Bustillo AE (2006). “Una revisión sobre la broca del café *Hypothenemus hampei* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae)” en Colombia, en *Revista Colombiana de Entomología*, 32:101-116.
- Castillo FR (1998) “Situación actual y acciones para el combate de la broca del café en México”, en: J.F. Barrera; A.A. Guerra, J.J. Menn y P.S. Baker (eds.). II Reunión Intercontinental sobre broca del café. Tapachula Chiapas, México, pp. 23.
- Charnley AK (1997). “Entomopathogenic fungi and their role in pest control”, en *The Mycota IV, Environmental and microbial relationships*. (Wicklow D and Soderstorm M., eds), pp. 185-201, Springer-Verlag, Heidelberg, Alemania.
- Edgington S, Segura H, de la Rosa W, Williams T (2000). “Photoprotection of *Beauveria bassiana*: testing simple formulations for control of the coffee berry borer”. *International Journal of Pest Management*, 46:169-176.
- Garza-López PM, Königsberg M, Gómez-Quiroz LE, Loera O (2012). “Physiological and antioxidant response by *Beauveria bassiana* Bals (Vuill.) to different oxygen concentrations”. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28: 353-359.

- Grimm C (2001). Economic feasibility of a small-scale production plant for entomopathogenic fungi in Nicaragua. *Crop Protection*. 20:623-630.
- Hirsch GU, Braun U (1992). "Communities of parasitic microfungi", en *Handbook of vegetation science: Fungi in vegetation science*, Vol 19. ed. W. Winterhoff. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherlands: 225-250.
- Jones KD (1994). Aspects of the biology and biological control of the European corn borer in Carolina. Tesis doctoral. Raleigh: North Carolina State University. 127 p.
- Jumpponen A, Trappe JM (1998). Dark septate endophytes: a review of facultative biotrophic root colonizing fungi. *New Phytologist*, 140:295–310.
- Leckie BM (2002). Effects of *Beauveria bassiana* mycelia and metabolites incorporated into synthetic diet and fed to larval *Helicoverpa zea* and detection of endophytic *Beauveria bassiana* in tomato plant using PCR and ITS. Tesis de Maestría. Knoxville: The University of Tennessee.
- Li ZZ (1988). "List on the insect hosts of *Beauveria bassiana*", en *Study and application of entomogenous fungi in China*, Vol. 1. Beijing: Academic Periodical Press, pp. 241_255 (in Chinese with Latin names and English summary).
- Menn JJ, Hall R (1999). "Biopesticides: present status and future projects", en *Biopesticides: Use and Deliver*. Ed. F.R. Hall and J.J. Menn. Humana Press. Totowa, NJ, pp. 301-320.
- Naturland (2000). *Organic Farming in the Tropics and Subtropics. Exemplary Description of 20 Crops. Coffee*. Naturland Association, 1st Edition, Gräfelfing, Germany.
- Neves PJ, Alves SB (2000). "Selection of *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill. and *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) Sorok. Strains for control of *Cornitermes cumulans* (Kollar.)". *Brazilian Archives Biology and Technology*, 43:373-378.
- Posada F, Vega FE (2005). "Establishment of the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales) as an endophyte in cocoa seedlings (*Theobroma cacao*)". *Mycologia*, 97:1195-1200.
- Posada FJ, Villalba DA, Bustillo AE (2004). Los insecticidas y el hongo *Beauveria bassiana* en el control de la broca del café. *Cenicafé* 55:136-149.
- Posada FJ, Vega FE (2005). "A new method to evaluate the biocontrol potential of single spore isolates of fungal entomopathogens", en *Journal of Insect Science*, 37: 1-10
- Posada F, Vega FE (2006). Inoculation and colonization of coffee seedlings (*Coffea arabica* L.) with the fungal entomopathogen *Beauveria bassiana* (Ascomycota: Hypocreales). *Mycoscience*, 47:284-289.

- Procafé (2000). El hongo *Beauveria bassiana*, una herramienta para el control de la broca del fruto del cafeto. Hoja técnica. Fundación Salvadoreña para la investigación del café. San Salvador, El Salvador.
- cefp (2001). El mercado del café en México. Fecha de consulta: 29/11/2013.
<http://www.cefp.gob.mx/intr/edocumentos/pdf/cefp/cefp0542001.pdf>
- Ramírez AM, González M, Bello RA, Romero S (2007). “Campaña Nacional Contra la broca del café en México: operación y perspectivas”, en J.F. Barrera, A. García, V. Domínguez y C. Luna. (eds.) La broca del café en América tropical: hallazgos y enfoques. Sociedad Mexicana de Entomología y el Colegio de la Frontera Sur, México, pp. 73-81.
- SAGARPA, 2013. Cierre de la producción agrícola por estado. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351. Fecha de consulta: 03/11/2013).
- SAGARPA, 2007. Apéndice Técnico-Operativo de la Campaña contra la broca del Café. Vol 2. Dirección General de Sanidad Vegetal-Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria. Noviembre de 2007, México D.F.
- Soto-Pinto L, Perfecto I, Caballero-Nieto (2002). Shade over coffee: its effects on berry borer, leaf rust and spontaneous herbs in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Systems* 55, pp. 37-45, 2002. Kluwer Academic Publishers.
- Ureña ZJD (2009). Manual de Buenas Prácticas Agrícolas en el cultivo del café en asocio con aguacate. Asociación de Frutales de llano Bonito. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00190.pdf> Fecha de consulta: 29/11/2013
- Villalba DA, Bustillo AE, Chaves CB (1995). Evaluación de insecticidas para el control de la broca del café en Colombia. *Cenicafé* 46:152-163.
- Zhang YJ, Li ZH, Luo ZB, Zhang JQ, Fan YH, Pei Y (2009). Light simulates conidiation of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana*. *Biocontrol Science and Technology*, 19:91-101.
- Zimmermann G (2007). Review on safety of the entomopathogenic fungus *Beauveria bassiana* and *Beauveria brongniartii*. *Biocontrol Science. Technology*, 17: 553-596. <http://dx.doi.org/10.1080/09583150701309006>

Capítulo 3

Aprovechamiento de residuos agroindustriales en el estado de Hidalgo

Arce-Cervantes Oscar^{3*1}
Saucedo-García Mariana¹
Flores Chávez Benito¹
Hernández León Sergio¹
Hernández Martínez Ricardo²
Erick Ortega Sánchez³

La preocupación sobre cambios en el medio ambiente por actividades humanas, no es un tema reciente, aspectos como el cambio climático, la deforestación, el agotamiento de la capa de ozono, la pérdida de la biodiversidad, la contaminación del suelo, agua y aire, la erosión, etc., son temas recurrentes en diferentes foros; sin embargo, las respuestas siguen estando dispersas y escasas, los esfuerzos son aislados y el tridente Universidad-Gobierno-Industria no termina por engranarse en el quehacer ambiental.

Los sistemas integrados de gestión de residuos son uno de los mayores desafíos para el desarrollo sostenible, tomando en cuenta la definición de este por la Comisión Burdttland, en 1987, la cual los describe como “el desarrollo que satisface las necesidades presentes, sin comprometer la capacidad para que las futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades”; a este mismo documento se unió la Agenda 21, en 1992, que establece tres enfoques básicos, en el que se compatibiliza el aspecto ecológico, económico y político-social. Lo cual se integra en la definición de Enkerlin et al., (1997), quienes establecen que el desarrollo sustentable es un proceso

3 * Óscar Arce-Cervantes (oarce@uaeh.edu.mx).

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo, Hidalgo, México.

² Catedrático CONACYT- Instituto Tecnológico Superior de Tierra Blanca.

³ Universidad Politécnica de Tlaxcala. Zacatelco, Tlaxcala, México.

dinámico que permite a la sociedad actual y futura, elevar su calidad de vida, además de conservar los recursos naturales.

Para que estas definiciones se cumplan en la práctica, el primer paso es llevar a cabo estudios de caracterización de residuos. Algunos antecedentes en la última década muestran que para lograr el desarrollo sustentable es necesario realizar investigaciones científicas que ayuden a dar solución a la relación hechos y causas, pero es necesario asegurar que en el sistema político y económico se tomen decisiones que sean sustentadas en el conocimiento científico.

Los desechos sólidos son los residuos que se generan debido a las actividades humanas, los que generalmente se desechan como inútiles; se obtienen como un subproducto de las actividades comerciales, industriales o agrícolas y por lo general, son una gran fuente de contaminación, por lo que actualmente se buscan alternativas de usos de estos residuos (Canché-Escamilla et al., 2005). La principal fuente de contaminación del agua es atribuida a las descargas sanitarias no tratadas, residuos industriales y escurrimientos y desechos de los campos agrícolas (Bhatnagar y Sillanpää, 2010). Actualmente, se presenta el interés integral en la producción, la gestión y eliminación de residuos; Beolchini et al., 2013, sugirieron la existencia de una creciente conciencia de los problemas ambientales, de salud, económicos y sociales, que están involucrados en la eliminación de residuos; teniendo especial importancia en el tratamiento y gestión de residuos sólidos urbanos debido a su abundancia e impacto en el medio ambiente (Vasudevan et al., 2012).

En México el manejo de los residuos provocados por las actividades agrícolas, industriales o cualquier actividad humana, no ha sido adecuado debido a que los residuos sólidos municipales son mixtos (diferentes materiales mezclados), lo cual dificulta su tratamiento, generando condiciones insalubres al almacenarse en instalaciones inadecuadas; aumentando los costos de procesamiento al ser necesaria su separación. Así también hay un impacto negativo sobre el agua, suelo y aire, resultado de un tratamiento y gestión inadecuado (Krüger et al., 2012); por otro lado, la industria agrícola es una de las principales fuentes de generación de residuos sólidos, los cuales están constituidos principalmente por los tallos, raíces, hojas u otras partes de las plantas que no son utilizadas en los procesos de alimentación y/o industrialización (Canché-Escamilla et al., 2005). La tendencia actual es la utilización y aprovechamiento de residuos agroindustriales para la producción de compuestos útiles o como insumos de otros procesos agrícolas, ganaderos e industriales. En los primeros años la prioridad se enfocó a la generación de productos con valor agregado, posteriormente a la reducción del impacto ambiental que ocasiona su disposición. Actualmente la prioridad está enfocada a la producción de bioenergéticos y a la

elaboración de nuevas formulaciones de alimentos para ganado.

Selección de residuos con fines de aprovechamiento biotecnológico

La agricultura intensiva genera grandes cantidades de subproductos en épocas específicas del año, que al acumularse producen graves problemas medioambientales (SAGARPA, 2006). Los residuos agrícolas tienen la ventaja de ser materiales altamente lignocelulósicos (Graminha et al., 2008) a bajo costo (Meneses et al., 2007), que pueden ser aprovechados para la producción de metabolitos de interés pecuario e industrial (Ayala et al., 2011).

La industria agrícola es una de las principales fuentes de generación de residuos sólidos, para el tratamiento de dichos residuos, existen tecnologías novedosas tales como la adsorción, la cual consiste en el uso de silica gel, carbón activado, zeolitos, alúmina activada, también se pueden utilizar adsorbentes de desechos de trigo, arroz, coco, cacahuate y café, entre otros (Bhatnagar y Sillanpää, 2010); un ejemplo del uso de estos residuos es la planta del plátano, que por su característica constitutiva (fibras lignocelulósicas), se utiliza para la obtención de celulosa o la obtención de materiales compuestos, este proceso consiste de cuatro etapas: hidrólisis ácida, cloración, hidrólisis alcalina y un blanqueo (Canché-Escamilla et al., 2005); otro ejemplo del uso de estas técnicas es en el proceso de reutilización de residuos agrícolas, a través del uso del carbón activado, el cual, elimina metales pesados, marcadores y/o pigmentos (Kadirvelu et al., 2003; Dias et al., 2007).

Los residuos vegetales también se pueden modificar químicamente, con un pre-tratamiento para extraer compuestos orgánicos solubles y aumentar su eficacia, utilizando agentes tales como: hidróxido de sodio, carbonato de sodio, hidróxido de calcio, ácido clorhídrico, ácido sulfúrico, ácido nítrico y ácido cítrico; del mismo modo usando compuestos orgánicos como etilendiamina, formaldehído, metanol y agentes oxidantes como peróxido de hidrogeno y colorantes como “Orange 13”, estos compuestos eliminan la coloración de la solución acuosa e incrementan la eficiencia de adsorción de metales pesados. Estas técnicas han sido utilizadas para el tratamiento de residuos vegetales de bagazo (Mohan y Singh, 2002), arroz, nogal, cascara de maní, cascara de cacahuate, residuos de yuca, residuos de tubérculos, trigo, salvado, alfalfa, residuos de zanahoria y pulpa de caña de azúcar, principalmente (Wan Ngah y Hanafiah, 2008).

Se ha propuesto otro método para la utilización de los residuos agrícolas llamado “Biosorción”, que tiene muchas ventajas sobre los métodos convencionales, tales como su bajo costo, alta eficacia, minimiza la producción de lodos químicos o biológicos, no requiere nutrientes adicionales y tiene amplia posibilidad de

recuperación de metales, esta es una técnica muy útil en los residuos agrícolas, debido a las altas concentraciones de hemicelulosa, lignina, proteínas, lípidos, azúcares simples e hidrocarburos, entre otros (Sud et al., 2008). El uso de residuos agrícolas también puede ser para utilizado para la eliminación de colorantes aniónicos, debido a que la biodegradabilidad de los colorantes por otros métodos es muy baja (Somasekhara et al., 2012).

Recursos agroindustriales en México

La agroindustria es una actividad que integra la producción primaria agrícola, pecuaria o forestal, con el proceso de beneficio o transformación, así como la comercialización del producto, incluyendo diferentes procesos administrativos.

Los residuos agroindustriales son materiales en estado sólido o líquido que se generan a partir del consumo directo de productos primarios o de su industrialización, que ya no son de utilidad para el proceso que los generó, pero que son susceptibles de aprovechamiento o transformación para generar otro producto con valor económico, ya que cuando los residuos no son reutilizados y se abandonan en el lugar que se generaron, se convierten en contaminantes de agua, suelo y agua, la acumulación de biomasa en grandes cantidades provoca deterioro ambiental y genera pérdidas de materiales con alto potencial biotecnológico (Khalil, 2002). Actualmente se utilizan como sustratos para la producción fermentativa de metabolitos de interés, la generación de bioenergéticos, mejoradores de suelos mediante composteo suplemento alimenticio para ganado, entre otros.

Los residuos agroindustriales difieren debido a la materia prima y proceso por el cual fueron generados, aunque comparten la principal característica al presentar alto contenido de materia orgánica constituida principalmente por celulosa, lignina, hemicelulosa y pectina; al igual que otros residuos como lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales, lacto suero, hojarasca de parques, así como residuos domésticos y residuos sólidos municipales.

Esta fuente renovable de materia orgánica puede ser transformada por métodos físicos (calor, molido, prensado), químicos (hidrólisis, hidrólisis con ácidos y bases) y biológicos (fermentación aerobia, anaerobia, sólida o líquida, hidrólisis enzimática, cultivo de microorganismos) en productos de interés pecuario o industrial como biocombustibles, enzimas, azúcares simples, metabolitos secundarios y proteína (Howard et al., 2003; Tengerdy y Szakacs, 2003; Ayala et al., 2011).

Los residuos agroindustriales representan un problema de contaminación, debido a que no existe una clara conciencia ambiental para su manejo, además de la falta de capacidad tecnológica y recursos económicos para darles un destino final, así como una legislación específica para promover la gestión de este tipo de residuos.

Su utilización depende de la selección adecuada del proceso, residuo y microorganismo. Las características deseables para que un residuo agroindustrial pueda ser utilizado son:

- Disponibilidad local y en cantidad suficiente.
- No requerir pre tratamiento, en caso de ser necesario que este sea sencillo y de bajo costo.
- Ser estable, resistente a las condiciones climáticas de la región.

Principales residuos agrícolas del estado de Hidalgo

El principal residuo lignocelulósico generado en México es el bagazo de caña con una producción de 380 millones de toneladas anuales (Sánchez, 2009), es un bio-producto de la industria cañera que representa una fuente potencial de energía en la alimentación animal (Gómez et al., 2003; Campos et al., 2004).

Por otra parte el rastrojo de maíz genera una producción de 191 millones de toneladas anuales (Sánchez, 2009). La alta disponibilidad lo convierte en un recurso importante en la alimentación de rumiantes; sin embargo, su baja digestibilidad y su bajo contenido de proteína comprometen su uso eficiente.

En el ciclo agrícola otoño-invierno y primavera-verano 2012, en el estado de Hidalgo se sembraron un total de 461 mil hectáreas, entre superficie de riego más temporal, con un valor de producción superior a los 5, 203, 339.38 miles de pesos, colocándolo en el décimo séptimo estado en superficie cultivable. En lo que se refiere a cultivos de ciclo perenne el estado se encuentra en el lugar número 18 con una superficie sembrada de 577 mil ha. Finalmente, en el censo 2012, el estado de Hidalgo contaba con una superficie sembrada de 116 mil ha en cultivos perennes, colocándolo en el lugar décimo sexto (SAGARPA, 2013). Colocando a Hidalgo entre los estados con mayor vocación agrícola, para el 2014 se anunció que habría un incremento del 15.3% en presupuesto para el campo de Hidalgo (Inforural, 2013).

La cebada, en 2012, se colocó como el primer lugar en superficie sembrada de grano con 107 mil ha, de las cuales se cosechó 98.7% con un rendimiento de grano superior a las 2 ton ha⁻¹ y 1.8 ton ha⁻¹ de paja de cebada (SAGARPA, 2013). Sin embargo, la industria de la cerveza solamente utiliza 8% de los componentes del grano, el resto (92%), es un residuo.

Entre los cultivos generadores de biomasa residual se encuentra el cultivo del café, que de acuerdo con el censo 2012 en el estado de Hidalgo se encuentra sembrada una superficie de 26 mil ha de este cultivo perenne, colocándolo como el sexto productor nacional de café con un rendimiento superior de 1 ton ha⁻¹ (SAGARPA, 2013). De la producción total del café la industria solo utiliza 9.5% (café pergamino) el restante es un residuo.

Selección de residuos con fines de aprovechamiento biotecnológico

Varios trabajos se han enfocado en la utilización de residuos agroindustriales usados como sustratos para la producción de enzimas en cultivo sólido, como primer paso para su uso como aditivos, proporcionándoles un valor agregado y contribuyendo a solucionar problemas ambientales (Arce-Cervantes et al., 2013b; Peláez-Acero et al., 2008; D'Agostini et al., 2011). Sin embargo, la adecuada selección del sustrato es esencial, ya que el éxito del proceso depende de él. Los sustratos suelen seleccionarse de acuerdo con las características del microorganismo y de los productos o las enzimas a producir. Para producir celulasas y xilanasas es recomendable emplear sustratos con altos contenidos de celulosa y hemicelulosa (Shah y Madamwar, 2005); mientras que para enzimas oxidasas es preferible utilizar sustratos con alto contenido de lignina (Rodríguez-Couto y Sanromán, 2005).

En el aprovechamiento biotecnológico que se presenta al reciclar el carbono, es importante entender la naturaleza de la descomposición y biodegradación de lignocelulosa por los organismos responsables; estos materiales lignocelulósicos contienen celulosa (40-60%), hemicelulosa (20-30%) y lignina (15-30%) (Bhat y Hazlewood, 2003), siendo la fuente de biomasa más abundante, la lignocelulosa es el componente principal de las plantas (Tuomela et al., 2000).

La lignina secuestra a la celulosa y hemicelulosa, estructuralmente es heterogénea con un arreglo irregular de polímeros de fenilpropano (alcohol coniferílico, sinapílico y cumarílico) que están unidos entre sí por enlaces carbono-carbono y aril-éter, que resiste la degradación química o enzimática. Su función es conferir soporte estructural, impermeabilidad y resistencia al ataque de microorganismos (Howard et al., 2003).

Debido a la lignina, la degradación de los componentes de la pared vegetal es un proceso complejo que necesita involucrar la acción en sinergia de un gran número de enzimas extracelulares. Las enzimas exógenas se han utilizado en la industria alimentaria para consumo humano como la producción de pan, queso, vino, cerveza y papel (Lehinger, 1994). En el uso para la alimentación animal se inició desde 1960 en dietas para no rumiantes (Beauchemin et al., 1997), posteriormente en rumiantes (Ayala et al., 2011, Arce-Cervantes et al., 2013a), algunas enzimas se utilizan para remover factores antinutricionales de los alimentos, incrementando la digestibilidad y coadyuvando en la actividad enzimática endógena (Smiricky et al., 2001). Las celulasas (EC 3.2.1.4), además de servir como materia prima en la producción microbiana de una amplia variedad de químicos, alimentos y combustibles; como lo mencionaron Solovyev et al., (1997), sin embargo, la bioconversión de la

celulosa contenida en los residuos agroindustriales es un problema importante para la biotecnología, debido a las crecientes necesidades de alimento y a la acumulación del recurso. Las xilanasas (EC 3.2.1.8) son enzimas que se emplean en procesos biotecnológicos, permitiendo la obtención de oligosacáridos de xilano provenientes de desechos agrícolas para su uso como aditivos alimenticios en la modificación de masas en panadería; junto con las celulasas mejoran las dietas de aves y rumiantes aumentando la digestibilidad de las materias primas por hidrólisis enzimática de los arabinoxilanos existentes en forrajes y cereales (Topakas et al., 2003). Finalmente, las lacasas, que se han utilizado para la degradación previa de la lignina con el fin de aumentar la exposición de la celulosa, hemicelulosa y xilosa a las celulasas y xilanasas fúngicas (Anderson et al., 1988), presentan un mecanismo de biocatálisis no específico, por lo que son utilizadas en procesos de bioremediación por hongos de pudrición blanca, los cuales tienen la ventaja de producir esta gama de enzimas (Rogalski et al., 1993).

Cultivo en medio sólido

El cultivo en medio sólido (cms) es una técnica que reproduce los procesos naturales como el compostaje y el ensilado microbiológico. El cms se define como un proceso de fermentación que ocurre en ausencia (o casi ausencia) de agua libre, utilizando ya sea un soporte natural o un soporte inerte (Pandey, 2000).

Este ofrece numerosas oportunidades en el proceso de residuos agrícolas, debido a que los procesos tienen baja demanda energética, generan menor agua residual, bajos costos de producción, se obtienen productividades más altas y se disminuyen los efectos de inhibición por sustrato (Viniegra-González et al., 2003). Además de ser un proceso económico y eficiente para la producción de enzimas extracelulares a partir de hongos (Iwashita, 2002).

El cms involucra el control de diferentes parámetros fisicoquímicos y bioquímicos como el tamaño de partícula y área específica (Ortega-Sánchez et al., 2013), la humedad, actividad de agua, temperatura, pH, agitación, aireación, edad y tamaño del inóculo, suplementación de nutrientes, fuentes de carbono e inductores y finalmente la extracción y purificación del producto en caso de requerirse (Membrillo et al., 2011).

La producción de enzimas ha adquirido mayor interés en biotecnología y el cms se ha mostrado adecuado para la producción de estas utilizando hongos filamentosos (Pandey et al., 2000). Las enzimas lignocelulolíticas exógenas comerciales son comúnmente producidas cms y cultivo en medio líquido, utilizando hongos como *Aspergillus oryzae*, *A. niger*, *Trichoderma reesei* y *T. viride* (Loera y Villaseñor-Ortega, 2006).

Además dentro de los microorganismos que producen enzimas lignocelulolíticas están los hongos de podredumbre blanca. Entre algunos de estos basidiomicetos con interés biotecnológico por su resistencia a sustancias recalcitrantes se encuentran *Trametes versicolor*, *Bjerkandera adusta*, *Pleurotus ostreatus* y *Fomes fomentarius* (Rodríguez et al., 2008). Estos hongos crecen sobre sustratos lignocelulósicos debido a su capacidad de producir enzimas hidrolíticas y oxidativas (Da Silva et al., 2005).

En la última década se ha desarrollado la producción de enzimas extracelulares a partir basidiomicetos, siendo los resultados influenciados por la cepa, la composición del sustrato utilizado, la concentración y cantidad de nutrientes en el sustrato y el método de cultivo (Arce-Cervantes et al., 2013b; Ordaz et al., 2012).

En el mercado existen productos enzimáticos comercializados para la ganadería, los cuales se obtienen principalmente de cuatro bacterias: *Bacillus subtilis*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus plantarum* y *Streptococcus faecium* spp, de tres géneros de hongos: *Aspergillus oryzae*, *Trichoderma reesei* y *Saccharomyces cerevisiae* (Muirhead, 1996).

La producción de enzimas tiene como base la utilización de microorganismos, sobre todo hongos y bacterias, debido a que secretan una serie de enzimas hidrolíticas (Forsberg et al., 2000). Para la producción enzimática es necesario realizar ensayos con diferentes cepas antes de identificar una adecuada al producto de interés, y que además presente buenas tasas de producción.

Producción fermentativa de metabolitos

Los residuos provenientes de diferentes agroindustrias, que contiene cantidades importantes de celulosa, hemicelulosa, lignina y pectina, son sustratos atractivos para la producción de enzimas de aplicación industrial, entre las que destacan las celulasas, hemicelulasas, xilanasas y pectinasas, las cuales marcaron una época en la historia de la biotecnología (cuadro 1).

Valdez-Vázquez et al. (2010) establecen que en México se produjeron 75.73 millones de toneladas de materia seca provenientes de 20 cultivos, del volumen total de residuos, 79% corresponden a residuos primarios, obtenidos al momento de la cosecha como hojas, tallos del maíz, tallos y vaina del sorgo, puntas y hojas de la caña de azúcar, paja de trigo, paja de cebada, rastrojo de frijol y cáscara de algodón. Y 20% corresponde a residuos secundarios obtenidos del procesamiento poscosecha, entre los que están el bagazo de la caña de azúcar, mazorcas y olotes, bagazo de maguey y de agave y pulpa de café.

Cuadro 1. Usos de algunos residuos agroindustriales en diversos procesos biotecnológicos

RESIDUO	PRODUCTO	CEPA	APLICACIÓN	AUTORES
Pulpa del henequén	Pectinasas	<i>Aspergillus</i> H43	Industria de los Alimentos	Huitron et al., 1994
Uva	Celulasas, xilanasas pectinasas	<i>Aspergillus awamori</i>	Industria textil, química y alimentos	Botella et al., 2005
Soja y salvado de trigo	Pectinasas	<i>Aspergillus niger</i>	Industria de los Alimentos y papelera	Castilho et al., 2000
Mazorcas y olotes Bagazo de caña	Xilanasas	<i>Penicillium janthinellum</i>	Industria de alimento de aves, industria química	Oliveira et al., 2006
Residuos de cebada, avena y cáscara de yuca	Xilanasas	<i>Penicilliumjanczewskii</i>	Industria de alimento de aves, industria química	Fanchini et al., 2010
Residuos de cervecería, pulpa de café, residuos de corcho y roble	Fructooligosacáridos β -fructofuranosidasa	<i>Aspergillus japonicus</i>	Industria farmacéutica y de alimentos	Mussatto et al., 2009
Plumas de gallina	Queratinasas	<i>Bacillus subtilis</i>	Industria de detergentes	Rai et al., 2009
Residuos de <i>Jatropha</i>	Proteasas	<i>Aspergillus oryzae</i>	Industria de los alimentos y farmaceutica	Thanapimmentha et al., 2012
Alperujo de oliva	Lacasas	<i>Pycnoporus coccineus</i>	Bioremediación	Jaouani et al., 2005
	Lacasas	<i>Coriolopsis rigida</i>	Bioremediación	Aranda et al., 2006
Lactosuero y levadura	Ácido láctico	<i>Lactobacillus curvatus</i>	Alimentos	Oliveira et al., 1996
Suero de queso	Polihidroxibutirato,	<i>Methylobacterium</i> sp ZP24	Plásticos biodegradables y elastómeros	Nath et al., 2008
Rastrojos y zacates	Producción de setas comestibles	<i>Pleurotus ostreatus</i>	Industria de los alimentos	Loss et al., 2009
Residuos de cítricos	Bioplagicuida	<i>Trichoderma harzianum</i> T-78	Industria agrícola	López et al., 2010
Residuos de eucalipto	Manganeso peroxidasa	<i>Lentinula edodes</i>	Bioremediación	Arantes et al., 2011
Rastrojo de maíz y salvado de trigo	Celulasas, xilanasas, lacasas	<i>Fomes</i> sp. EUM1	Industria alimento para ganado	Arce-Cervantes et al., 2012

Debido a lo anterior, el creciente desarrollo de la biotecnología para la transformación de residuos de la industria hacia su innovación en productos renovables como biocombustibles, compuestos químicos, entre otros, a partir de subproductos resulta ser una alternativa que permite el aprovechamiento de residuos para proporcionar un valor agregado y ofrecer sustentabilidad.

Bibliografía

- Anderson SJ, Merrill JK, Klopfenstein TJ (1988). Soybean hulls as an energy supplement for the grazing ruminant. *Journal of Animal Science*, 66:2959-2964.
- Arce-Cervantes O, Mendoza G, Hernández PA, Meneses M, Torres-Salado N, Loera O (2013a). The effects of a lignocellulolytic extract of *Fomes* sp. EUM1 on the intake, digestibility, feed efficiency and growth of lambs. *Animal Nutrition and Feed Technology*, 13:363-372.
- Arce-Cervantes O, Mendoza G, Miranda Romero LA, Meneses M, Loera O (2013b). Efficiency of lignocellulolytic extracts from thermo tolerant strain *Fomes* sp. EUM1: stability and digestibility of agricultural wastes. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15:229-240.
- Ayala MM, Gonzalez MSS, Mendoza MG, Meneses MM, Vazquez GC, Loera CO (2011). Fibrolytic potential of spent compost of the mushroom *Agaricus bisporus* to degrade forages for rumin. *African Journal of Microbiology Research*, 5:241-249.
- Beauchemin K, Jones S, Rode L, Sewalt V (1997). Effects of fibolytic enzymes in corn or barley diets on performance and carcass characteristics of feedlot cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, 77:645-653.
- Beolchini F, Rocchetti, Altimari P, Michelis ID, Toro L, Pagnanelli F, Moscardini E, Kopacek B, Ferrari B, Innocenzi V, Vegliò F (2013). Urban Mining: A Successful Experience of the EU-FP7 Hydrowee Project. *Environmental Engineering and Management Journal*, 12:69-72.
- Bhat MK, Hazlewood GP (2003). Enzymology and other characteristics of cellulases and xylanases. In: Bedford, M.R., Partidge. G.G. (eds). *Enzymes in farm animal nutrition*. 2a ed. CABI International, U.K, pp: 11-59.
- Bhatnagar A, Sillanpää M (2010). Utilization of agro-industrial and municipal waste materials as potential adsorbents for water treatment-A review. *Chemical Engineering Journal*, 157:277-296.
- Botella C, Ory I, Webb C, Cantero D, Blandino (2005). Hydrolytic enzyme production by *Aspergillus awamori* on grape pomace. *Biochem Eng*, 6:100-106.
- Campos FP, Sampaio AAM, Bose MLV, Vieira PF, Sarmiento P (2004). Evaluation of in vitro gas production of roughages and their mixture using the curves subtraction method. *Animal Feed Science and Technology*, 116:161-172.
- Castilho LR, Medronho RA, Alves TL (2000). Production and extraction of pectinases obtained by solid state

- fermentation of agroindustrial residues with *Aspergillus niger*. *Bioresource Technology*, 71: 45-50.
- Da Silva R, Lago ES, Merheb CW, Macchione MM, Kun PY, Gomes E (2005). Production of xylanase and CMCase on solid state fermentation in different residues by *Thermoascus aurantiacus* Miede. *Brazilian Journal of Microbiology*, 36:235-241.
- D'Agostini EC, Mantovani TRD, do Valle JS, Paccola-Meirelles LD, Colauto NB, Linde GA (2011). Low carbon/nitrogen ratio increases laccase production from basidiomycetes in solid substrate cultivation. *Scientia Agricola*; 68:295-300.
- De los Santos-Hernández JM, Andrade-Canto S, Gómez-Cruz R (2005). Obtención de Celulosa a Partir de los Desechos Agrícolas del Banano. *Información Tecnológica*, 16:83-88.
- Dias JM, Alvim-Ferraz MCM, Almeida MF, Rivera-Utrilla J, Sánchez-Polob M (2007). Waste materials for activated carbon preparation and its use in aqueous-phase treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 85:833–846.
- Enkerlin E, Cano E, Garzo P, Vogel E (1997). *Ciencia Ambiental y Desarrollo Sostenible*. International Thomson Editores, México.
- Fanchini CR, Temer B, Teixeira MC, Cano E (2010). Production of Xylanolytic enzymes by *Penicillium janczewskii*. *Bioresource Technology*, 101:4139-4143.
- Forsberg CW, Forazo E, Chesson (2000). Microbial adherence to the plant cell wall and enzymatic hydrolysis. In: Cronjé, P.B., Broomker, E.A., Henning, P.H., Schultheiss, W., van der Walt, J.G. (eds). *Ruminant physiology: Digestion, metabolism growth and reproduction*. CAB International, pp. 79 -98.
- Gómez VA, Pérez J, Mendoza GD, Aranda E, Hernández A (2003). Fibrolytic exogenous enzymes improve performance in steers fed sugar cane and star grass. *Livestock production Science*, 82:249-254.
- Graminha EBN, Gonçalves AZL, Pirota RDPB, Balsalobre MAA, Da Silva R, Gomes E (2008). Enzyme production by solid-state fermentation: Application to animal nutrition. *Animal Feed Science and Technology*, 144:1–22.
- Howard RL, Abotsi E, Jansen van Rensburg EL, Howard S (2003). Lignocellulose biotechnology: issues of bioconversion and enzyme production. *African Journal Biotechnology*, 2:602-619.
- Huitrón C, Saval S, Acuña ME (1984). Production of microbial enzymes from agro-industrial by-products. *Enzyme Engineering*, 7:110-114.
- Inforural (2013). <http://www.inforural.com.mx/spip.php?article133317>

Fecha de consulta: 20/11/2013.

- Iwashita K (2002). Recent studies of protein secretion by filamentous fungi. *Journal Bioscience Bioengineer*, 94:530-535.
- Jaouani A, Guillen F, Penninckx MJM, Martínez AT, Martínez MJ (2005). Role of *Pycnoporus coccineus* laccase in the degradation of aromatic compounds in olive oil mill wastewater. *Enzyme and Microbial Technology*, 36:478-486.
- Kadirvelu K, Kavipriya M, Karthika C, Radhika M, Vennilamani N, Pattabhi S (2003). Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions. *Bioresource Technology*, 87:129–132.
- Khalil AI (2002). Production and characterization of cellulolytic and xylanolytic enzymes from the ligninolytic white-rot fungus *Phanerochaete chrysosporium* grown on sugar cane bagasse. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 18:753-759.
- Krüger S, Leuschner DC, Ehrmann WU, Schmiedl G, Mackensen, A (2012). Sedimentology of sediment core PS2561-2. North Atlantic Deep Water and Antarctic Bottom Water variability during the last 200 ka recorded in an abyssal sediment core off South Africa. *Global and Planetary Change*, 80-81, 180-189.
- Lehninger AL, Nelson DL, Cox MM (2009). *Principios de bioquímica*. Omega.
- Levin L, Herrmann, Papinutti L (2008). Optimization of lignocellulolytic enzyme production by the white-rot fungus *Trametes trogii* in solid-state fermentation using response surface methodology. *Biochemical Engineering Journal*, 39:207-214.
- Loera O, Villaseñor F (2006). Xylanases. In *advances in agricultural and food biotechnology*. In: Guevara, R.G., Torres, I. (Eds.). Research Signpost Editorial, Kerala, India. Chapter 14, pp. 305–322.
- Membrillo I, Sánchez C, Meneses M, Favela E, Loera O (2011). Particle geometry affects differentially substrate composition and enzyme profiles by *Pleurotus ostreatus* growing on sugar cane bagasse. *Bioresource Technology*, 102:1581-1586.
- Meneses M, Madrid J, Martínez A, Hernández F, Gallego A, Megías MD (2007). Evaluación fermentativa del ensilado del subproducto de alcachofa (*Cynara scolymus* L.). en tres niveles de un microsilos. *Anales de Veterinaria*, 23:129-136.
- Mohan D, Singh KP (2002). Single and multi-component adsorption of cadmium and zinc using activated carbon derived from bagasse-an agricultural waste. *Water Research*, 36:2304–2318.

- Muirhead S (1996). Direct Fed Microbial, Enzyme and Forage Additive Compendium, 3rd edn. The Miller Publishing Company, Minnetonka, Minnesota, 391 pp.
- Ordaz A, Favela E, Meneses M, Mendoza G, Loera O (2012). Hyphal morphology modification in the thermal adaptation by the white rot fungus *Fomes* sp. EUM1. *Journal of Basic Microbiology*, 52: 67-174.
- Pandey A, Soccol CR, Nigam P, Soccol VT (2000). Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, 74:69-80.
- Peláez-Acero A, Meneses-Mayo M., Miranda-Romero LA, Ayala-Martínez M, Crosby-Galván MM, Loera-Corral O, Mejías-Rivas MD (2011). Fibrolytic enzymes produced by solid-state fermentation to improve sugar cane silage. *Agrociencia-México*, 45:675- 685.
- Pinos RJM, González MS, Mendoza MG, Bárcena GR, Cobos PM (2002). Efecto de enzimas fibrolíticas exógenas en la digestibilidad in vitro de la pared celular de heno de alfalfa (*Medicago sativa*). o de ballico (*Lolium perene*). *Interciencia*, 1:28-32.
- Rodríguez MAM, PintoP, Bezerra RMF, Dias AA, Guedes CVM, Cardoso VMG, Cone JW, Ferreira LMM, Colaço J, Sequeira CA (2008). Effect of enzymes extracts isolated from white-rot fungi on chemical composition and in vitro digestibility of wheat straw. *Animal Feed Science and Technology*, 141:326–338.
- Rogalski J, Hatakka A, Wojtas-Wasilewska M, Leonowicz A (1993). Cellulolytic enzymes of the ligninolytic white-rot fungus *Phelebia radiata*. Determination of enzyme activities. *Acta Biotechnological*, 13:47-51.
- sagarpa (2006). Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera. www.siap.sagarpa.gob.mx. [Fecha de consulta: 23/10/2008].
- sagarpa (2013). Cierre de la producción agrícola por estado. http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=351 Fecha de consulta: 03/11/2013).
- Sánchez C (2009). Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. *Biotechnology Advances*, 27:185-194.
- Shah RA, Madamwar D (2005). Xylanase production under solid-state fermentation and its characterization by an isolated strain of *Aspergillus foetidus* in India. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21:233 -243.
- Smiricky-Tiarden MR, Grieshop CM, Flickinger EA (2003). Dietary galactooligosaccharides effect ileal and total. Tract nutrient digestibility, ileal and fecal bacterial concentrations, and ideal fermentative characteristics of growing pigs. *Journal of Animal Science*, 81:2535-2545.

- Somasekhara Reddy M. C., Sivaramakrishna L. y Varada Reddy A. 2012. The use of an agricultural waste material, Jujuba seeds for the removal of anionic dye (Congo red). from aqueous médium. *Journal of Hazardous Materials*, 203–204:118–127.
- Sud D, Mahajan G, Kaur MP (2008). Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions: A review. *Bioresource Technology*, 99:6017–6027.
- Solovyeva IV, Ananjin VM, Boev AV, Okunev ON (1997). The controlled biosynthesis of cellobiase by *Aspergillus* fungi. *Process Biochemistry*, 32:21-28.
- Tengerdy RP, Szakacs G (2003). Bioconversion of lignocellulose in solid substrate fermentation. *Biochemical Engineering Journal*, 13:169–179.
- Topakas E, Katapodis P, Kekos D, Macris BJ, Christakopoulos P (2003). Production and partial characterization of xylanase by *Sporotrichum thermophile* under solid-state fermentation. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*, 19:195-198.
- Tuomela M, Vikman M, Hatakka A, Itävaara M (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology*, 72 169-183.
- Valdez-Vazquez I, Acevedo-Benítez JA, Hernández Santiago C (2010). Distribution and potential of bioenergy resources from agricultural activities in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14:2147–2153.
- Vasudevan V, Stratton RW, Pearlson MN. Jersey GR, Beyene AG, Weissman JC, Rubino M, Hileman JI (2012). Environmental performance of algal biofuel technology options. *Environmental Science & Technology*, 46:2451-9.
- Viniegra-González G, Favela-Torres E, Aguilar CN, Romero-Gómez S, Díaz-Godínez G, Augur C (2003). Advantages of fungal enzyme production in solid state over liquid fermentation systems. *Biochemical Engineering Journal*, 13:157-167.
- Wan Ngah WS, Hanafiah MAKM (2008). Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review. *Bioresource Technology*, 99:3935–3948.
- Yang WZ, Beauchemin KA, Rode LM (2000). A comparison of methods of adding fibrolytic enzymes to lactating cow diets. *Journal of Dairy Science*, 83:2512-2520.

Capítulo 4

Las coníferas del estado de Hidalgo

Sergio Hernández León^{4*}

David S. Gernandt²

Edith Jiménez Muñoz¹

Otilio Acevedo-Sandoval¹

José González Ávalos¹

Ramón Razo Zárate¹

Introducción

Las gimnospermas representan el segundo grupo de plantas más numeroso después de las angiospermas. Son plantas vasculares que se reproducen por medio de óvulos expuestos durante la polinización y que producen semillas expuestas usualmente en estróbilos o conos (Farjon, 2008; Gernandt et al., 2011). Hay cuatro linajes modernos de gimnospermas: las coníferas, las cícadas, las ginkgofitas y las gnetofitas. La mayoría de las gimnospermas están extintas y las existentes son solo una pequeña muestra de lo que alguna vez cubrió el planeta (Farjon, 2008).

Las coníferas incluyen a los seres vivos terrestres más altos como *Sequoia sempervirens* que alcanza una altitud de hasta 115 m, los de mayor volumen como *Sequoiadendron giganteum* con 400 m³ y los más longevos del planeta como *Pinus longaeva* con una edad calculada de aproximadamente 4,700 años y *Picea abies* un organismo clonal con una edad estimada de alrededor de 9,550 años. En México *Taxodium mucronatum*, el árbol nacional, es notable por su tamaño y longevidad (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014; Gernandt et al., 2011).

4 * Sergio Hernández León (sergio_hernandez@uaeh.edu.mx).

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México.

² Departamento de Botánica, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, A.P. 70-233, Ciudad de México, 04510.

Historia evolutiva

Las coníferas son un grupo verdaderamente antiguo; se originaron hace más de 300 millones de años y han experimentado una gran variedad de cambios geológicos y ecológicos a lo largo del tiempo. La diversidad actual de coníferas es una combinación de eventos de especiación y extinción a lo largo de la historia evolutiva (Farjon, 2008).

Distribución geográfica

Las coníferas se distribuyen a lo largo de todos los continentes en la tierra, con un rango latitudinal amplio que se extiende desde los 55° de latitud sur en Tierra de fuego en América del Sur hasta los 75° de latitud norte dentro del círculo ártico en Siberia (Gernandt et al., 2011). Los rangos geográficos varían entre las especies. Algunas tienen una distribución a lo largo de todo un continente, mientras que otras son endémicas y están restringidas a regiones geográficas localizadas, muchas de estas son especies raras o amenazadas (Farjon y Page, 1999).

El hemisferio norte contiene aproximadamente 70% del total de la diversidad de coníferas. México se encuentra entre las regiones con mayor diversidad de especies. El país cuenta con cuatro familias, diez géneros y 94 especies (14%) que se distribuyen de manera natural en el país, 43 de estas especies son endémicas, de las cuales 18 tienen un rango de distribución limitado a tres o menos estados. En México la mayor concentración de géneros de coníferas se encuentra en los estados de Hidalgo, Veracruz, Puebla y Oaxaca (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014) (cuadro 1).

Es fundamental el estudio detallado de los recursos forestales y específicamente el de las especies de coníferas, de las cuales se obtiene la mayor cantidad de recursos maderables a nivel mundial y regional (Farjon, 2008).

Ecología

Las coníferas habitan en todos los continentes excepto en la Antártida en donde únicamente se han encontrado como fósiles (Farjon, 2008). Habitan en ambientes extremos marcados por grandes altitudes y latitudes y/o ecosistemas con suelos pobres en nutrientes (Richardson y Rundel, 1998). Los ecosistemas dominados por coníferas son más frecuentes en el hemisferio norte y aquellos ecosistemas en los que son especies dominantes o están asociadas con especies de angiospermas en el hemisferio sur; aproximadamente una tercera parte de las especies de coníferas se encuentra en los trópicos (Ogden y Stewart, 1995).

En México las coníferas crecen desde el nivel del mar hasta altitudes mayores a los 4,000 m. La mayor diversidad de especies se localiza en dos de los sistemas montañosos más importantes del país, la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental. De acuerdo con (Rzedowski, 1978), las coníferas habitan en bosque de pino, matorral de pino, bosque de *Abies*, bosque de *Pseudotsuga* y *Picea*, bosque o matorral de *Juniperus* y bosque de *Cupressus* (*Callitropsis*), bosque mesófilo de montaña, bosque de pino-encino, matorral xerófilo y bosque de galería en el caso de *Taxodium mucronatum* (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

Suelos forestales de coníferas

Las coníferas crecen en suelos ácidos y pobres en nutrientes de manera óptima con algunas pocas excepciones. Se ha observado que existe una correlación negativa entre la capacidad de asimilación de nutrientes y el incremento del pH. En plantaciones comerciales por ejemplo cuando se detecta un síntoma que pudiera estar asociado con deficiencia de nutrientes, el pH es el factor que debe ser evaluado primeramente (Richardson y Rundel, 1998).

Rasgos morfológicos

Hábito: Las coníferas son árboles o arbustos leñosos con hojas simples, conos polínicos simples y conos ovulados compuestos. Corteza: Rugosa o lisa, en placas grandes y gruesas con fisuras o en tiras largas y delgadas (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014). Madera: La madera de las coníferas está constituida por traqueidas con grandes punteaduras areoladas en sus paredes, la mayoría de sus radios son estrechos con excepción de aquellos que tienen canales resiníferos. A diferencia de la madera de angiospermas, la madera de coníferas no presenta elementos de vaso, siendo las traqueidas las que llevan a cabo la función tanto de conducción (de agua y minerales) como de soporte (Evert, 2006; Hoadley, 1990). La resina es producida en la madera, la corteza, las hojas y en algunas especies en los conos; se puede acumular en células o cistos resiníferos o ser conducida mediante canales resiníferos (Farjon, 2008). Hojas: Las hojas de las coníferas son simples y su venación es simple o paralela. Las hojas pueden presentar forma de agujas (acículas), escamas (escuamiformes), pueden ser lineares, lanceoladas y en ocasiones oblongas o falcadas. Generalmente son persistentes, aunque en algunas especies son deciduas (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014). Conos: En las coníferas los órganos reproductivos están separados en conos polínicos (estróbilos microsporangiados) y conos ovulados (estróbilos megasporangiados) aunque en algunos grupos como *Taxaceae* estos últimos están considerablemente reducidos. Los conos polínicos y ovulados pueden estar presentes en el mismo árbol (especie monoica) o en diferentes árboles (especie dioica).

Los conos polínicos de las coníferas son simples, formados por microsporófilas arregladas en forma helicoidal alrededor de un eje central. El polen en algunas especies (excepto en Cupressaceae, Taxaceae y en géneros como *Pseudotsuga*) presenta sacos aeríferos (con alas o sacos). La presencia de sacos aeríferos está asociada con la presencia de una gota de polinización. La presencia de conos ovulados compuestos es uno de los rasgos morfológicos más importantes que caracteriza a las coníferas. Están formados por un complejo bráctea-escama arreglado helicoidalmente sobre un eje central. En algunas especies de Cupressaceae el complejo bráctea-escama presenta grados variables de fusión y en algunos grupos es difícil identificar estas estructuras (Farjon y Ortiz García, 2003; Tomlinson y Takaso, 2002). La escama presenta uno o muchos óvulos en su lado superior, que al momento de la polinización se encuentran expuestos (Tomlinson y Takaso, 2002). En algunos grupos donde el crecimiento de las escamas ovulíferas se reprime mediante mecanismos genéticos, las brácteas son las que forman los conos como en el caso de *Juniperus* (Farjon, 2008). Los conos ovulados de las coníferas usualmente son leñosos; sin embargo, en el género *Juniperus* son fibrosos o carnosos y en las familias Podocarpaceae y Taxaceae los conos ovulados se encuentra reducidos a una o dos escamas con un solo óvulo, los óvulos están cubiertos por estructuras estériles, carnosas y de colores llamativos usualmente denominados epimacios y arilos respectivamente (Farjon y Ortiz García, 2003; Tomlinson y Takaso, 2002). Semillas: Las semillas pueden presentar un ala que facilita su dispersión por viento (Pinaceae y en algunas especies de Cupressaceae) o agua (*Taxodium*); las semillas en otros grupos carecen de ala y la dispersión está asociada con aves u otros animales (*Juniperus*, Podocarpaceae y Taxaceae, así como pinos piñoneros). El número de cotiledones es variable de 2 a 15 y excepcionalmente 25 en el caso de *Pinus maximartinezii* (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

Rasgos moleculares

La mayoría de las coníferas tienen entre 10 y 13 cromosomas ($n = 10$ a $n = 13$), aunque en Podocarpaceae hay taxa con 19 cromosomas y *Pseudolarix amabilis* (Pinaceae) tiene 22. Además unas pocas especies de Cupressaceae son poliploides, como *Sequoia sempervirens* ($n = 33$). El tamaño del genoma de las coníferas es aproximadamente un orden de magnitud mayor que en las angiospermas. El genoma del cloroplasto de las coníferas es más pequeño entre 120,000 y 130,000 pb (pares de bases) que en el resto de las plantas porque presenta únicamente una copia del repetido inverso largo (large inverted repeat) en lugar de dos copias (Wakasugi *et al.*, 1994). En la familia Pinaceae se encuentran ausentes los genes *ndh* del genoma del plastidio (Braukmann, Kuzmina, y Stefanović, 2009). Un estimado reciente del genoma mitocondrial en *Pinus taeda*, sugiere un tamaño

aproximado de 1,253,551 bp (Neale *et al.*, 2014).

Sistemática

Las coníferas se clasifican en el orden Coniferales (o Pinales) e incluyen 6 familias, 71 géneros y entre 546 y 670 especies (Eckenwalder, 2009; Farjon, 2010; Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

En este trabajo se incluyen los nombres de los taxa validos de acuerdo con revisiones publicadas recientemente. El género *Taxodium* se considera dentro de la familia Cupressaceae (Eckenwalder, 2009). Se usa el nombre del género *Callitropsis* para designar las especies de América del Norte anteriormente clasificadas en el género *Cupressus* (Little, 2006). Dentro del género *Callitropsis* se reconocen como especies diferentes en el estado de Hidalgo *Callitropsis lusitanica* y *C. benthamii* (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014). En el género *Pinus* se considera *Pinus michoacana* como un sinónimo de *P. devoniana* siendo este último el nombre valido y de igual manera *P. rudis* se trata como una variedad de *P. hartwegii* (Farjon y Styles, 1997).

Ha sido controversial incluir a la familia Taxaceae dentro de las coníferas (Florin, 1954); sin embargo, de acuerdo con evidencia de secuencias de ADN es correcto considerarla como una familia dentro de las coníferas.

Diversidad

Una característica importante del grupo es que una de las seis familias, Sciadopityaceae, incluye solamente una única especie. Otro indicador de diversidad poco usual en coníferas es el número de géneros con una sola especie 30 (aproximadamente 43%) de un total de 70 géneros. Otros 21 géneros incluyen únicamente de dos a cinco especies.

Según la clasificación de Farjon (2010), solo 6 géneros incluyen 21 especies o más. Los tres géneros de coníferas más ricos en especies son *Juniperus* (Cupressaceae) con 52 especies; *Podocarpus* (Podocarpaceae) con 108 especies y *Pinus* (Pinaceae) con 109 especies (Farjon, 2010). El género *Pinus* es particularmente diverso en el hemisferio norte y el género *Podocarpus* en el hemisferio sur y los trópicos (Gernandt et al., 2011). A nivel mundial México es una de las regiones con mayor diversidad de especies de coníferas, siendo el género *Pinus* el más numeroso en el país (Farjon, 2010; Gernandt et al., 2011) (cuadro 1).

Las coníferas de Hidalgo

En el estado de Hidalgo se distribuyen de manera natural cuatro familias de coníferas: Cupressaceae, Pinaceae, Podocarpaceae y Taxaceae; 8 géneros: *Abies*, *Callitropsis*, *Juniperus*, *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Podocarpus*, *Taxodium* y *Taxus* con un total de 24 especies (cuadro 2).

Cuadro 1. Comparación de especies de coníferas en México en relación al estimado mundial (Gernandt y

Pérez-de la Rosa, 2014)			
Género	Especies en México	Especies en el Mundo	Porcentaje en México
Abies	8	47	17%
Callitropsis	7	18	39%
Juniperus	20	68	30%
Picea	3	38	8%
Pinus	49	120	40%
Podocarpus	3	97	3%
Pseudotsuga	1	4	25%
Taxodium	1	2	50%
Taxus	1	10	10%

Cuadro 2. Comparación de especies de coníferas en Hidalgo con relación al estimado a nivel mundial y nacional (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014)

Género	EH/ ENM	% EH/ENM	EH/ EM	% EH/EM
Abies	2/47	4 %	2/8	25 %
Callitropsis	2/18	11 %	2/7	28 %
Juniperus	3/68	4 %	3/20	15 %
Pinus	12/120	10 %	12/49	24 %
Podocarpus	1/97	1 %	1/3	33 %
Pseudotsuga	1/4	25 %	1/1	100 %
Taxodium	1/2	50 %	1/1	100 %
Taxus	1/10	10 %	1/1	100 %

EH. Especies en Hidalgo. **ENM.** Especies a nivel mundial. **EM.** Especies en México.

Los porcentajes no son comparables entre géneros debido al número de especies diferencial que estos incluyen.

Hidalgo es uno de los tres estados en el noreste de México con mayor diversidad de géneros de coníferas. Biogeográficamente forma parte de la Zona de Transición Mexicana e incluye las provincias de la Sierra Madre Oriental, la altiplanicie o altiplano mexicano y la Costa del Golfo de México (Morrone, 2005; Rzedowski, 1978). La sierra Madre Oriental en el noreste de México es una de las regiones con más alta diversidad de coníferas (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

Distribución geográfica y descripción morfológica de las especies de coníferas en el estado de Hidalgo

Las descripciones de las especies están basadas en (Farjon et al., 1997; Farjon y Styles, 1997) y (Eckenwalder, 2009). Los mapas de distribución geográfica en los municipios del estado de Hidalgo están sustentados en la base de datos de recolectas del Herbario Nacional de México (MEXU) del Instituto de Biología de la UNAM.

Familia CUPRESSACEAE S. F. Gray

Género *Callitropsis* D.P. Little

Callitropsis benthamii (Endl.) D.P. Little

Descripción: Árboles monoicos comúnmente con corona cónica aproximadamente con 30 m de altura y fuste de 1.5 (–3.5) m de diámetro. **Corteza.** Café rojiza a oscura, delgada, fibrosa, exfoliándose en tiras angostas. **Hojas.** En forma de escamas color verde oscuro levemente dimórficas, ramas con follaje levemente aplanadas, las últimas ramas más o menos dísticas, gradualmente disminuyendo en longitud y levemente aplanadas. **Conos.** Polínicos 3–4(–6) mm de largo y 2.5–3 mm de ancho, con seis a ocho pares de escamas, cada una con (tres o) cuatro sacos de polen. Conos ovulados esféricos, 1–1.5 (–2) cm de largo, color café rojizo o grisáceo cuando están maduros, con una capa cerosa cuando están inmaduros, con (dos o) más común tres o cuatro pares de escamas, cada una con una estructura cónica marcada de 5–6 mm de alto con líneas radiales originadas de dicha estructura. **Semillas.** De 8 – 12 por escama.

Callitropsis lusitanica (Mill.) D.P. Little

Descripción: Árboles monoicos con altura de 30 m y fuste de 1.5 (–3.5) m de diámetro. **Corteza.** Café rojiza, delgada, fibrosa, exfoliándose en tiras angostas (*figura 1*). **Hojas.** En forma de escamas en ramillas con una

longitud de 1–2.5 mm (10 mm con puntas libres a 4 mm en los brotes principales) color verde oscuro a verde azulado con una capa cerosa, con una glándula de resina inactiva o totalmente ausente (*figura 2*). **Conos.** Polínicos 3–4(–6) mm de largo y 2.5–3 mm de ancho, con seis a ocho pares de escamas, cada una con (tres o) cuatro sacos de polen. Conos ovulados esféricos, 1–1.5(–2) cm de largo, color café rojizo o grisáceo cuando están maduros, con una capa cerosa cuando están inmaduros, con (dos o) tres o cuatro pares de escamas, cada una con una estructura cónica marcada de 5–6 mm de alto con líneas radiales originadas de dicha estructura (*figura 2*). **Semillas.** De 8 – 12 por escama. Distribución (*figura 3*).

Género *Juniperus* Linnaeus

Juniperus deppeana Steud.

Descripción: Árboles monoicos con altura de 8(–20) m y 0.5(–2) m de diámetro. **Corteza.** Color gris oscura, comúnmente cuadriculada en bloques regulares, dando un patrón de piel de cocodrilo. **Hojas.** Alternas en pares o en tríos, en forma de escama, de 1–2 mm de longitud con color verde azulado con una delgada capa cerosa con la punta apuntando hacia la ramilla. **Conos.** Conos polínicos medianamente oblongos con una longitud de (2.5–)3–6 mm con cuatro a ocho pares de escamas alternas. Conos ovulados esféricos de 8–15(–20) mm de diámetro, color café rojizo con una capa cerosa delgada o gruesa. **Semillas.** 1–(3–5)–6, 6–10 mm de largo, café oscuro con una tenue cicatriz de fijación extendida hasta la mitad de la semilla a partir de la base.

Juniperus flaccida Schltdl.

Descripción: Árboles monoicos con altura de 12(–20) m y 50 cm de d.a.p. (Diámetro a la altura del pecho). **Corteza.** Rojiza a café con surcos entrelazados alargados longitudinalmente. **Hojas.** Ramillas flácidas y colgantes asociadas con su nombre científico. Alternas en pares, en forma de escama, color verde a amarillo brillante a grisáceo, con una longitud de 1.5–2 mm. **Conos.** Conos polínicos oblongos con longitud aproximada de 2.5 mm con seis pares de escamas alternas. Conos ovulados esféricos (gálbulas) 8–15(–20) mm de diámetro, de color rojizo oscuro a café con una capa cerosa azulosa. **Semillas.** En número de 1–13, 5–6 mm de largo. Con cicatriz de fijación en la base.

Juniperus monticola Martínez

Descripción: Arbustos o árboles arbustivo dioicos de tamaño pequeño con altura de 6 m; se encuentra por

encima de la línea arbórea, generalmente ramificado desde la base, tronco con un diámetro de 0.6 m. **Corteza.** Color café rojiza, café grisácea, delgada, 5–6 mm de grosor, fibrosa, exfoliándose en bandas estrechas y largas. **Hojas.** En pares alternos, en forma de escama, 1–1.5 mm de largo, verde grisáceo, regularmente con una capa cerosa, algunas ocasiones con una glándula oscura cercana a la base, el margen levemente dentado con punta roma y reflejada contra de las ramillas. **Conos.** Conos polínicos solitarios en las puntas de las ramillas, oblongos aproximadamente 4 mm de largo con seis pares de escamas alternas. Conos ovulados solitarios en las puntas de ramillas recurvadas, esféricos o abultados de manera irregular, 5–10 mm de largo, de color oscuro azulado o café azulado, con una capa delgada cerosa. **Semillas.** 2–(3–4)–8, 4–5 mm de largo, café oscuro lustroso, una cicatriz de fijación tenue aproximadamente a la mitad de la longitud de la semilla.

Género *Taxodium* L. Richard

Taxodium mucronatum (Ten.) A. Henry

Descripción: Árboles monoicos con altura de 35(–50) m y 6(–13.6) m de diámetro. **Corteza.** En surcos alargados longitudinalmente, color café rojiza. **Hojas.** Especie caducifolia con ramillas colgantes. En disposición dística en ambos lados de la ramilla, verde claro, tornándose café antes de caer, 6–12(–22) mm de longitud. **Conos.** Conos polínicos con una longitud de 3 mm en grupos de ramillas colgantes de 15 cm de largo. Conos ovulados oblongos, 1.5–2(–3) cm de largo, con 20 –25 escamas. **Semillas.** Café lustroso 5–10mm de longitud.

Familia PINACEAE Adanson

Género *Abies* P. Miller

Abies hidalgensis Debreczy, Rácz et Guizar

Descripción: Árboles monoicos de 30 m de alto con un diámetro aproximado de 100 cm (figura 4). **Corteza.** En surcos, color grisácea (figura 5). **Hojas.** Acículas de (1–)2–3.5(–6) cm de largo con (2–)3–4(–6) canales resiníferos distribuidos en la periferia. **Conos.** Conos polínicos aproximadamente de 10–15 mm de largo, color rojizo. Conos ovulados elongados en forma ovoide de 6–8(–12) cm de largo y (2.5–)3.5–4(–5) cm de ancho, púrpuras o verdes cuando están inmaduros tornándose café cuando maduran. Brácteas comúnmente más largas que las escamas y la punta amplia triangular sobresaliendo por encima y sobre estas. **Semillas.** De aproximadamente 6–8(–11) mm de longitud, con ala más o menos grande. Número de cotiledones 5–6.. Distribución (figura 6).

Abies religiosa (Kunth) Schltdl. et Cham.

Descripción: Árboles monoicos de 45(–60) m de altura con un diámetro de 150(–200) cm. **Corteza.** Color gris claro, desprendiéndose en placas irregulares. **Hojas.** Aciculares arregladas lateralmente en varias líneas. **Conos.** Conos polínicos (12–)20–40 mm de longitud y color rojizo. Conos ovulados cilíndricos a oblongos, (8–)12–16 cm de longitud y de 4–6.5(–8) de diámetro, púrpuras cuando están inmaduros cambiando a café cuando maduran. Brácteas igual de largas que las escamas o incluso más largas, surgiendo de entre las escamas y colgando sobre estas. Eje de cono persistente, levemente cónico. **Semillas.** Con ala. Número de cotiledones 5–6.

Género *Pinus* Linnaeus

Pinus ayacahuite C. Ehrenb. ex Schltdl.

Descripción: Árboles monoicos de tronco recto, altura de 40–45 m y 1.50–2.00 m de diámetro. **Corteza.** No gruesa en el tronco, escamosa, escamas pequeñas de forma rectangular, color café grisáceo en árboles jóvenes delgada y suave. **Hojas.** Acículas en fascículos de 5, de (8–)10–15(–18) cm de longitud y 0.7–1.0 mm de ancho, rectas y ligeramente curvadas, laxas con los márgenes (débilmente) aserrados, estomas solamente en la dos caras internas; escamas de la vaina caedizas. **Conos.** Conos ovulados solitarios o en verticilos de 2–4, en pedúnculos cortos, colgantes, deciduos, cilíndricos, curvados, de (10–)15–40 × 7–15 cm cuando abren, de color café opaco las escamas en el cono 100–150, abriendo pronto y ampliamente curvadas o reflejadas, con el umbo terminal obtuso, muy resinosas. **Semillas.** Con ala adnada, 20–35 × 8–12 mm.

Pinus cembroides Zucc.

Descripción: Árboles monoicos de tamaño pequeño con altura de 10–15 m y 60–80 cm de d.a.p. **Corteza.** Gruesa en el tronco, escamosa, se desprende en pequeñas placas y fisuras longitudinales color gris oscuro y por dentro de color anaranjado o amarillento. **Hojas.** Acículas en fascículos de 2–3, curvadas o casi rectas, de (2–)3–5(–6.5) cm de longitud y (0.6–)0.7–1 mm de ancho, con los márgenes enteros y estomas en todas las caras, de color verde en la cara abaxial y grisáceo en las caras adaxiales; escamas de la vaina de los fascículos retrayéndose antes de caer, lo cual sucede antes de que las acículas alcancen su tamaño definitivo. **Conos.** Solitarios o en grupos de 2–3, en pedúnculos cortos, deciduos, conos generalmente más anchos que largos, irregulares, de 2–5 × 3–6 cm cuando abren. De todas las escamas 10–15 son fértiles, delgadas, flexibles, con profundas cavidades donde se encuentran contenidas las semillas, extendidas muy ampliamente; apófisis levantada, escamas aquilladas transversalmente, con el umbo plano o levantado, de color café claro o café rojizo. **Semillas.** Tamaño de 10–13 × 6–10 mm, con

una cubierta dura, generalmente solo se desarrolla una por escama, sin ala.

Pinus devoniana Lindl.

Descripción: Árboles monoicos de tamaño medio, con el tronco recto, de hasta 20–30 m de alto y 80–100 cm de d.a.p. **Corteza.** Gruesa en el tronco, escamosa, con placas alargadas divididas por fisuras profundas, de color café de color más oscuro. **Hojas.** Fascículos ampliamente extendidos o ligeramente flácidos, 5 acículas por fascículos de (17–)25–40(–45) cm de longitud y 1.1–1.6 mm de ancho, con vainas muy largas. **Conos.** Solitarios o en verticilos de 2–4, con pedúnculos gruesos y cortos, caen dejando algunas escamas en la ramilla, generalmente largos, frecuentemente curvos, de 15–35 × 8–15 cm cuando abren. **Semillas.** Tamaño de 8–10 × 5–7 mm, con ala articulada.

Pinus greggii Engelm. ex Parl.

Descripción: Árboles monoicos de tronco recto de 20–25(–35) m de alto y hasta 70–80 cm de d.a.p. **Corteza.** Gruesa en el tronco, escamosa, con placas alargadas y profundas fisuras longitudinales, de color café oscuro por dentro y gris oscuro por fuera (figura 7). **Hojas.** Fascículos con 3 acículas, de (7–)9–13(–15) cm de longitud y 1–1.2 mm de ancho, rectas y rígidas. **Conos.** En verticilos de (1–)3–8 o más, casi sésiles, persistentes, estrechamente ovoides hasta oblongos cuando están cerrados, de (6–)8–13(–15) × (4–)5–7 cm cuando están abiertos de 3.5–5 cm de ancho cuando están cerrados. Permaneciendo cerrados de algunos a muchos años. **Color** café amarillento, con umbo gris, deprimido o plano (figura 8). **Semillas.** Tamaño de 5–8 × 3–4 mm, de color gris a café-negruzco, con ala articulada de 15–20 × 6–8 mm. Distribución (figura 9).

Pinus hartwegii Lindl.

Descripción: Árboles monoicos de tronco recto de 25–30 m de alto y 80–100 cm de d.a.p. **Corteza.** Gruesa en el tronco, muy rugosa y escamosa, divide en pequeñas o grandes placas, profundamente fisuradas, de color café, gris a oscuro. **Hojas.** En fascículos de 3–(4–5(–6) comúnmente de 5, (6–)10–17(–22) cm de longitud, de (1–)1.2–1.5 mm de ancho, rectas o curvadas, rígidas. **Conos.** Solitarios o en verticilos de 2–3 (–6), aparentemente sésiles, deciduos, oblicuamente ovoides, de 8–12(–14) × 5–8 cm cuando abren. Escamas frecuentemente recurvadas hacia la base. **Semillas.** 5–6 mm de longitud, con frecuencia muestran puntos negros, ala articulada.

Pinus leiophylla Schiede ex Schltdl. & Cham.

Descripción: Árboles monoicos con altura de 20–30 m y 50–85 cm de d.a.p. **Corteza.** Gruesa en el tronco, escamosa, con placas irregulares alargadas y fisuras profundas de color café grisáceo oscuro. **Hojas.** Acículas en fascículos de (4–)5(–6), 4 más frecuente que 6, las acículas con una longitud de (6–)8–15(–17) cm. Las escamas de la vaina caen cuando las acículas alcanzan el tamaño definitivo. **Conos.** Solitarios o en grupos, simétricos, ovoides, frecuentemente pedunculados y persistentes. **Semillas.** 3–4(–5) mm de longitud con ala articulada, de color más claro que el de la semilla.

Pinus montezumae Lamb.

Descripción: Árboles monoicos de tronco recto, altura de hasta 20–30 m y 1 m de d.a.p. **Corteza.** Gruesa en el tronco, escamosa, fragmentándose en placas irregulares pequeñas divididas por fisuras poco profundas de color café oscuro a gris–negruzco. **Hojas.** Fascículos extendidos o un poco flácidos, en fascículos de (4–)5, vainas de (20–)25–35 mm de longitud y 1.5–2.5 mm de ancho, acículas de (15–)20–35(40) cm de longitud y 1.0–1.3 mm de ancho. **Conos.** Solitarios o en verticilos de 3–6, en pedúnculos cortos y sólidos dejando algunas escamas basales cuando caen de 8–20 × 5–10 cm cuando abren, comúnmente más largos que anchos, curvados. **Semillas.** 5–7 × 4–5 mm, con ala articulada, semilla y ala de color café claro con manchas oscuras.

Pinus oocarpa Schiede ex Schltdl.

Descripción: Árboles monoicos de tronco recto, de 30–35 m de alto y 100–125 cm de d.a.p. **Corteza.** Gruesa en el tronco, escamosa, desprendiéndose en pequeñas o grandes placas longitudinales, con fisuras poco profundas, de color café rojizo a café grisáceo. **Hojas.** En fascículos de 5 algunas veces en el mismo árbol de 3, de (17–)20–25(–30) cm de longitud y 0.8–1.4 mm de ancho frecuentemente rígidas. **Conos.** Solitarios o en verticilos de 2–3(–4), en pedúnculos fuertes y curvos, persistiendo por varios años, ampliamente ovoides y subglobosos, cuando están cerrados, con la base aplanada y midiendo de 3–8(–10) × 3–9(–12) cm cuando están abiertos. **Semillas.** 8–18 × 4–8 mm, de color café–grisáceo.

Pinus patula Schiede ex Schltdl.

Descripción: Árboles monoicos de tronco recto, de hasta 35–40 m de alto y 90–100 cm de d.a.p. **Corteza.** Gruesa en el tronco, escamosa, placas grandes y alargadas, tronco con escamas caedizas de color café rojizo.

Hojas. En fascículos de 3–4(–5), de (11–)15–25(–30) cm de longitud y 0.7–0.9 (–1) mm de ancho, rectas, laxas. Fascículos flácidos en ambos lados del brote. **Conos.** Solitarios o en verticilos principalmente de 2 o muchos, casi sésiles, persistentes, estrechamente ovoides u oblongos cuando están cerrados, de 5–10(–12) × (3–)4–6.5 cm cuando abren, de color café amarillento. **Semillas.** 4–6 × 2–4 mm, de color oscuro, con ala articulada de color más claro.

Pinus pinceana Gordon & Glend.

Descripción: Árboles monoicos de tamaño pequeño, con tronco frecuentemente ramificado desde cerca del suelo, 2–3 veces más ancho que alto, de 6–10(–12) m de alto y 20–30 cm de d.a.p. **Corteza.** Delgada, suave, únicamente fisurada y rompiéndose en placas irregulares en la parte baja del tronco, de color gris o café grisáceo. . En fascículos de 3, raro 4, de 5–12(–14) cm de longitud y de 0.8–1.2 mm de ancho, rectas, rígidas, con los márgenes enteros, estomas principalmente dispuestos en las dos caras internas, de color verde-grisáceo o verde claro; las escamas de la vaina caen cuando las acículas alcanzan su tamaño definitivo. **Conos.** Solitarios u ocasionalmente en pares, sobre pedúnculos delgados y curvos que se rompen fácilmente, péndulos, deciduos, irregulares ovoide-oblongos, de 5–10 × 3.5–6(–7) cm cuando abren, de color rojo-café brillante (figura 10). Escamas. Con huellas profundas donde se localizan las semillas. **Semillas.** Tamaño de 11–14 × 7–8 mm, con una cubierta dura, frecuentemente solo una de las semillas se desarrolla completamente en cada escama, sin ala adherida a la semilla. Distribución (figuras 11 y 12).

Pinus pseudostrobus Lindl.

Descripción: Árboles monoicos de tronco recto, de hasta 20–40(–45) m de alto y 80–100 cm de d.a.p. **Corteza.** Gruesa en el tronco, escamosa, con placas alargadas y fisuras longitudinales profundas, de color café oscuro a café grisáceo. **Hojas.** En fascículos de 5, raro de 4 o 6 (18–)20–30(–35) cm de longitud y de 0.8–1.3 mm de ancho, rectas, laxas, más raro rígidas. Fascículos extendidos o más frecuentemente flácidos hasta casi péndulos. **Conos.** Solitarios o en pares, más raro en verticilos de 3–4, en pedúnculos cortos y robustos, dejando algunas escamas basales en la ramilla cuando caen, de 7–16 × 6–13 cm cuando abren, variables, por lo general asimétricos ovoides. **Semillas.** Tamaño de 5–7 × 3–4.5 mm, con ala articulada cubriendo parte de un lado de la semilla.

Pinus teocote Schiede ex Schltdl. & Cham.

Descripción: Árboles monoicos de tronco recto o algunas veces bifurcado con altura de 20–25 m y 75 cm de d.a.p. **Corteza.** Escamosa, con placas longitudinales, fisuras anchas y profundas. **Hojas.** Acículas en fascículos de 3(2–5), de (7–)10–15(–18) cm de longitud y 1–1.4 mm de ancho, rígidas, las vainas se acortan con la edad de manera considerable. **Conos.** de 1 a 3 en pedúnculos cortos y curvos que caen con el cono, la forma de los conos es ovoide, de (3–)4–6(–7) × 2.5–5 cm cuando se encuentran abiertos. **Semillas.** Longitud de 3–5 mm, con ala articulada.

Género *Pseudotsuga* Carrière

Pseudotsugamenziesii var. *glauca* (Beissn.) Franco

Descripción: Árboles monoicos de 90(–100) m de altura con un diámetro de aproximadamente 100 cm. **Corteza.** Café grisácea a oscura, desprendiéndose en placas escamosas amplias entrelazadas separadas por surcos profundos, color café. **Hojas.** Acículas emergiendo a los lados y por encima de ellos, de (1.5–)2–3(–4) cm de largo y 1–1.5 mm de ancho. **Conos.** Conos polínicos aproximadamente de (10–)15–20 mm color café claro a amarillo con fragmentos rojizos. Conos ovulados con una longitud de 4–9(–10) cm de largo y 3–4 cm de ancho, color verde antes de la madurez, cuando maduran color café amarillento a marrón, escamas flexibles, con las brácteas sobresaliendo (figura 13). **Semillas.** De aproximadamente 5–7(–8) mm de longitud, con ala de 10–12(–14) mm de largo. Distribución (figuras 14 y 15).

Familia PODOCARPACEAE Endlicher

Género *Podocarpus* L ‘Héritier ex Persoon

Podocarpus matudae Lundell

Descripción: Árboles dioicos de 20 metros de altura o mayor, con un diámetro de 100(–150) cm. **Corteza.** En surcos, color grisácea a rojiza (figura 16). **Hojas.** Surgiendo alrededor de las ramas, sumamente espaciadas pero más concentradas cerca de los extremos de crecimiento, verde oscuro en la parte superior, un poco mas pálido en la parte inferior, coriáceas, planas, márgenes levemente doblados hacia abajo, (4–)7–9(–12) cm de largo, hasta 20 cm en árboles jóvenes (figura 17). De 10–16 mm de ancho 19 mm en árboles jóvenes, la parte más ancha en el medio o levemente más abajo, disminuyendo en anchura hacia las puntas que son triangulares, base redondeada con forma acunada con un peciolo corto de 1–5 mm de largo. Vena media elevada por la parte superior de la hoja, particularmente en la base, y levemente evidente en la parte inferior de la hoja, con un

canal resinífero bajo la vena media. **Conos.** Polínicos (3–)4–6 cm de largo y 4–5 mm de ancho, surgen uno o dos de forma axilar respecto a las hojas o en pedúnculos de 2 mm de largo. Cono ovulado en un pedúnculo con hojas(4–)8–18 mm de largo, sin bracteolas basales, parte reproductiva con dos brácteas notablemente desiguales, estas y el eje tornándose inflado y carnosos, color rojizo a café oscuro, (4–)6–9 mm de largo y de 4–6 mm de grosor. Una escama de semilla fértil, la cubierta de la semilla combinada y el epimacio levemente carnosos sobre una cobertura interna dura, lisa o un poco arrugada, (8–)12–15(–18) mm de largo por (7–)10–14 mm de grosor, con una cresta roma y un pico pequeño inferior. Distribución (figura 18).

Familia TAXACEAE S. F. Gray

Género *Taxus* Linnaeus

Taxus globosa Schtdl.

Descripción: Arbustos o árboles dioicos de 20(–40) m de alto con 40 cm de diámetro. **Corteza.** En surcos, grisácea. **Hojas.** Color verde olivo de (1.5–)2–3.5 cm de largo y de 1–3 mm de ancho (figura 19). **Conos.** Conos polínicos aproximadamente 3 mm de largo. **Semillas.** Levemente aplanadas, aproximadamente 5 mm de longitud prominente dentro de un arilo esférico de color rojo brillante (figura 20). Distribución (figura 21).

Diversidad de coníferas en los municipios del estado de Hidalgo.

Los municipios del estado de Hidalgo con mayor diversidad de especies de coníferas que cuentan con ejemplares depositados en la colección del MEXU son: Zimapán con 11 especies, Mineral del Chico con 11 especies, Mineral del Monte con 10 especies, Agua Blanca con siete especies; Cuautepéc de Hinojosa, Huasca de Ocampo y Pachuca de Soto con seis especies y Tenango de Doria con cinco especies. En el resto de los municipios existen de uno a cuatro especies de coníferas (figura 22).

Las coníferas y su importancia para la sociedad

Las coníferas tienen una gran importancia tanto ecológica como económicamente. Desde el punto de vista ecológico son componentes importantes de diversos ecosistemas terrestres, en los cuales forman el hábitat de diversas especies de vida silvestre y brindan numerosos servicios ambientales (Gernandt y González-Ledesma, 2007).

En cuanto a su importancia económica los bosques de coníferas proveen diversos recursos naturales maderables y no maderables. La familia Pinaceae es de particular importancia económica ya que su madera es aprovechada

para construcción y su pulpa es importante en las industrias del papel, rayón y la nitrocelulosa (Farjon, 2008; Le Maitre, 1998). Algunas especies de *Abies*, *Pseudotsuga* y *Pinus* son cultivadas para venderse como árboles de navidad. Las semillas de los pinos piñoneros de América del Norte son comestibles. La madera de varias especies de la familia Cupressaceae es resistente al decaimiento por lo que son utilizadas en la elaboración de ataúdes, baúles, lápices y postes. Los conos ovulados de *Juniperus* se usan como saborizantes de la ginebra (Watson y Eckenwalder, 1993). En la familia Taxaceae, el taxol es un metabolito secundario descubierto en *Taxus* que se emplea en el tratamiento del cáncer. En todas las familias de coníferas existen especies que son muy importantes como ornamentales o son utilizadas para la obtención de resinas y trementinas (Le Maitre, 1998; Thieret, 1993; Watson y Eckenwalder, 1993).



Figura 1. Corteza fibrosa exfoliante en tiras angostas de *C. lusitanica*.



Figura 2. Conos ovulados y conos polínicos de *Callitropsis lusitanica*.

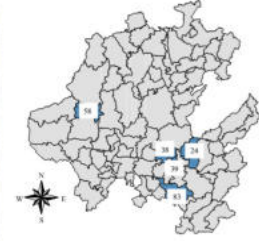


Figura 3. Mapa de distribución de *C. lusitanica* en el estado de Hidalgo.



Figura 4. Vista del ramaje de *Abies hidalgensis*.



Figura 5. Corteza de *A. hidalgensis* fragmentada en placas rectangulares irregulares.



Figura 6. Mapa de distribución de *A. hidalgensis* en el estado de Hidalgo.



Figura 7. Corteza en placas rectangulares de *P. greggii*.



Figura 8. Conos ovulados de *Pinus greggii* con acículas al fondo.



Figura 9. Mapa de distribución de *P. greggii* en el estado de Hidalgo.



Figura 10. Cono ovulado y apariencia de hojas de *Pinus pinceana*.



Figura 11. Sitio de distribución natural de *P. pinceana*.



Figura 12. Mapa de distribución de *P. pinceana* en el estado de Hidalgo.



Figura 13. Cono ovulado con brácteas prominentes y hojas de *P. menziesii*.



Figura 14. Sitio de distribución natural de *Pseudotsuga menziesii*.



Figura 15. Mapa de distribución de *P. menziesii* en el estado de Hidalgo.



Figura 16. Corteza de color café rojiza de un árbol de *Podocarpus matudae*.

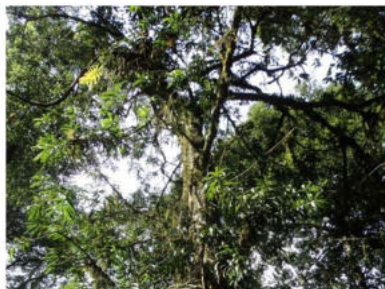


Figura 17. Copa de un árbol de *Podocarpus matudae*.



Figura 18. Mapa de distribución de *P. matudae* en el estado de Hidalgo.



Figura 19. Porte de las ramas de *T. globosa*.



Figura 20. Arilo en desarrollo de *Taxus globosa*.



Figura 21. Mapa de distribución de *T. globosa* en el estado de Hidalgo.

MUNICIPIO	NÚMERO
Acahualtán	001
Agua Blanca de Iturbide	004
Calnali	014
Cardonal	015
Ekosochitlán	020
Huasca de Ocampo	024
Ismaigalpan	030
Merzitalán	037
Mineral del Chico	038
Mineral del Monte	039
Molango de Escamilla	042
Pachuca de Soto	048
Tasquillo	058
Tenango de Doria	060
Tlahuilepa	071
Tlanchinol	073
Zempulá	083
Zimapán	084

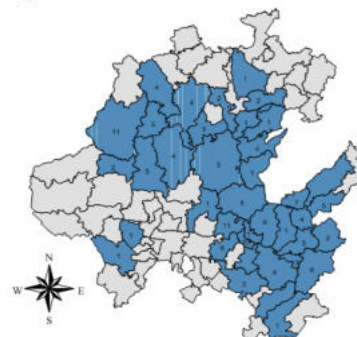


Figura 22. Mapa de la diversidad de especies de coníferas por municipio del estado de Hidalgo.

En México uno de los grupos de coníferas de mayor importancia económica es el género *Pinus*. De este se obtiene 80% del volumen total de la producción nacional maderable. La producción nacional maderable reportada en México en el año 2011 fue de 5.5 millones de m³r (metros cúbicos rollo). Cabe destacar que el principal género aprovechado durante este año fue *Pinus* (pino) con 4.2 millones de m³r (76.3%) (SEMARNAT, 2011).

En el estado de Hidalgo la producción forestal maderable para el año 2011 fue de 124,225 de m³r. Con respecto a la producción nacional para el estado se aprovecharon 80,944 m³r del género *Pinus* (pinos) correspondientes al 1.92%, 3,652 m³r de *Abies* (oyameles) y 2,614 m³r de otras coníferas (figura 23). A nivel nacional para el año 2011, el valor de producción total para el género *Pinus* (pino) fue de 5,396,598,491 pesos, para *Abies* (oyamel) 145,768,649 y para otras coníferas 22,165,184.

Para el estado de Hidalgo se reportaron los siguientes valores de producción: 87,036,489 pesos para el género *Pinus*, lo que corresponde a 1.6% del valor de producción nacional, 3,951,685 para *Abies* correspondiente a 0.07% del valor de producción nacional y 2,425,044 de otras coníferas lo que corresponde a 1.6% del valor de producción nacional.

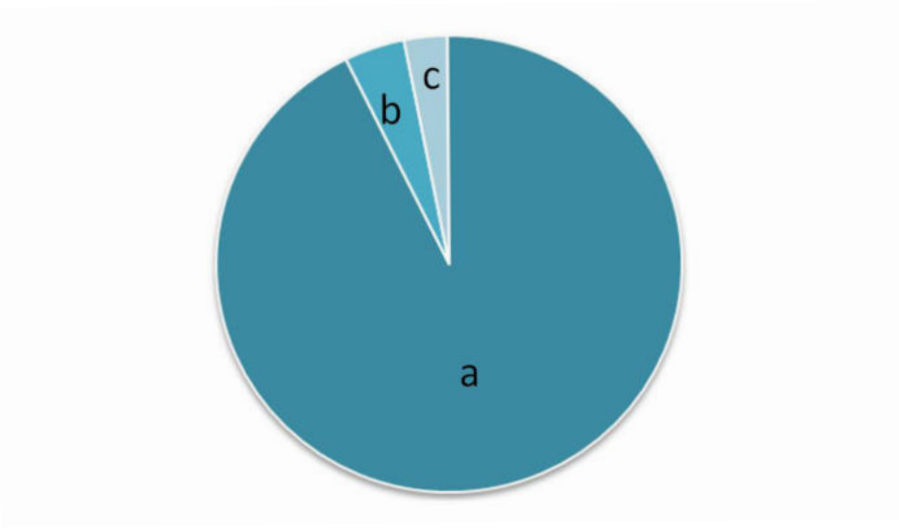


Figura 23. Producción forestal maderable en metros cúbicos en rollo (m³r) en el estado de Hidalgo para el año 2011. **a)** 80,944 m³r de *Pinus* (pino); **b)** 3,652 m³r de *Abies* (oyamel); **c)** 2,614 m³r de otras coníferas.

Es necesario e importante realizar la identificación taxonómica de las especies de coníferas del estado de Hidalgo, para obtener datos estadísticos más precisos y un panorama más claro sobre la producción, valor de producción y usos de las coníferas en el estado.

Coníferas y su conservación

A pesar de la gran diversidad de especies de coníferas con que cuentan países como México, existe una tendencia mundial a utilizar solo un número limitado de especies de coníferas, la mayoría perteneciente a la familia Pinaceae

y algunos pocos géneros tales como: *Abies*, *Larix*, *Picea* y *Pinus*. Algunas especies de *Juniperus* (Cupressaceae) usualmente se utilizan para el estrato inferior. Los intereses económicos en cuestiones forestales, limitan más que en el pasado lo que se puede plantar ya que se favorecen la producción de especies de rápido crecimiento que se desarrollan en suelos pobres con poco o nulo mantenimiento (Farjon, 2008).

La horticultura y la forestería deben promover el uso de mayor diversidad de especies para evitar la sobreexplotación de unas cuantas especies y los monocultivos forestales hortícolas que invaden y desplazan áreas naturales biodiversas (Farjon, 2007).

Por otro lado el avance de las técnicas de silvicultura a nivel mundial y en México, las áreas de uso forestal deben garantizar la restricción del uso y aprovechamiento de madera y recursos forestales maderables y no maderables provenientes de bosques naturales. El aumento en la producción de recursos forestales debe reflejar la efectividad de las técnicas de silvicultura y no la deforestación de áreas naturales en el país.

Existe una preocupación creciente en cuanto a la explotación de bosques de coníferas naturales mediante el aprovechamiento intensivo, el cual daña todo tipo de recursos forestales, muchos de los cuales pueden ser incluso más valiosos que la madera. El aprovechamiento selectivo de árboles particulares permite al ecosistema del bosque permanecer casi intacto siempre y cuando se lleve a cabo un buen plan de aprovechamiento y manejo.

Con un marco conceptual adecuado para el reconocimiento de las especies y la evaluación de su riesgo, los programas de conservación, de acuerdo con, Gernandt y Pérez-de la Rosa (2014) deben incluir enfoques integrales que incluyan el mantenimiento de hábitats para la conservación in situ, la obtención de germoplasma para bancos de semilla y jardines botánicos y actividades de reforestación.

En Hidalgo de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-059 (SEMARNAT, 2010), se encuentran clasificadas en la categoría de protección especial (Pr) las especie *Callitropsis lusitánica* y *Juniperus monticola* (Cupressaceae), *Pinus pinceana* (Pinaceae), *Podocarpus matudae* (Podocarpaceae) y *Taxus globosa* (Taxaceae). Por otra parte en el listado de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (iucn, 2014), se encuentran incluidas seis especies de coníferas en las siguientes categorías: *Cupressus benthamii* (*Callitropsis benthamii*) clasificado en la categoría de Casi amenazado (nt), *Cupressus lusitanica* (*Callitropsis lusitanica*), *Juniperus monticola* y *Pinus pinceana* clasificados en la categoría de Preocupación menor (lc), *Podocarpus matudae* bajo la categoría Vulnerable (vu) y *Taxus globosa* en peligro (en).

En la Norma Oficial Mexicana NOM-059 (SEMARNAT, 2010) existen 39 taxa de coníferas en alguna categoría de riesgo, por otra parte en el listado de la iucn (2012) cinco especies aparecen en la categoría de casi

amenazadas, nueve vulnerables, seis en peligro y uno en peligro crítico.

Entre los taxa que requiere de mayor estudio se encuentra *Abies hidalgensis* y *Pinus oocarpa* var. *manzanoi*. *Abies hidalgensis* se encuentra la lista de la iucn y *Pinus oocarpa* var. *manzanoi* es una especie de la cual existe un ejemplar tipo en el Herbario Nacional MEXU recolectado en Hidalgo hace siete décadas y que nunca más se ha vuelto a reportar.

Hay municipios del estado de Hidalgo sin registro que pudieran representar áreas geográficas no exploradas o inaccesibles. La exploración de áreas geográficamente inaccesibles, puede resultar en el descubrimiento de nuevas especies. El endemismo de coníferas en México es alto: de 94 especies, 43 (46%) son endémicas (Gernandt y Pérez-de la Rosa, 2014).

Las coníferas son un grupo sumamente interesante tanto desde el punto de vista científico como desde el punto de vista económico. Un mejor entendimiento del grupo nos permitirá utilizarlo y conservarlo como un recurso natural forestal, sobre todo en regiones del país en las que presenta alta diversidad de especies como lo es el estado de Hidalgo.

Una mayor y mejor documentación de las recolectas de especies de coníferas permitirá el uso de los sistemas de información geográfica para realizar una mejor aproximación de su distribución geográfica y la aplicación de métodos biogeográficos para detectar puntos de alta diversidad en el estado de Hidalgo.

Bibliografía

- Braukmann, T. W. A., Kuzmina, M., y Stefanović, S. (2009). Loss of all plastid *ndh* genes in Gnetales and conifers: Extent and evolutionary significance for the seed plant phylogeny. *Current Genetics*, 55, 323–337. <http://doi.org/10.1007/s00294-009-0249-7>
- Eckenwalder, J. (2009). *Conifers of the world: the complete reference*. Timber Press.
- Evert, R. F. (2006). *Esau's plant anatomy: Meristems, Cells, and Tissues of the Plant Body: Their Structure, Function, and Development: Third Edition*. <http://doi.org/10.1002/0470047380>
- Farjon, A. (2008). *A natural history of conifers*. Timber Press.
- Farjon, A. (2010). *A handbook of the world's conifers*. Leiden: Brill.
- Farjon, A., y Ortiz Garcia, S. (2003). Cone and ovule development in *Cunninghamia* and *Taiwania* (Cupressaceae sensu lato) and its significance for conifer evolution. *American Journal of Botany*, 90(1), 8–16. <http://doi.org/10.3732/ajb.90.1.8>
- Farjon, A., y Page, C. (1999). *Conifers: Status Survey and Conservation Action Plan*. Washington DC.
- Farjon, A., Pérez de la Rosa, J., y Styles, B. (1997). *Guía de campo de los pinos de México y América Central*. Oxford: The Royal Botanic Gardens, Kew.
- Farjon, A., y Styles, B. T. (1997). *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotropica*, 75(4), 1–291.
- Florin, R. (1954). The female reproductive organs of conifers and taxads. *Biological Reviews*, 29, 367–389.
- Gernandt, D., y González-Ledesma, M. (2007). Colección de coníferas. In J. Castillo-Cerón y J. Márquez-Luna (Eds.), *Colecciones del Centro de Investigaciones Biológicas* (pp. 11–16). Pachuca: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Gernandt, D. S., y Pérez-De La Rosa, J. A. (2014). Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85(SUPPL.), S126–S133. <http://doi.org/10.7550/rmb.32195>
- Gernandt, D., Willyard, A., Syring, J., y Liston, A. (2011). The conifers (Pinophyta). In C. Plomion, J. Bousquet, y C. Kole (Eds.), *Genetics, Genomics and Breeding of Conifers* (p. 439). USA: Science Publishers.
- Hoadley, R. (1990). *Identifying wood: accurate results with simple tools*. Taunton Press.
- IUCN. (2014). *The IUCN Red List of Threatened Species*. Retrieved August 26, 2014, from <http://www.iucnredlist.org>
- Le Maitre, D. C. (1998). Pines in cultivation: a global view. In *Ecology and Biogeography of Pinus* (pp. 407–

- 431). Retrieved from citeulike-article-id:13513535\http://www.cambridge.org/us/academic/subjects/life-sciences/ecology-and-conservation/ecology-and-biogeography-pinus
- Little, D. (2006). Evolution and circumscription of the True Cypresses (Cupressaceae: Cupressus). *Systematic Botany*, 31(3), 461–480. <http://doi.org/10.1600/036364406778388638>
- Morrone, J. J. (2005). “Hacia una síntesis biogeográfica de México”, en *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 76(002), 207–252.
- Neale, D. B., Wegrzyn, J. L., Stevens, K. a, Zimin, A. V, Puiu, D., Crepeau, M. W., Langley, C. H. (2014). Decoding the massive genome of loblolly pine using haploid DNA and novel assembly strategies. *Genome Biology*, 15(3), R59. <http://doi.org/10.1186/gb-2014-15-3-r59>
- Ogden, J., y Stewart, G. (1995). Community dynamics of the New Zealand conifers. In N. Enright y R. Hill (Eds.), *Ecology of the southern conifers* (pp. 81–119). Washington DC: Smithsonian Institution Press.
- Richardson, D. M., y Rundel, P. W. (1998). Ecology and biogeography of Pinus: an introduction. In *Ecology and Biogeography of Pinus*. Retrieved from citeulike-article-id:13504288\http://www.cambridge.org/us/academic/subjects/life-sciences/ecology-and-conservation/ecology-and-biogeography-pinus
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. México: Limusa.
- SEMARNAT. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010.
- SEMARNAT. (2011). Información Estadística de la Producción Forestal Nacional. Mexico. Retrieved from [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/forestalsuelos/Estadstica Forestal Nacional/IEPFN_2011.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/gestionambiental/forestalsuelos/Estadstica_Forestal_Nacional/IEPFN_2011.pdf)
- Thieret, J. (1993). Pinaceae Lindley: pine family. In *Flora of North America Editorial Committee* (pp. 352–398). New York: Oxford University Press.
- Tomlinson, P. B., y Takaso, T. (2002). Seed cone structure in conifers in relation to development and pollination: a biological approach. *Canadian Journal of Botany*, 80(2002), 1250–1273. <http://doi.org/10.1139/b02-112>
- Wakasugi, T., Tsudzuki, J., Ito, S., Nakashima, K., Tsudzuki, T., y Sugiura, M. (1994). Loss of all ndh genes as determined by sequencing the entire chloroplast genome of the black pine *Pinus thunbergii*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(21), 9794–9798. <http://doi.org/10.1073/pnas.91.21.9794>
- Watson, F., y Eckenwalder, J. (1993). Cupressaceae Bartlett Lindley: redwood or cypress family. In *Flora of North America Editorial Committee, editor* (pp. 399–422). New York: Oxford University Press.

Capítulo 5

Relación entre densidad básica, ancho de anillos y porcentaje de madera tardía de *Pinus patula* de Hidalgo, México

José Rodolfo Goche Telles^{5*}¹

Rodrigo Rodríguez Laguna²

Celina Palacios Mendoza¹

José Ángel Prieto Ruiz¹

Juan Capulín Grande²

Ramón Razo Zárate²

Introducción

El *Pinus patula* Schl. et Cham., es una especie endémica de México y se le considera una de las coníferas con mayor potencial productivo debido a sus altas tasas de crecimiento, a su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones climáticas y suelos no forestales y a su manejo silvícola relativamente simple (Velázquez et al., 2004). Esta especie presenta una amplia variedad en diversas características de interés económico, incluida la densidad de la madera (Barnes et al., 1994). Se ha empleado para producir material celulósico, madera en rollo y es una de las primeras especies de pinos mexicanos plantada en Sudáfrica (Perry, 1991). Actualmente se ha venido intensificando su uso en plantaciones en América del Sur y en México (Meza, 2003).

5 * José Rodolfo Goche Telles (rgoche@hotmail.com).

¹ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango. Río Papaloapan, Valle del Sur, Durango, Dgo., 34120.

² Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México.

Marco de referencia

Dentro de las propiedades físicas de la madera, la densidad básica es probablemente la más estudiada por ser la que determina el valor y la utilidad de la misma, y presenta una acentuada correlación con las demás propiedades físicas y mecánicas (Davel et al., 2005), es el indicador más usado para determinar la calidad de la madera (Dickson y Walker, 1997), y presenta una gran variación entre las especies, entre los árboles de la misma especie y dentro de un mismo árbol (Zobel y Talbert, 1994).

La mayor variación de la densidad básica ocurre dentro de un anillo de crecimiento anual, que puede ser ocasionada por las fluctuaciones en la velocidad de crecimiento, así como el porcentaje de madera temprana y madera tardía presente (Deresse, 1998), lo que tiene relación con el ancho de los anillos de crecimiento, característica que está determinada por la densidad del rodal (Daniel et al., 1982) y las condiciones del medio ambiente (Yin et al., 1996). El ancho de anillos es un índice que se toma en cuenta para determinar la velocidad de crecimiento de los árboles. En la mayoría de las coníferas, una disminución del ancho de anillos ocasiona un aumento en la densidad básica, (Coronel, 1994).

La relación entre el ancho de anillos y la densidad básica de la madera de coníferas, presenta una relación inversa, a mayor ancho de anillos de crecimiento menores son los valores de la densidad básica (Wimmer y Downes, 2003; Debell et al., 2004; Renninger et al., 2006), al analizar el nivel de correlación entre ambas variables, la literatura reporta una relación significativa entre ellas (Pérez et al., 2000; Jovanovski et al., 2002; Koga y Zhang, 2002). Otro factor que influye en el comportamiento de la densidad básica es su relación con el porcentaje de madera tardía, ya que de acuerdo con Pérez et al., (2000); y Jovanovski et al., (2005), muestran que un aumento en el porcentaje de madera tardía, ocasiona un incremento en la densidad básica, al respecto Kort et al., (1991), lo relacionan con el ancho de anillos de crecimiento, atribuyéndolo a la edad del arbolado, ya que a medida que el árbol crece disminuye el ancho de anillos, incrementando el porcentaje de madera tardía dando como resultado un aumento en la densidad básica, mientras que León, (2010), menciona que aquellas maderas que poseen traqueidas de paredes gruesas y reducido diámetro radial tendrán una alta densidad básica, mientras que la situación inversa generará una baja densidad básica.

Objetivo

Determinar la relación entre la densidad básica, ancho de anillos y porcentaje de madera tardía, en árboles de *Pinus patula* proveniente de dos calidades de sitio en el estado de Hidalgo.

Metodología

El material utilizado en la presente investigación se colectó en dos rodales naturales de *Pinus patula* localizados en dos calidades de sitio, el primero presenta una calidad de sitio alta ($IS_{50} = 28$ m) pertenece a una clase de sitio I, y se localiza en el ejido “El Reparo”, municipio de Zacualtipán ($20^{\circ} 37' 33''$ LN, $98^{\circ} 58' 38''$ LO). El segundo presenta calidad de sitio baja ($IS_{50} = 20$ m), pertenece a una clase de sitio IV, y se ubica en el paraje “El Aguaje”, municipio de Metzquitlán ($20^{\circ} 33' 58''$ N, $98^{\circ} 33' 26''$ O), ambos en el estado de Hidalgo, México (Brosovich, 1998).

En cada uno de los sitios se seleccionaron 20 árboles en forma aleatoria, representativos de la masa forestal, de cada uno de ellos se obtuvo un cilindro de madera mediante un taladro de Pressler de 12 mm de diámetro, a una altura de 1.30 m. Los cilindros de madera colectados fueron colocados en recipientes con agua para mantenerlos saturados y se trasladaron al laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera del Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

La densidad básica se determinó mediante el método de máximo contenido de humedad (Smith, 1954), recomendado para muestras pequeñas, en cada uno de los anillos de crecimiento. El peso inicial (saturado), se obtuvo en una balanza analítica con precisión de milésimas de gramo. Posteriormente, se determinó el peso anhidro, para lo cual, los anillos de crecimiento se colocaron en una estufa de secado Grieve modelo LW -201C a una temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$, durante 48 h. Con los datos anteriores y la densidad real de la madera se calculó la densidad básica con la fórmula que se presenta a continuación:

$$Db = \frac{1}{\frac{Pi - Po}{Po} + \frac{1}{1.53}}$$

Donde:

Db = Densidad básica

Pi = Peso inicial

Po = Peso anhidro

1.53 = Densidad real de la madera

En cada anillo de crecimiento se tomaron tres lecturas, con la ayuda de un microscopio cuyo objetivo cuenta con una regleta, y un tornillo micrométrico, se tomó la primera lectura al inicio del anillo, la segunda al terminar la madera temprana y la tercera al final de la madera tardía. El porcentaje de madera tardía se obtuvo mediante la aplicación de la siguiente fórmula (García, 2006).

$$\%Mt = \frac{Mt * 100}{ATa}$$

Donde:

%Mt = Porcentaje de madera tardía

Mt = Ancho de la madera tardía

ATa = Ancho total del anillo

En el análisis de la información, se consideraron las variables: densidad básica, ancho de anillos y porcentaje de madera tardía. Se obtuvieron estadísticos generales para cada una de las variables considerando las dos calidades de sitio. Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de efectos fijos, utilizando el procedimiento MIXED de SAS (SAS Institute Inc., 1999), que es el más adecuado para un conjunto de datos desbalanceados (Litell et al., 1996). Adicionalmente, se determinó la correlación entre las variables, utilizando el procedimiento Proc Corr, de SAS (SAS Institute Inc., 1999), obteniendo los coeficientes de correlación de Pearson.

Resultados y discusión

En el cuadro 1, se presentan los valores promedio, máximo y mínimo de la densidad básica, ancho de anillos

y porcentaje de madera tardía, para las dos calidades de sitio estudiadas, observando valores promedio de la densidad básica de 0.4468 y 0.4544 gcm⁻³ y ancho de anillos de 3.96 y 3.27 mm, para la calidad de sitio alta y baja, respectivamente.

Cuadro 1. Valores generales de la densidad básica, ancho de anillos y porcentajes de madera tardía de la madera de *Pinus patula* procedente de dos calidades de sitio.

Variables	Calidad de sitio alta			Calidad de sitio baja		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
Densidad básica (gcm ⁻³)	0.2242	0.4468	0.6584	0.2511	0.4544	0.6856
Ancho de anillos (mm)	0.41	3.96	31.37	0.3	3.27	15.03
% de madera tardía	4	31	79	9	28	50

En el cuadro 2, se presenta la media de las tres variables estudiadas, para las dos calidades de sitio analizadas, encontrando que no existe diferencia significativa en la densidad básica y ancho de anillos, mientras que en el porcentaje de madera tardía, si presenta diferencias estadísticas significativas entre las dos calidades de sitio.

Los resultados de la densidad básica, coinciden con lo reportado por Karlman et al (2005), en *Pinus Sylvestris*, encontrando valores de 0.506 g*cm⁻³ (Calidad alta) y 0.502 (Calidad baja), y con los encontrado por, Nasser et al. (1993) y DeBell et al. (2004) para *Pinus patula* y *Tsuga heterophylla*, respectivamente, situación atribuible a factores como la edad del arbolado, (Valencia, 1994), causas genéticas (Zobel y Van buijtenen, 1989), al hecho de que los árboles estudiados en las dos calidades de sitio, son de edades superiores a los 50 años, representando un alto porcentaje de madera madura, y que provienen de rodales naturales. La procedencia del arbolado utilizado, puede ser factor importante en el comportamiento, de la densidad básica, como lo muestran los resultados encontrados en arbolado procedente de plantaciones forestales, donde sí se presentan diferencias significativas entre calidades de sitio como lo muestran las investigaciones realizadas por Alteyrac et al., (2005); Gutiérrez et

al., (2006); Raiskila et al., (2006); y Přemyslovská et al (2007) en *Picea mariana*, *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus nigra* y *Picea abies*, respectivamente. Mientras que Davel et al., (2005), reportan que existe una relación inversa entre la calidad del sitio y la densidad de la madera.

Cuadro 2. Media de la densidad básica, ancho de anillos y porcentaje de madera tardía, encontrados en *Pinus patula* en las dos calidades de sitio.

Variables	Calidad de sitio alta	Calidad de sitio baja
	Promedio	Promedio
Densidad básica (gcm ⁻³)	0.4468 a	0.4544 a
Ancho de anillos (mm)	3.96 a	3.27 a
% de madera tardía	31 a	28 b

Media con la misma literal en la misma fila son estadísticamente iguales con p = 0.05 según la prueba de medias de Tukey.

Con respecto al ancho de anillos, en el cuadro 2, se muestra que no existen diferencias estadísticas significativas, entre las dos calidades de sitio estudiadas, lo que difiere de lo reportado por Karlman et al. (2005) en *Pinus Sylvestris*, encontrando valores de 1.11 mm (Calidad alta) y 1.58 mm (Calidad baja), sin embargo, coincide con lo reportado por Jovanovski et al. (2002), en *Pinus ponderosa*; este comportamiento, puede ser atribuido a las condiciones de crecimiento del suelo y edad del arbolado. Respecto al porcentaje de madera tardía, los resultados muestran que si se presentan diferencias estadísticas significativas (Cuadro 2), lo que coincide con lo encontrado por Raiskila et al., (2006) en *Picea abies*, y difiere con lo reportado por, Karlman et al. (2005), en *Pinus Sylvestris*, encontrando valores de 39% en las dos calidades de sitio.

En el Cuadro 3, se presentan los resultados respecto a la correlación de Pearson, entre la densidad básica, ancho de anillos y porcentaje de madera tardía. Se encontró que la única correlación que no fue significativa (r

= -0.0757) es la densidad básica con ancho de anillos de crecimiento en la calidad de sitio baja; mientras que en las demás relaciones presentadas entre las variables de estudio, si fueron significativas.

Cuadro 3. Coeficientes de correlación de Pearson, entre la densidad básica, ancho de anillos y porcentajes de madera tardía de *Pinus patula* procedente de dos calidades de sitio

Variables	Densidad básica	
	Calidad de sitio alta	Calidad de sitio baja
Ancho de anillos	- 0.4452 *	- 0.0757 ^{NS}
% de madera tardía	0.7340 *	0.2372 *

NS = No significativo, * = Significativo con $P \leq 0.05$

Relación densidad básica - ancho de anillos

Los resultados de la correlación existente entre la densidad básica y el ancho de anillos presentados en el cuadro 3, para la calidad de sitio alta, muestran una correlación significativa ($r = -0.4452$), en sentido negativo, lo que significa, que a medida que el ancho de anillos disminuye, la densidad básica aumenta. Lo anterior coincide con lo reportado por otros autores, con valores de $r = -0.52$ para *Picea sitchensis* y $r = -0.44$ para *Picea abies* (Petty et al., 1990), $r = -0.53$ para *Picea abies* (Dutilleul et al., 1998), y $r = -0.39$ para *Tsuga heterophylla* (DeBell et al., 1994), atribuyendo esta situación al desarrollo de la copa, a las condiciones del medio ambiente y a la presencia de madera tardía.

No obstante, autores como Wimmer y Downes (2003), DeBell et al., (2004), Jovanovski et al., (2005) y Renninger et al., (2006), reportan valores de r superiores a 0.90, considerados como correlación alta entre densidad básica y ancho de anillos, atribuyéndolo al alto porcentaje de madera tardía en anillos angostos y a la presencia de madera madura en los últimos anillos de crecimiento.

En la calidad de sitio baja no existe correlación entre la densidad básica y el ancho de anillos de acuerdo con lo presentado en el cuadro 3, ($r = -0.0757$), lo cual coincide con lo reportado por Jovanovski et al. (2002) y Koga y Zhang (2002), quienes lo atribuyen a las variaciones en la densidad básica de la madera temprana y tardía, y a las distintas proporciones de madera temprana en el anillo de crecimiento.

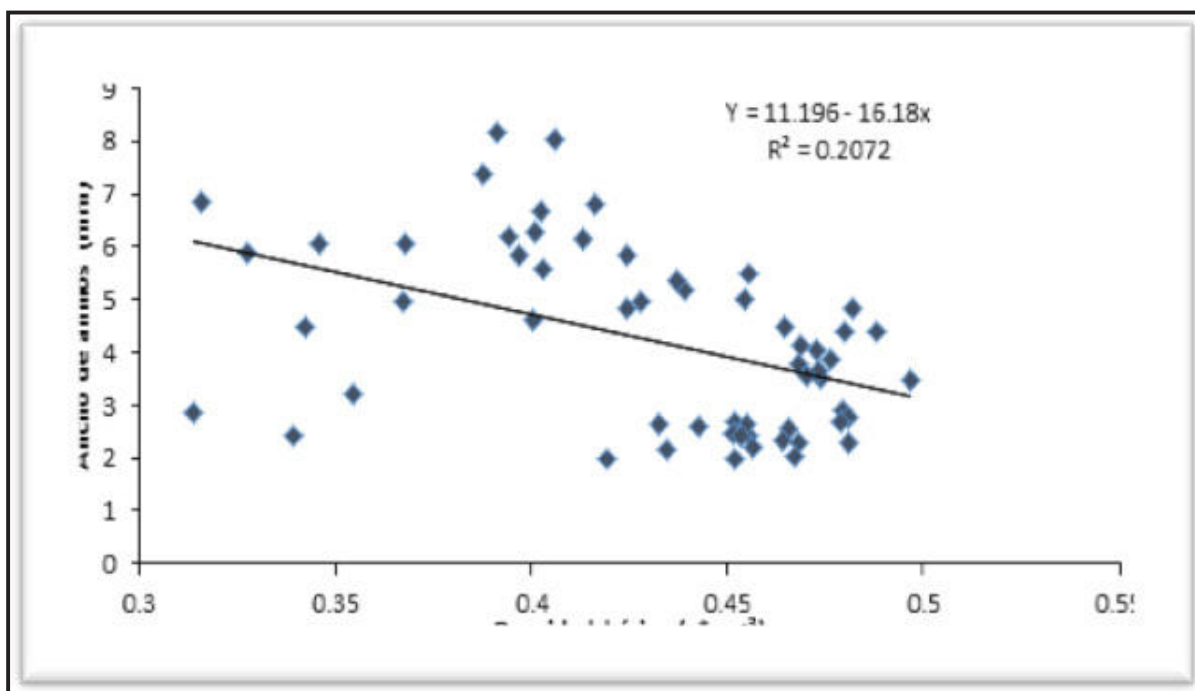
En la figura 1, se presenta la bondad de ajuste de los datos a un modelo lineal, y los valores de determinación encontrados (r^2) entre las dos variables estudiadas, densidad básica y ancho de anillos para las dos calidades de sitio. Calidad de sitio alta ($r^2 = 0.2072$) y calidad de sitio baja ($r^2 = 0.0057$), observándose que los valores no se ajustan a un modelo lineal, coincidiendo con lo reportado por Jovanovsky et al., (2002), quienes presentan un valor de $r^2 = 0.284$, en *Pinus ponderosa*; y Jovanovsky et al., (2005), que muestran un valor de $r^2 = 0.141$ en *Pseudotsuga menziesii*.

Relación densidad básica - % de madera tardía

En los resultados presentados en el cuadro 3, se observan correlaciones significativas entre la densidad básica y el porcentaje de madera tardía en las dos calidades de sitio estudiadas, lo que sustenta la teoría de que la densidad básica de la madera depende en gran medida del porcentaje de madera tardía presente en un anillo de crecimiento y que, a medida que aumenta el porcentaje de madera tardía, también lo hace la densidad básica (Haygreen y Bowyer, 1996; Kumar, 2002; Decoux et. al., 2004), quienes lo atribuyen a que la madera tardía está compuesta por células con diámetro radial pequeño, pared gruesa y lumen pequeño, lo que ocasiona que se presente una densidad más alta, por otro lado, Zobel y Talbert (1994), explican este comportamiento, con la estrecha relación genética que presenta la densidad básica con el porcentaje de madera tardía.

En la figura 2A (calidad de sitio alta), se presenta un valor de $r^2 = 0.5387$, entre la densidad básica y el porcentaje de madera tardía, indicando que a medida que la densidad básica incrementa, también lo hace el porcentaje de madera tardía, resultados que coinciden con Lindström (1997), quien reporta una $r^2 = 0.80$ en *Picea abies*. En la figura 2B (Calidad de sitio baja), se presenta un valor de $r^2 = 0.0562$, lo cual no es significativo, e indica que no existe relación alguna entre la densidad básica y el porcentaje de madera tardía, lo que puede indicar, que las condiciones del sitio influyen en el comportamiento de estas variables. Un factor que puede ser importante para explicar dicho comportamiento, es la poca variabilidad encontrada en el ancho de anillos, reflejada en la diferencia entre el valor máximo y el mínimo reportado en el cuadro 1, para la calidad de sitio baja.

A)



B)

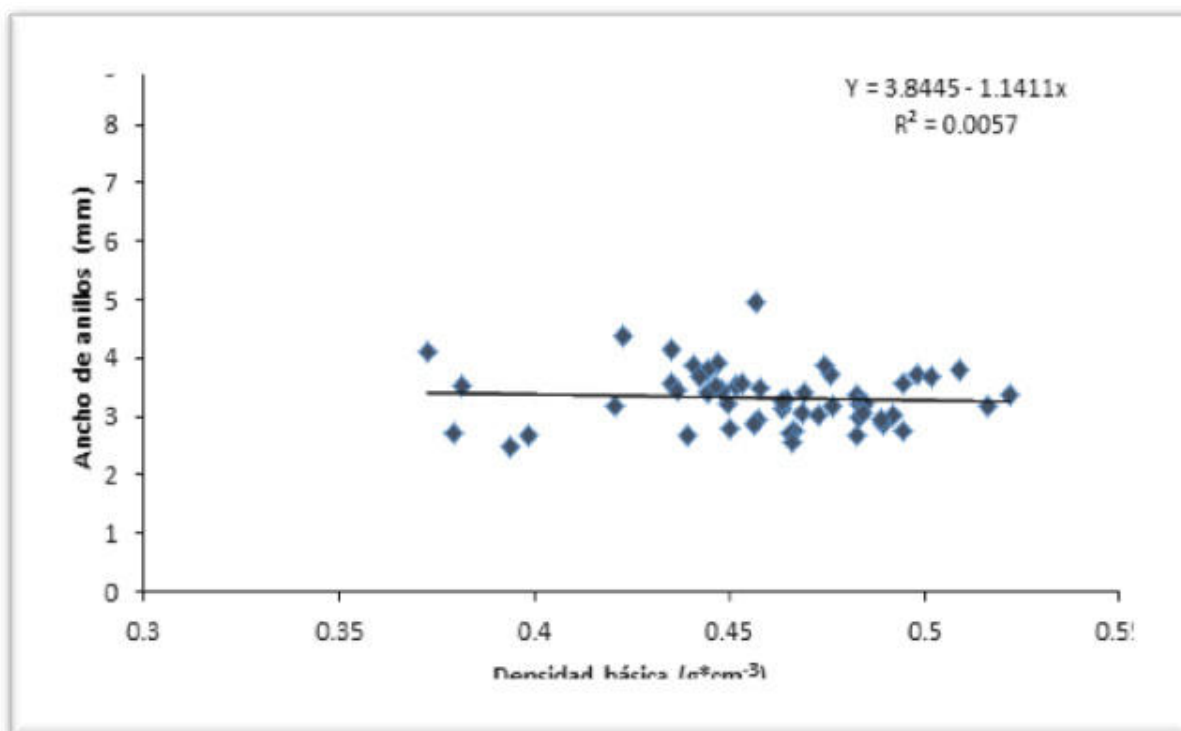
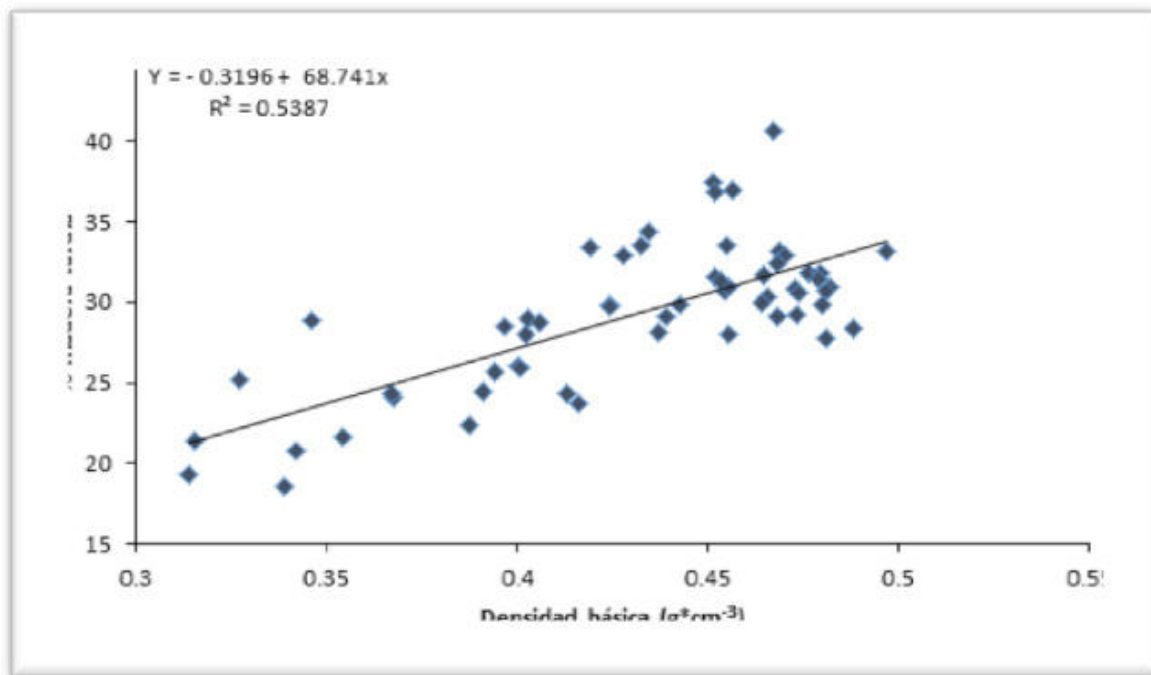


Figura 1. Grado de asociación entre densidad básica y ancho de anillos, de la madera de Pinus patula. A) calidad de sitio alta y B) calidad de sitio baja.

A)



B)

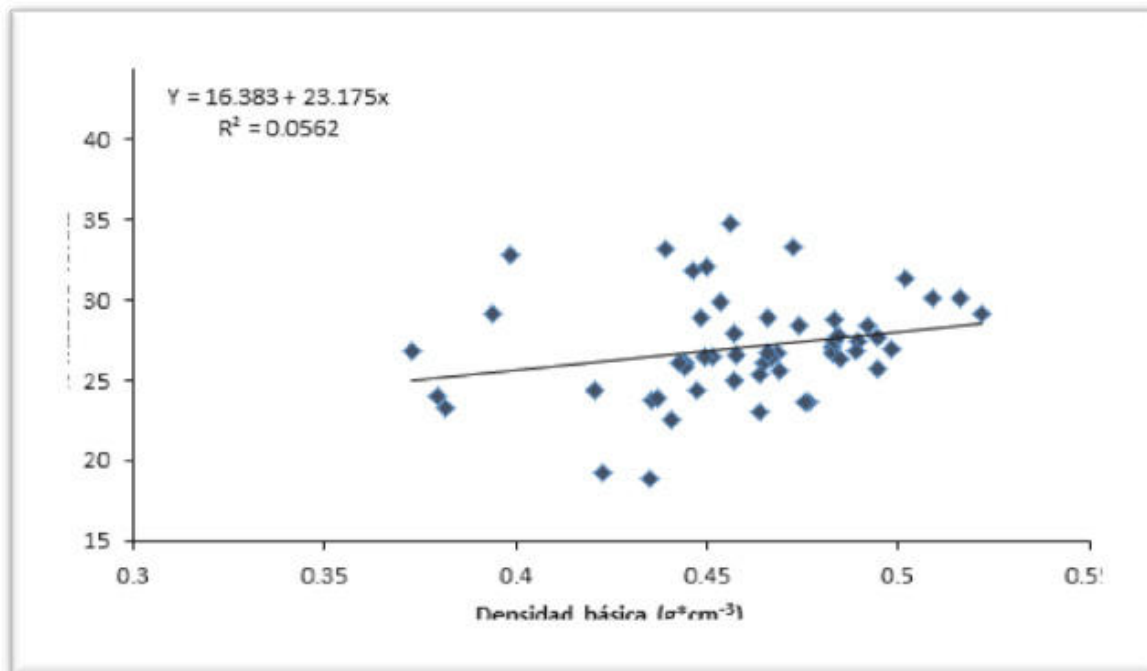


Figura 2. Grado de asociación entre la densidad básica y el porcentaje de madera tardía de Pinus patula. A) calidad de sitio alta y B) calidad de sitio baja.

Conclusiones

Las relaciones encontradas entre las variables estudiadas, para las dos calidades de sitio, mostraron mayor correlación en la calidad de sitio alta comparada con la calidad de sitio baja.

La densidad básica y porcentaje de madera tardía presentaron una correlación positiva, indicando que a mayor porcentaje de madera tardía, mayor densidad básica, atribuido al mayor grosor de pared celular presentado en las traqueidas de madera tardía.

La densidad básica y ancho de anillos presentaron una correlación negativa, indicando que a medida que disminuye el ancho de anillos, incrementa la densidad básica, lo que puede ser atribuido a la edad del arbolado y al incremento en el porcentaje de madera tardía.

Bibliografía

- Alteyrac J, SY Zhang, A Cloutier, JC Ruel (2005). Influence of stand density on ring width and wood density at different sampling heights in Black Spruce (*Picea mariana* (Mill.)B. S. P.). *Wood and Fiber Science* 37(1): 83-94.
- Barnes RD, Birks JS, Battle G, Mulin LJ (1994). The genetic control of ring width, wood density and tracheid length in the juvenile core of *Pinus patula*. *S. African For. Journal* 169: 15-20.
- Brosovich GMM (1998). Determinación del rendimiento para *Pinus patula* Schl. et Cham., en la región de Zacualtipán, Hidalgo, México. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 95 p.
- Coronel EO (1994). Fundamentos de las Propiedades físicas y mecánicas de las maderas. ITM, serie de publicaciones 9404. Santiago del Estero, Argentina. 1: 1-187
- Daniel PW, VE Helms, FS Baker (1982). Principios de silvicultura (traducción, Ramón Elizondo Mata). 2ª edición. Mc Graw-Hill. México. 492 p
- Davel MM, A Jovanovski, Mohr BD (2005). Densidad básica de la madera de pino orejón y su relación con las condiciones de crecimiento en la Patagonia Andina Argentina. *Bosque* 26(3): 55-62.
- DeBell DS, Singleton R, Gartner BL, Marshal DD (2004). Wood density of young-growth western hemlock: relation to ring age, radial growth, stand density, and site quality. *Canadian Journal Forestry Research* 34(12): 2433-2442.
- DeBell JD, Tappeiner CJ, Krahmer LR (1994). Wood density of western hemlock: effect of ring width. *Canadian Journal Forestry Research* 24: 638-641.
- Decoux V, É Varcin, JM Leban (2004). Relationships between the intra-ring wood density assessed by X-ray densitometry and optical anatomical measurements in conifers. Consequences for the cell wall apparent density determination. *Annals of Forestry Science* 61:251–262.
- Deresse T (1998). The influence of age and growth rate on selected properties of Maine – grown red pine. University of Maine, Orono, ME. Ph. D. Thesis. 177 p.
- Dickson R L, Walker JCF (1997). Selecting Wood Quality Characteristics for Pines. In *Timber Management Toward wood Quality and End – Product Value*. SY Zhang, R Gosselin, G Chauret (eds). Proceedings of the CTIA/IUFRO International Wood Quality Workshop, Quebec City. Part IV, pp. 45–52.

- García VA (2006). Contribución al conocimiento de las propiedades físicas de la madera de *Pinus greggii* Engelm., proveniente de plantaciones en Hidalgo. Tesis Profesional. Área Académica de Ingeniería Forestal. Instituto de Ciencias Agropecuarias. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México. 82 p.
- Gutiérrez OA, Baonza MV, Fernández GJIS, Conde GM, Hermoso PE (2006). Effect of growth conditions on wood density of Spanish *Pinus nigra*. *Wood Science Technology* 40: 190–204.
- Haygreen JG, Bowyer JL (1996). *Forest Products and Wood Science (An introduction)*. 3rd ed. - Ames: Iowa State University Press. 490 p.
- Jovanovski A, M Davel, D Mohr-Bell (2005). Densidad básica de la madera de *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.). Franco en la Patagonia. *Investigación Agraria. Sistemas Recursos Forestales* 14(2): 153-160.
- Jovanovski A, Jaramillo M, Loguercio G, Antequera S (2002). “Densidad de la madera de *Pinus ponderosa* (Dougl. ex Laws) en tres localidades de Argentina”. *Bosque* 23(2): 99-104.
- Karlman L, Morling T, Martinsson O (2005). Wood Density, Annual Ring Width and Latewood Content in Larch and Scots Pine. *Eurasian J. Forestry Research* 8(2): 91-96
- Koga S, Zhang SY (2002). Relationship between wood density and annual growth rate components in Balsam fir (*Abies balsamea*). *Wood and Fiber Science* 34 (1): 146 – 157.
- Kort I, V Loeffen, P Baas (1991). Ring Width, Density and Wood Anatomy of Douglas Fir With Different Crown Vitality. *IAWA. Bulletin n.s.* 12(4): 453-465.
- Kumar S (2002). Earlywood-latewood demarcation criteria and their effect on genetic parameters of growth ring density components and efficiency of selection for end of rotation density of radiate pine. *Silvae Genetica* 51(5-6): 241-246.
- León HWJ (2010). Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Revista Forestal Venezolana* 54(1): 67-76.
- Lindström H (1997). Fiber length, tracheid diameter, and latewood percentage in Norway spruce: development from pith outwards. *Wood and Fiber Science* 29(1): 21-34
- Littell RC, Milliken GA, Stroup WW, Wolfinger RD (1996). *SAS System for Mixed Models*. SAS Inst. Inc., Cary, NC. 633 p.
- Meza JDJ (2003). Estimación de la edad de transición de madera juvenil a madera madura en *Pinus patula* Schl. et Cham. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 39 p.
- Nasser SM, SAO Chamshama, S Iddi (1993). Survival, growth, yield and wood density of three *Pinus patula*

- provenances at Lushoto, Tanzania. *Journal of Tropical Forest Science* 5(3): 353-360
- Pérez del CA, R DE Castro, S Ohta (2000). Índices de Calidad de Madera en *Pinus taeda* de Rivera para la optimización en el uso final. Informe de Investigación No 2. Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales LATU-JICA (1998-2003). Montevideo, Uruguay. 26 p.
- Perry JP (1991). *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press. Portland, OR. U.S.A. 231 p.
- Přemyslovská E, J Šlezingerová, M Rybníček, V Gryc, H Vavrčík, L Praus (2007). Basic density of wood in different forest type. "Bioclimatology and Natural Hazards". International Scientific Conference, 17-20 September, Poľana nad Detvou, Slovakia
- Raiskila S, P Saranpää, K Fagerstedt, T Laakso, M Löijä, R Mahlberg, L Paajanen, AC Ritschkoff (2006). Growth rate and wood properties of Norway spruce cutting clones on different sites. *Silva Fennica* 40(2): 247-256.
- Renninger HJ, BL Gartner, FC Meinzer (2006). Effects of release from suppression on wood functional characteristics in young Douglas-Fir and western hemlock. *Canadian Journal Forest Research* 36: 2038-2046
- SAS Institute Inc. 1999. SAS Online Doc, Version 8. CD-ROM. SAS Institute, Inc., Cary, N. C.
- Smith DM (1954). Maximum moisture content method for determining specific gravity of small samples. Forest Products Laboratory, USA. 8 p.
- Valencia MS (1994). Variación Genética de la Densidad de la Madera en *Pinus patula* Schl et Cham y su Relación con la Velocidad de Crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa Forestal. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 97 p
- Velázquez MA, Ángeles PG, LLanderal OT, Román JAR, Reyes HV (2004). Monografía de *Pinus patula*. Comisión Nacional Forestal-Colegio de Postgraduados. México, D. F. 124 p.
- Wimmer R, GM Downes (2003). Temporal variation of the ring width-wood density relationship in Norway spruce grown under two levels of anthropogenic disturbance. *IAWA J.* 24 (1): 53-61.
- Yin ZS, D Simpson, EK Morgenstern (1996). Variation in the Relationship of Wood Density With Growth in 40 Black Spruce (*Picea mariana*). Families Grown in New Brunswick. *Wood and Fiber Science* 28(1): 91-99
- Zobel BJ, Van Buijtenen JP (1989). *Wood variation. Its causes and control*. Springer Verlag, 363 p.
- Zobel B, Talbert J (1994). Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. LIMUSA. México, D. F. 424 p.

Capítulo 6

Metodología para estimar carbono almacenado en bosques de pino en Hidalgo

Rodrigo Rodríguez Laguna^{6*}

Ramón Razo Zárate¹

Juana Fonseca González¹

Javier Jiménez Pérez²

Joel Meza Rangel¹

Rodolfo Goche Telles³

Juan Capulín Grande¹

Introducción

En México los recursos naturales y el medio ambiente están sometidos a tendencias de deterioro que se expresan en elevadas tasas de pérdida de diversidad biológica, deforestación, erosión de suelo, desertificación, contaminación de las principales cuencas hidrológicas y contaminación atmosférica en las zonas metropolitanas (Velázquez et al., 2001). Sin embargo, para revertir ese deterioro se debe reconocer la importancia de los ecosistemas terrestres y, en particular, el papel que tiene la vegetación para captar bióxido de carbono (CO₂) atmosférico por medio de la fotosíntesis, para incorporarlo a las estructuras vegetales y, de esta forma, reducir la concentración de CO₂ en la atmósfera, mitigando en el largo plazo, el cambio climático (Ordóñez, 2008).

Para mitigar el cambio climático se considera cualquier acción que tenga como resultado una reducción del incremento neto en las emisiones de carbono en un área determinada y/o por la sustitución de combustibles fósiles. En el sector forestal se identifican dos opciones básicas para mitigar el cambio climático: a) conservación,

6 * Rodrigo Rodríguez Laguna (rodris71@yahoo.com).

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México.

² Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León.

³ Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Juárez del Estado de Durango.

que consiste en evitar las emisiones de carbono a través de la preservación de áreas naturales protegidas, el fomento hacia manejo sostenible de los bosques naturales y el uso renovable de leña, así como la reducción de incendios; y b) reforestación, dedicada a recuperar áreas degradadas mediante acciones como la protección de cuencas, la reforestación urbana, la restauración para fines de subsistencia (leña), el desarrollo de plantaciones comerciales para madera, pulpa para papel, hule, entre otros, que tienen como objetivo incrementar la fijación y almacenamiento de carbono (Masera, 1995). Dicho lo anterior se debe considerar a la silvicultura para manipular las masas forestales con el propósito de obtener una serie de productos tales como madera, tablas, pilotes, morillos, leña, resina, celulosa, mejores semillas, entre otros, los cuales se utilizan directamente o se transforman y permiten un beneficio mediano (los productos que se obtienen son a largo plazo, ya que el aprovechamiento de los árboles va desde los cinco a los sesenta o más años, por ello es necesario tomar en cuenta el ciclo de vida de la especie o especies que se pretenda manejar).

La capacidad de los ecosistemas forestales para capturar y almacenar carbono en forma de biomasa aérea varía en función de la composición florística, la edad y la densidad de la población de cada estrato por comunidad vegetal (Cadena y Ángeles, 2005). En el ecosistema forestal se reconocen cinco diferentes depósitos donde se acumula carbono (biomasa sobre el suelo, biomasa bajo el suelo, hojarasca, necromasa y suelo) que en su conjunto muestran la capacidad de captura y almacenamiento de carbono (IPCC, 1996). La determinación adecuada de la biomasa de un bosque, es un elemento de gran importancia debido a que permite conocer los montos de carbono por unidad de superficie y tipo de bosques, además de otros elementos químicos existentes en cada uno de los componentes (Snowdon et al., 2001). La determinación de esta capacidad constituye un reto cuando se trata de evaluar el potencial de los sistemas forestales naturales, alterados o inducidos por el hombre. La medición de la cantidad de biomasa aérea en cualquier componente de una masa forestal con o sin manejo forestal requiere un análisis destructivo (Brown et al., 1989) o estimaciones indirectas de material vegetal para hacer las inferencias respectivas; este último caso es más práctico cuando se desea estimar la biomasa aérea de las especies arbóreas. Sin embargo, se debe contar con funciones de regresión que definan la biomasa total con base en el tamaño y dimensiones de las especies; es decir, funciones matemáticas basadas en las relaciones alométricas que ocurren entre los individuos (Huxley, 1932 citado por Acosta et al., 2002) o alternativamente con métodos de percepción remota mediante modelos previamente calibrados (Escandón et al., 1999).

Las relaciones alométricas se han utilizado en especies forestales de clima templado-frío para estimar la biomasa aérea total y el área foliar a partir del diámetro normal o del área de la albura (Chapman y Gower, 1991;

Castellanos et al., 1996; Acosta et al., 2002; Rodríguez et al., 2006; Pimienta et al., 2007; Avendaño et al., 2009; Razo et al., 2013). Otros autores han utilizado las relaciones alométricas entre las dimensiones del fuste y la cantidad de biomasa para estimar biomasa por componente del árbol (Bartelink, 1996) y su distribución dentro del árbol (Landsberg y Gower, 1997).

Aunado a la fijación y almacenamiento de carbono como servicio ambiental que ofrecen las masas forestales también brindan otros beneficios como protección al suelo, regulación microclimática, cortina rompe-vientos, disminución de la movilidad en sustratos arenosos, hacen la función de pulmón en áreas urbanas, permiten la conservación de la biodiversidad, la captación y almacenamiento de agua y liberación de oxígeno. Por ello es de especial importancia conocer el carbono almacenado por los bosques naturales o plantaciones mediante la implementación de bases metodológicas que proporcionen estimaciones precisas en bosques de clima templado-frío en el estado de Hidalgo.

Marco de referencia

El concepto de captura de carbono normalmente integra la idea de conservar los inventarios de este elemento que se encuentran en suelos, bosques y otro tipo de vegetación y donde es inminente su desaparición así como el aumento de los sumideros de carbono (aditividad) a través del establecimiento de plantaciones, sistemas agroforestales y la rehabilitación de bosques degradados (Tipper, 2000), solo por mencionar algunos ejemplos en los que la vegetación es usada como sumidero.

Se estima que México emite alrededor de 3.70 toneladas de CO₂ por habitante, cifra que se encuentra 4.02 toneladas por debajo del promedio mundial (Carabias y Tudela, 2000). Alrededor de dos tercios de este volumen corresponden a los diversos procesos de combustión en los sectores energético, industrial, de transporte y de servicios. El resto, cerca de un tercio, se origina en los procesos de deforestación, cambio de uso de suelo y quema de leña. Masera et al., (1997), estiman que alrededor de 20 millones de personas usan la leña en este país como principal energético, de aquí que todavía la quema de leña para uso doméstico siga siendo un elemento importante en la producción de CO₂. Masera (1995) considera que el sector forestal aporta casi 40% de las emisiones totales de CO₂ y que el sector de generación de energía tiene la contribución más importante. De aquí que mientras en México no se desarrollen fuentes alternas de energía (energía eléctrica) no se mejorará el balance de carbono.

En un análisis preliminar para México, Bellón et al., (1993) asumieron que al mantener áreas naturales

protegidas, al realizar un manejo de los bosques de manera sustentable en las áreas comerciales, al reforestar las áreas forestales degradadas se podría llegar a niveles de captura de carbono en dichas zonas del orden de 3,500 a 5,400 millones de toneladas en un periodo de 100 años, lo que equivale a una captura anual, bajo este escenario hipotético, de 35-54 millones de toneladas de carbono por año. La estimación de Bellón et al., (1993) se basa en los supuestos y estimaciones que se muestran en el cuadro 1.

Además de estas estimaciones (realizadas con el programa CO₂FIX, Nabuurs y Mohren, 1993), otros autores han identificado el potencial de captura de carbono para México, considerando tanto el potencial de absorción como el depósito (inventario) de carbono que el país posee.

Torres y Guevara (2002) realizaron una estimación de la captura de carbono con una metodología que describen someramente para los bosques de México por entidad federativa. Con el fin de tener una estimación sobre el potencial de captura de carbono para ese año se realizó el siguiente ejercicio de estimación.

- i) Se colectó información sobre peso de materia seca de diferentes especies.
- ii) A través de ecuaciones se estimó el volumen total árbol de las especies para las cuales fue posible obtener el peso de materia seca y se clasificó a cada una de estas especies dentro de un tipo forestal.
- iii) Con esta información se desarrolló una relación entre volumen de las especies de diferentes tipos forestales con el peso seco, a fin de predecir esta última variable a partir del volumen total árbol. El cuadro 2 muestra los resultados de estos análisis.
- iv) Se tomaron los datos de rendimiento (en volumen) del inventario nacional forestal y se aplicaron las ecuaciones desarrolladas en el punto anterior.
- v) Finalmente, la estimación anual de captura de carbono se obtuvo multiplicando la estimación de peso seco por 0.4269 (Jo y McPherson, 1995).

Es importante recalcar que esta estimación no incorpora el carbono capturado en raíces ni en suelo, mismo que algunos autores consideran muy elevado.

Cuadro 1. Potencial de absorción de carbono en el sector forestal en un periodo de 100 años

Opción	Sup. potencial (millones de ha)	Absorción de car- bono (t C/ha)	Absorción total acumulada (millones de t C)
Conservación	---	---	---
Áreas Naturales Protegidas	6	40-130	500-600
Manejo forestal comercial	18.7	40-130	1,500-2,300

Protección forestal	0.06/año (neto)	2.4-8.4 millones de t C / año	N A
Estufas eficientes de leña	N A	1-3 millones de t C / año	50-300
Reforestación	---	---	---
Reforestación áreas degradadas	16.6	50-150	1,300-1,800
Plantaciones comerciales	1.6-3.0	50-120	200-400
Total	42.7-44.3	---	3,500-5,400

Fuente: Bellón et al., (1993)

Cuadro 2. Resultados de las ecuaciones para cada tipo de vegetación						
Tipo de bosque	b ₁		b ₀		R ²	F
	Estimador	T	Estimador	T		
Coníferas	723,579	39.91	-175.492	3.65	0.994	1,592.66
Latifoliadas	506,539	24.12	0.17	0.3	0.969	572.46
Coníferas y latifoliadas	859,027	15.07	-7.054	1.35	0.973	219.38
Selva alta y mediana	519,408	59.65	0.896	1.47	0.997	3,572.32
Selva baja	313,036	18.27	12.225	2.01	0.971	333.87

Fuente: Torres y Guevara (2002). *Modelo: Peso seco (Kg)= b₀ + b₁ Volumen total árbol (m³)*

El potencial de captura de carbono está ligado al potencial de formación de biomasa. De ahí que las regiones donde resultan factibles altos rendimientos de biomasa sean las regiones de mayor potencial de captura de carbono. Para México estas áreas están localizadas a lo largo de las llanuras costeras y en el sur y sureste del país, donde se registran los mayores rendimientos de biomasa. En este contexto, los mejores lugares para ubicar proyectos de captura de carbono son aquellos que tienen el mayor potencial para el desarrollo de plantaciones o sistema de cultivo de alto rendimiento en producción de biomasa.

Masera (1995) sugiere que los sistemas agroforestales son los sistemas más prometedores para los proyectos de captura de carbono, dado que proporcionan alternativas de producción que combinan la producción de satisfactores con la de servicios ambientales. De Jong et al., (1995) señalan que las prácticas de cultivo como

cercas vivas, cortinas rompevientos, sombras de árboles, y enriquecimiento de acahuales, entre otros, pueden también representar extraordinarias alternativas de proyectos de captura de carbono.

Trexler y Haugen (1995) estimaron que en México existen alrededor de 4.6 millones de hectáreas con potencial para diferentes alternativas de cultivo forestal o agroforestal con alta producción de carbono, cuyo potencial de captura varía entre 33.3-113.4 millones de toneladas de carbono. En su opinión, adicionalmente existe alrededor de un millón de hectáreas potenciales para el desarrollo de plantaciones forestales, con un potencial de captura entre 30.7-85.5 millones de toneladas. Aún más, dichos autores estiman que existen en el país alrededor de 30 millones de hectáreas de áreas arboladas con regeneración natural con posibilidades de capturar entre 1,038 y 3,090 millones de toneladas de carbono.

Otra alternativa para conservar bancos de carbono (carbono depositado en el suelo y vegetación) y evitar que el CO₂ regrese a la atmósfera es impidiendo la deforestación. Trexler y Haugen (1995) estiman que alrededor de 6.1 millones de hectáreas de bosques y selvas (con un potencial de captura de 348.3-714.9 millones de toneladas) se podrían salvar antes del año 2040 si se toman medidas adecuadas de manejo silvícola que diversifique los bienes y servicios que se obtienen del bosque.

Depósitos de carbono en un bosque de pino

Se reconocen cinco diferentes depósitos donde se acumula biomasa en un bosque de pino lo que representa carbono almacenado:

- A) Biomasa sobre el suelo (árboles y sotobosque).
- B) Biomasa bajo el suelo (raíces gruesas y delgadas).
- C) Árboles muertos en pie y troncos caídos.
- D) Hojarasca.
- E) Suelo.

Para realizar un inventario de biomasa en un bosque de pino se debe tomar en cuenta que cada depósito de biomasa se debe determinar por separado debido a que existe una varianza diferente para cada uno de ellos. Mientras el error estándar de la media para la biomasa aérea puede alcanzar 20%, para un determinado tamaño muestral el error estándar para el suelo puede ser de 40%, y el de biomasa subterránea 80% o más (Schlegel et al., 2001).

A) Procedimiento para determinar biomasa aérea sobre el suelo (destructivo)

Uno de los métodos para la determinación de la biomasa es el método alométrico o regresional, el cual consiste en relacionar mediante una ecuación matemática, el peso seco de los componentes arbóreos (variable dependiente), con el diámetro normal (DN) u otra variable independiente del árbol. Esto se logra a través del muestreo destructivo de los árboles seleccionados en el rodal o parcela. Los árboles seleccionados se pesan en su totalidad y con esa información se ajustan regresiones, las que se aplican a cada uno de los árboles del rodal, obteniéndose la biomasa total como la suma de los pesos secos de los árboles individuales. En términos generales el objetivo del muestreo destructivo de los árboles es generar información confiable para la elaboración de funciones de biomasa total para cada una de las especies de interés y para algunos tipos de bosque (Calderón et al., 2001) para después con los modelos generados estimar la biomasa seca y carbono por especie sin tener que derribar árboles. A continuación se describen los pasos a seguir.

1) En primer lugar se definirá el área de estudio donde se quiere estimar biomasa seca (para después convertir a carbono almacenado), en las cuales se debe reconocer que existen diferentes condiciones del bosque, áreas productivas, zonas de crecimiento, estados de desarrollo (latizal, adulto) y grados de alteración antrópica (con y sin manejo). Se sugiere utilizar un muestreo al azar estratificando la población, ya que este entrega estimaciones más precisas para un presupuesto limitado. Cada estrato, en que se subdivide la población puede ser definido por el tipo de vegetación, tipo de suelo o topografía.

2) Para definir los estratos se pueden utilizar imágenes satelitales, fotografías aéreas y mapas de vegetación, suelo o topografía o a través de recorridos en campo definir los rodales relativamente homogéneos en composición y/o alteración en la vegetación (rodalizar el área de estudio).

3) Se establecen las parcelas para cada rodal en un muestreo al azar considerando que el sitio sea representativo del tipo de vegetación y de preferencia sin pendiente pronunciada, cuidando que la parcela en su totalidad, esté incluido dentro del rodal y que estos no presenten efectos fuertes de borde o con claros grandes. El inventario debe realizarse cuando las especies tienen plenamente desarrollado su follaje y el personal puede trabajar eficientemente y con menores riesgos en campo.

4) En estos estudios de biomasa, dependiendo de la variabilidad de los bosques, la precisión deseada, las especies encontradas y los recursos disponibles, se utilizan diferentes números de árboles muestra, normalmente varía entre 20 y 40 árboles, eligiéndose alrededor de cinco o más por parcela medida. Para zonas amplias se eligen cerca de 30 árboles, en casos que se requiere determinar biomasa en localidades específicas, 15 árboles es un número suficiente (Schlegel et al., 2001). Entonces la unidad de muestreo que se utiliza es una parcela de

tipo temporal. Sin embargo, en sitios donde se pretende monitorear carbono a través del tiempo, se establecen parcelas de muestreo permanentes.

5) Se establecen parcelas circulares de 1000 m^2 , estas se instalan utilizando cuerdas de 17.84 m de radio desde el centro de la parcela en los cuatro puntos cardinales. Se debe corregir la distancia con la ayuda de un clinómetro si la pendiente es mayor a 10% para tener mayor precisión en el muestreo.

6) Se procede a realizar el inventario de árboles, comenzando por el radio norte de la parcela para llevar un orden en la captura de datos y se miden la totalidad de los árboles con diámetros normales de $\geq 5 \text{ cm}$ también se mide la altura total y se identifica por especie (Figura 1).

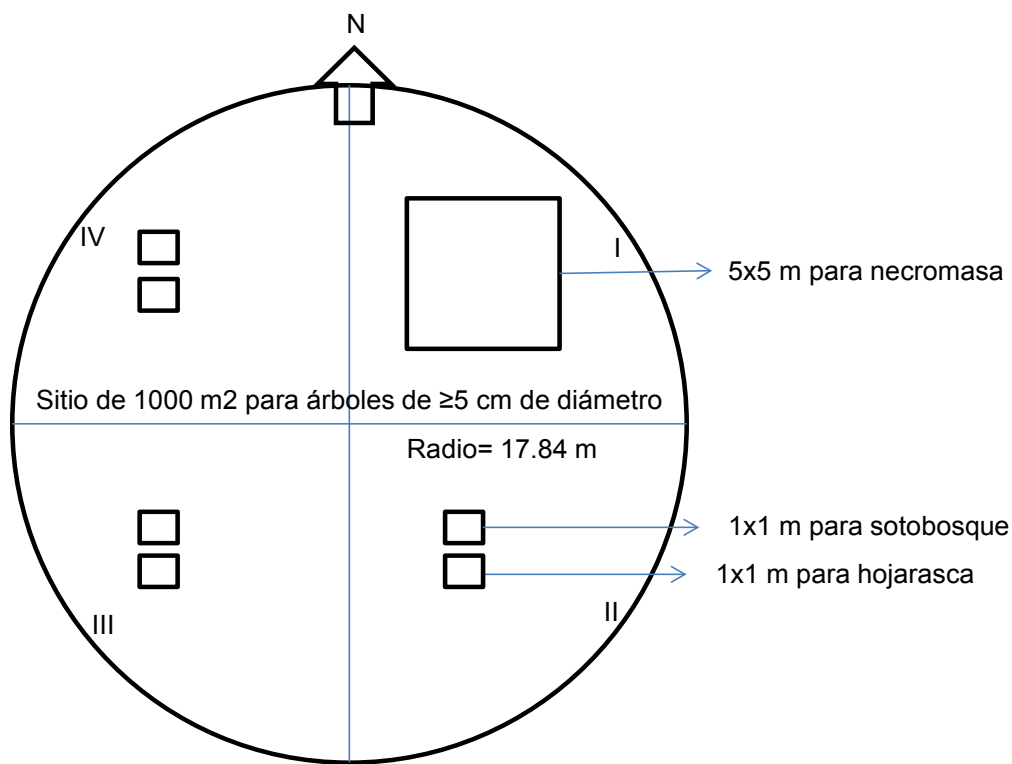


Figura 1. Representación de la parcela circular para el inventario de biomasa (1000 m^2) y subparcelas de medición de sotobosque (1 m^2), hojarasca (1 m^2) y necromasa (25 m^2).

7) Medición en sotobosque. Para el muestreo en sotobosque, se levantan tres subparcelas de 1 m^2 en los cuadrantes II, III, y IV. Se aconseja localizarlas a una distancia de siete metros del centro de la parcela grande (centro de cada cuadrante). En cada subparcela de sotobosque se miden dos categorías de biomasa la cual se corta y se pesa en su totalidad. a) Biomasa de especies arbóreas y arbustos leñosos (son los individuos $< 5 \text{ cm}$ de diámetro normal), b) Biomasa de herbáceas (plantas anuales y pastos).

8) El número de árboles a muestrear (pesar por componentes) se define de acuerdo con las categorías diamétricas presentes en el área de estudio, en el que implica obtener al menos tres individuos por categoría diamétrica por especie. Es importante considerar que los individuos se seleccionan al azar dentro de la parcela, elegir árboles de la misma categoría diamétrica en diferentes parcelas. Otra consideración es que los árboles muestra no se encuentren concentrados en un sector de la parcela y deben representar las variaciones que se presentan en las copas, estados sanitarios y micro-sitios. Las variables principales que influyen en la biomasa total de los árboles son tamaño (diámetro normal, edad, altura total); especie (presentan diferentes comportamientos biológicos) y volumen de copa (registrado a través de posición sociológica, altura o razón de copa).

9) Una vez elegidos los árboles, se realizan dos tipos de mediciones, las primeras con el árbol en pie y las segundas una vez que el árbol ha sido derribado. Previo al derribo del árbol se toma el número de árbol y diámetro normal. Después se sugiere al motosierrista que señale el sitio de caída del árbol para despejar de matorrales que puedan dificultar el trabajo posterior, también se le indica que haga el corte del árbol lo más cerca al suelo posible (15-30 cm). Con el árbol derribado se mide la altura total y se pesa por componente.

10) Para realizar el desrame y troceado, los árboles se dividen en tres componentes, fuste hasta un diámetro límite de 5 cm, ramas gruesas y finas ≥ 1 cm de grueso, ramillas ≤ 1.0 cm, frutos y hojas se consideran dentro del componente de hojas (Figura 2). La biomasa del fuste principal se obtiene al pesar cada troza del mismo, las ramas gruesas si fuese necesario deben trocearse para realizar el pesado, las hojas y ramas finas se pesan (se facilita echando adentro de un costal las hojas y ramas finas y restando el peso del costal). El fuste principal se troza en secciones y se pesan, considerando que cada sección pese en un rango de 80 a 100 kg (deben ser cargadas a pulso por una o dos personas). Se toman tres muestras en diferentes partes del fuste (rodajas de 5 cm de ancho) a la altura del tocón, a mitad del largo del fuste comercial y al inicio de la copa del árbol.

11) En cada componente se toman tres muestras (3 muestras de ramas $>$ de 5 cm; 3 muestras de hojas con ramillas ≤ 1.0 cm), se enumeran y se determina su peso húmedo para cada muestra. Estas muestras se llevan al laboratorio para secarse en una estufa de secado a temperatura de 105 °C hasta alcanzar peso constante. Para cada muestra se calcula una relación de peso seco/peso húmedo (Ps/Ph). Se calcula una relación promedio de Ps/Ph por componente y se multiplica por el peso húmedo total del componente correspondiente. Al sumar los pesos secos de todos los componentes del árbol se obtiene el peso seco total del árbol, el que se expresa en kilogramos. Es importante que cualquier rama grande que esté sobre el piso del bosque sea claramente identificada del árbol recién derribado o no, y que no sea de un árbol dañado para prevenir el doble conteo.

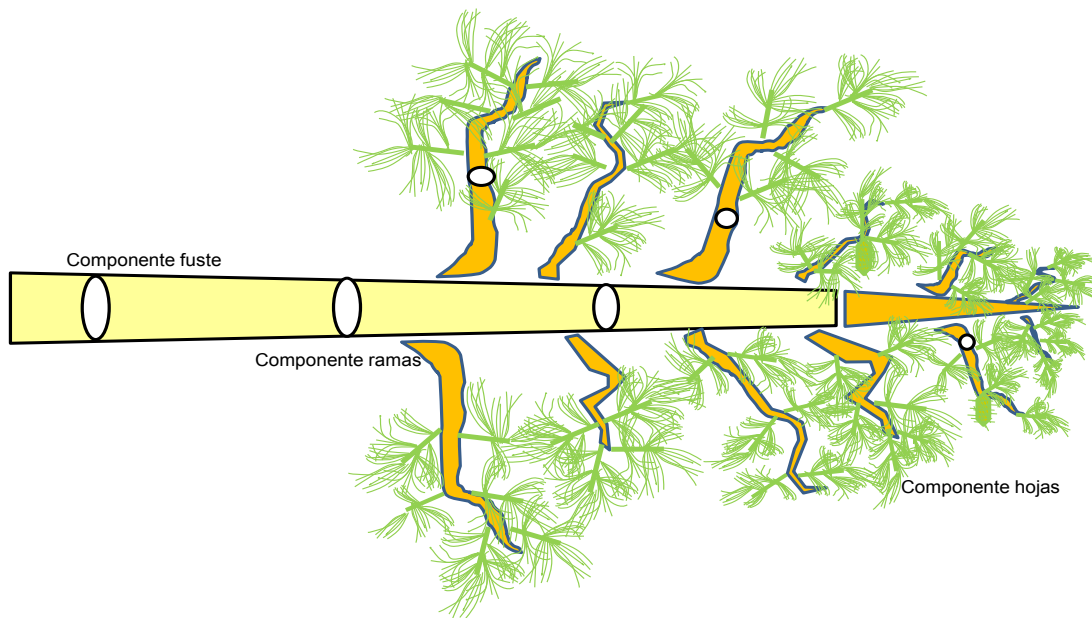


Figura 2. Árbol derribado para pesar los componentes por separado y puntos de muestreo para determinar el contenido de humedad por componente.

12) Una vez que se ha determinado la biomasa seca de todos los árboles seleccionados por especie, se procede a desarrollar funciones de regresión de biomasa seca utilizando un paquete estadístico (Statistica ver. 6.0). El modelo matemático que ha sido utilizado más frecuentemente (Romahn et al., 1994; Prodan et al., 1997; Acosta et al., 2002, Rodríguez et al., 2006) debido a que ha presentado mejor ajuste en los criterios de bondad (R^2 y valor de F) es el modelo de la forma:

$$B = a_0 * DN^{a_1} \text{ (Potencial)}$$

Donde:

B= biomasa aérea del árbol (kilogramos), DN= diámetro normal, a_0 y a_1 =son los coeficientes de la regresión.

13) Generado el modelo matemático para una determinada especie o especies de un rodal, ya no es necesario derribar árboles para estimar la biomasa seca total acumulada en dicho rodal, de tal manera que al sustituir el valor del diámetro normal de cada árbol en el modelo matemático obtenido se obtendrá la biomasa seca en kilogramos.

B) Procedimiento para determinar biomasa aérea (no destructivo)

En el caso que no sea posible derribar árboles para ser el pesado en cada uno de sus componentes, se procede a calcular el volumen por árbol por especie. Clutter et al., (1983) mencionan que existe un gran número de

ecuaciones para estimar volumen que han sido reportadas en las diferentes publicaciones dirigidas a las ciencias forestales. Se clasifican normalmente en: a) ecuaciones de volúmenes locales, b) ecuaciones de volumen estándar y c) ecuaciones universales. Las ecuaciones locales solamente incluyen el diámetro normal como variable de entrada. Las ecuaciones estándar utilizan también la altura del árbol. Las ecuaciones universales incluyen también un factor de forma o ponderan por modelar la estructura del error Návar et al. (2004). Las ecuaciones de volumen pueden ser desarrolladas para una sola especie. En ocasiones se han reportado ecuaciones para un conjunto de especies, sin perder mucha precisión Tapia y Návar (1998).

El volumen representa la parte más importante de una masa forestal o un bosque debido a que una vez estimado se puede planificar el manejo actual y futuro de los bosques, así como la forma en que deberá desarrollarse dicho manejo. Por lo tanto se deben seguir los pasos siguientes:

- 1) Definir los rodales relativamente homogéneos en composición y/o alteración en la vegetación (rodalizar el área de estudio).

- 2) Establecer parcelas para cada rodal considerando que sea representativa del tipo de vegetación evitando pendientes pronunciadas y que estas no presenten efectos fuertes de borde o con claros grandes.

- 3) Se establecen parcelas circulares de 1000 m², estas se instalan utilizando cuerdas de 17.84 m de radio desde el centro de la parcela en los cuatro puntos cardinales. Se debe corregir la distancia con la ayuda de un clinómetro si la pendiente es mayor a 10% para tener mayor precisión en el muestreo.

- 4) Se procede a realizar el inventario de árboles, comenzando por el radio norte de la parcela para llevar un orden en la captura de datos y se miden la totalidad de los árboles con diámetros normales de ≥ 5 cm también se mide la altura total y se identifica por especie.

- 5) Con los datos tomados en campo del diámetro normal y la altura total del árbol se procede a calcular el volumen fustal por árbol por especie utilizando la ecuación siguiente:

$$VF = (\pi/4) * DN^2 * H$$

Donde:

VF= Volumen fustal del árbol (m³); $\pi/4$ =Constante; DN= Diámetro normal (metros); H= Altura total del árbol (metros).

- 6) El volumen fustal individual por especie se multiplica por el coeficiente de forma que reporta la SARH

(1985) para especies de coníferas en bosques de Hidalgo o para la especie correspondiente, después se multiplica por la densidad básica respectiva para la especie obteniendo biomasa (kilogramos). Es necesario señalar que Tuset y Durán (1979) y Reyes et al., (1992) han publicado la densidad básica de madera para un grupo amplio de especies de coníferas y latifoliadas. Entonces la ecuación queda de la forma siguiente:

$$Y = VF * CF * D$$

Donde:

Y= Biomasa seca del fuste (kilogramos); VF=Volumen fustal por árbol (metros cúbicos); CF= Coeficiente de forma para coníferas o especie correspondiente; D= Densidad de la madera para la especie correspondiente (kg/m³).

7) A la biomasa seca del fuste se le debe agregar 30% que representa los brazuelos y ramas que conforman la copa del árbol; para el tocón, ramillas ≤ 1.0 cm y hojas se agrega un 5% de la biomasa seca fustal obtenido, de tal manera que queden considerados todos los componentes del árbol en la biomasa total árbol.

8) Con los datos obtenidos de biomasa total individual por especie se procede a desarrollar las funciones de regresión de biomasa seca como se indicó anteriormente.

C) Procedimiento para determinar biomasa bajo el suelo (raíces)

Para determinar la biomasa bajo el suelo, o biomasa radicular, es un proceso muy costoso. Esta se estima como un porcentaje de la biomasa arbórea sobre el suelo (biomasa aérea), de tal manera que se omite la metodología para la estimación de dicho componente. Recurriendo a la literatura para tener mejores estimaciones de biomasa total por hectárea se reporta que la biomasa radicular corresponde a 15% de la biomasa aérea del árbol en bosques de Chile (MacDicken, 1997) siendo un valor conservador. Por otro lado Cairns et al. (1997) reporta valores de 20 a 30% de biomasa radicular respecto a la biomasa aérea para distintos lugares del mundo. Se sugiere utilizar un valor intermedio (20%) de lo reportado en la literatura para los bosques de pinos del estado de Hidalgo.

D) Procedimiento para determinar biomasa en árboles muertos en pie y troncos caídos (Necromasa)

Existe escasa literatura para evaluar la cantidad de biomasa presente como necromasa y hojarasca en los ecosistemas forestales, aunque este tipo de biomasa permanecerá poco tiempo en dicho ecosistema también consideran que es corto el tiempo que se mantendrá secuestrado el carbono, pero mucho de este se incorpora al

suelo quedando almacenado por muchos años (West et al., 2004). La necromasa se refiere a la materia vegetal muerta, sobre todo a árboles muertos, ya sea en pie o caídos. En este componente es importante considerar el grado de descomposición en que se encuentren los troncos, ramas gruesas, se debe poner mucho cuidado en estas mediciones para evitar tanto la sobreestimación como la sub-estimación. Para los árboles muertos en pie se suele utilizar un porcentaje de descuento de la biomasa total si estuviera vivo y un porcentaje de descuento por el grado de descomposición que se registre. Los troncos caídos se cubican o se pesan de acuerdo con su tamaño.

Este componente se evalúa en una superficie cuadrada de 25 m² ubicando el cuadrado (5x5 m) en el centro del primer cuadrante de la parcela. Para esto, se acumula y pesa todo el material muerto (ramas) sobre el suelo que tenga un diámetro ≥ 5.0 cm. Se toman tres muestras y se determina una relación promedio de Ps/Ph para después multiplicarse por el peso total de la necromasa para llevarse a la hectárea.

E) Procedimiento para determinar biomasa en hojarasca

La capa de hojarasca, también conocida como el horizonte O, es una capa de material orgánico constituida por el material leñoso, hojas, ramillas, flores y frutos no descompuesto que cae de los árboles y cuyas formas se pueden reconocer a simple vista. Se conoce también como mantillo.

En el centro del cuadrante II, III y IV en una superficie de 1 m² se recolecta y se pesa la hojarasca acumulada. Debe incluirse en esta medición toda la biomasa de hojas, ramas ≤ 5.0 cm, ramillas, frutos. Se recolectan tres muestras de hojarasca y se llevan a laboratorio para determinar una relación promedio de Ps/Ph para después multiplicarse por el peso total de la hojarasca obtenido por 1 m² y se extrapola a la hectárea.

F) Procedimiento para determinar carbono en cuatro componentes del bosque

Con los valores de biomasa obtenidos se procede a determinar las cantidades de carbono almacenado en cada árbol por especie, tomando un factor de conversión de carbono de acuerdo con la especie ya que autores como Smith et al. (1993); Montoya et al. (1995); MacDicken (1997) y Husch (2001) afirman que en promedio la materia vegetal seca contiene 50% de carbono. Por otro lado Koch (1989) menciona que las latifoliadas y las coníferas contienen un factor de conversión de carbono de 0.531 y 0.521 respectivamente. Schlegel et al., (2001) ocupó valores de 0.42 y 0.45 como factores de conversión de carbono en el proyecto de medición de la capacidad de captura de carbono en los bosques de Chile. La fao (2000) reporta que la vegetación de los bosques contiene entre 42 y 48% de carbono en la biomasa seca. Mientras que Acosta et al., (2002) utilizaron un factor de conversión de carbono de 0.465 para maleza y 0.455 para raíces en terrenos de ladera con vegetación forestal y con manejo agrícola en

la sierra norte de Oaxaca. Valores similares empleó Segura (1999) para estimar el carbono (46%) almacenado en un bosque de *Quercus costaricensis*. IPCC (2003) reporta el mismo factor de conversión que utilizó Fragoso (2003) y Zamora (2003), en estudios realizados en bosques templados en el estado de Michoacán (factor de conversión de carbono de 0.45), así mismo, Razo et al., (2013) obtuvieron para bosques de oyamel en el estado de Hidalgo un factor de conversión de carbono de 0.45. Es posible que estos autores varíen en el valor del factor de conversión para carbono en la material vegetal seca debido a que los estudios se han realizado con distintas especies y en lugares diferentes.

Entonces la ecuación para estimar carbono es:

$$C = B_s * FCC$$

Donde:

C=Carbono (kg); B_s= Biomasa seca (kg); FCC= Factor de conversión a carbono.

Se obtiene el valor de carbono almacenado por cada componente (Biomasa aérea (árboles y sotobosque), biomasa bajo el suelo (raíces), Necromasa y hojarasca) y se lleva a la hectárea para después sumarse cada uno de ellos y así obtener la cantidad total de carbono por hectárea que se encuentran en los bosques de pino en estudio.

Alcances

Los almacenes de carbono en un ecosistema forestal donde el follaje, las ramas, las raíces, el tronco, los desechos, los productos y el humus estable se mantienen por años y algunos de ellos cuando alcanzan tamaños aprovechables en términos comerciales, pudiéndose extraer productos como vigas, tablas, tablonés, polines y triplay que darán origen a subproductos elaborados como muebles, casas entre otros productos, lo que tardaran muchos años para reincorporarse al ciclo del carbono por descomposición y/o quema de la biomasa forestal. Con acciones como la conservación de bosques naturales y realizar reforestación en áreas sin vegetación son de las mejores opciones para la captación de carbono, ofreciendo simultáneamente otros servicios ambientales como recarga de mantos acuíferos, amortiguamiento de las temperaturas, refugio de fauna silvestre, liberación de oxígeno y el de mayor urgencia por mitigar el cambio climático.

Bibliografía

- Acosta MM, Vargas HJ, Velázquez MA, Etchevers JD (2002). Estimación de la biomasa aérea mediante el uso de relaciones alométricas en seis especies arbóreas en Oaxaca, México. *Agrociencia* 36:725-736.
- Avendaño HDM, Acosta MM, Carrillo AF, Etchevers JD (2009). Estimación de biomasa y carbono en un bosque de *Abies religiosa*. *Fitotecnia Mexicana* 32(3):233-238.
- Bartelink HH (1996) Allometric relationships on biomass and needle area of Douglas-fir. *Forest Ecology and Management* 86:193-203.
- Bellón MR, OR Masera, G Segura (1993). Response options for sequestering carbon in Mexican forests. Report al F-7 International Network on Tropical Forestry and Global Climatic Change, Energy and Environment Division, Lawrence-Berkeley Laboratory, Environmental Protection Agency, Berkeley.
- Brown S, JR Gillespiey, E Lugo (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science* 35:881-902.
- Cadena MOI, Ángeles PG (2005) Almacenes de carbono en hojarasca en bosques manejados de *Pinus patula* en Zacualtipán, Hidalgo. *Resumen del VII Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. Chihuahua, México, pp. 422-423.
- Cairns MA, S Brown, EH Helmer, GA Baumgardner (1997). Root biomass allocation in the world's upland forests. *Oecología* 111:1-11.
- Calderón S, J Gayoso, J Guerra, B Schlegel (2001). *Inventarios forestales para contabilidad de carbono*. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 45 p.
- Carabias LJ, Tudela AF (2000) El cambio climático: una amenaza global. En: *Primer Foro de divulgación sobre cambio climático*. semarnat, México.
- Castellanos BJ, Velásquez MA, Vargas HJ, Rodríguez FC, A Fierros (1996). Producción de biomasa en un rodal de *Pinus patula*. *Agrociencia* 30:123-128.
- Chapman JW, T Gower (1991) Aboveground production and canopy dynamics in sugar maple and red oak trees in southwestern Wisconsin. *Canadian Journal of Forest Research* 21:1533-1543.
- Clutter JL, JC Forston, LV Pienaar, GM Brister, RB Bailey (1983). *Timber management: A quantitative approach*. Wiley, New York. 331 p.
- De Jong BHJ, Montoya GG, K Nelson, Soto PL, R Tipper (1995). *Community forest management and carbon*

- sequestration: A feasibility study from Chiapas, México. *Interciencia* 20(6):409-416.
- Escandon CJ, Ben HJJ, Ochoa GS, MI March, Castillo MA (1999). Evaluación de dos métodos para la estimación de biomasa arbórea a través de datos Landsat TM en Jusnajib, La Laguna, Chiapas, México: estudio de caso. *Boletín del Instituto de Geografía. UNAM. México* No. 40.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2000). Sistemas de uso de la tierra en los trópicos húmedos y la emisión y secuestro de CO₂. In: Informe sobre recursos mundiales de suelos No. 88. Roma. 98 p.
- Fragoso LPI (2003). Estimación del contenido y captura de carbono en biomasa aérea del predio “Cerro Grande” municipio de Tancítaro, Michoacán, México. Tesis Profesional. Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” U.M.S.N.H. Michoacán. 65 p.
- Husch B (2001). Estimación del contenido de carbono de los bosques. In: Simposio internacional, medición y monitoreo de la captura de carbono en ecosistemas forestales. Valdivia, Chile. 9 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (1996). Climate change 1995: The Science of Climate Change. JT Houghton, LG MeiraFilho, BA Collabder, N Harris, A Kattenberg, K Maskell (Eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2003). Good practice guidance for land use, land-use change and forestry.
- Jo HK, McPherson EG (1995). Carbon storage and flux in urban residential green space. *Journal of Environmental Management* 45:109-133.
- Koch P (1989). Estimates by species group and region in the USA of: I Below ground root weight as a percentage of oven dry complete-tree weight; and II carbon content of tree portions. Unpublished consulting report. 23 p.
- Landsberg JJ, Gower ST (1997). Applications of physiological ecology to forest management. Academic Press. San Diego, USA. 354 p.
- MacDicken KG (1997). A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects. Arlington, VA: Winrock International Institute for Agricultural Development. USA. 87 p.
- Masera O (1995). Future greenhouse emission and sequestration scenarios from land use change in Mexico. Report to UNEP from the project Mexico's country study on greenhouse gas emissions, Instituto Nacional de Ecología. México City.

- Masera O, Ordóñez JM, Dirzo R (1997). Carbon emissions from Mexican forests: current situation and long-term scenarios. *Climatic Change* 35:265-295.
- Montoya G, L Soto, B de Jong, K Nelson, P Farias, Tic Pajal Yakac, J Taylor, R Tipper (1995). Desarrollo forestal sustentable: captura de carbono en las zonas Tzeltal y Tojolabal del estado de Chiapas. Instituto Nacional de Ecología. Cuadernos de Trabajo No. 4. México D. F. 50 p.
- Nabuurs GJ, Mohren MJ (1993). Carbon fixation through forestation activities: a study of the carbon sequestering potential of selected forest types, commissioned by the foundation face. Report Lbn 93/4. Institute for forestry and nature research, forests absorbing carbon dioxide emission. Netherlands. 206 p.
- Návar J, Gonzalez N, Maldonado D, Graciano J, Dale V, Parresol B (2004). Biomass equations for pine species of forest plantations of Durango, Mexico. *Madera y Bosques* 10(2):17-28.
- Ordóñez DJAB (2008). Como entender el manejo forestal, la captura de carbono y el pago de servicios ambientales. *Revista Ciencias* 90:37-42.
- Prodan M, Peters R, Cox F, Real P (1997). *Mensura Forestal. Serie de investigación y educación en desarrollo sostenible*. Instituto interamericano de cooperación para la agricultura. San José, Costa Rica. 561 p.
- Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH) (1985). Memoria del Inventario Forestal del estado de Hidalgo. Manejo y aprovechamiento de los recursos forestales. 69 p.
- Smith TM, WP Cramer, RK Dixon, R Leemans, RP Neilson, AM Solomon (1993). The global terrestrial carbon cycle. In: Wisniewski J and RN Sampson (Eds). *Terrestrial biosphere carbon fluxes: quantification and sources of CO2* Klumer Academic Publisher, Netherlands, pp. 19-37.
- Snowdon P, J Raison, H Keith, K Montagu, K Bi, P Ritson, P Grierson, M Adams, W Burrows, D Eamus (2001). Protocol for sampling tree and stand biomass. National carbon accounting system technical report No. 31 Draft-March 2001. Australian Greenhouse Office. 114 p.
- Pimienta DDJ, Domínguez CG, Aguirre CO, Hernández FJ, Jiménez PJ (2007). Estimación de biomasa y contenido de carbono de *Pinus cooperi* Blanco, en Pueblo Nuevo, Durango. *Madera y Bosques* 13(1):35-46.
- Razo ZR, Gordillo MAJ, Rodríguez LR, Maycotte MCC, Acevedo SOA (2013). Estimación de biomasa y carbono almacenado en árboles de oyamel afectados por el fuego en el Parque Nacional El Chico, Hidalgo, México. *Madera y Bosques* 19(2):73-86.
- Reyes G, S Brown, J Chapman, A Lugo (1992). Wood densities of tropical Tree species. Gen. Tech. Rep. SO-88.

- USDA, Forest Service. Forest Experiment Station. New Orleans, LA, USA. 15 p.
- Rodríguez LR, Jiménez PJ, Aguirre CO, Treviño GEJ (2006). Estimación del carbono almacenado en un bosque de niebla en Tamaulipas, México. *Ciencia UANL* 9(2):179-187.
- Romahn VCF, Ramírez MH, Treviño GJL (1994). Dendrometría. Universidad Autónoma Chapingo. Serie de apoyo académico No. 26. 387 p.
- Schlegel B, J Gayosso, J Guerra (2001). Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile. 15 p.
- Segura MM (1999). Valoración del servicio ambiental de fijación y almacenamiento de carbono en bosques privados del área de conservación cordillera volcánica central, Costa Rica. Tesis de Maestría. CATIE, Turrialba, Costa Rica, pp. 1-23.
- Tapia J, J Návar (1998). Ajuste de modelos de volumen y funciones de ahusamiento para *Pinus teocote* en bosques de pino de la Sierra Madre Oriental. *Ciencia e Investigacion Forestal* 12(1):5-19.
- Tipper R (2000). Carbon offsets from forestry projects in developing countries. Report commissioned by the Department of the Environment, Transport, and Regions. ECCM, Edimburgo. 27 p.
- Torres RJM, Guevara SA (2002). El potencial de México para la producción de servicios ambientales: captura de carbono y desempeño hidráulico. *Gaceta Ecológica INE*. 63 p.
- Trexler MC, C Haugen (1995). Keeping it green: tropical Forestry opportunities for mitigating climate change. EPA.
- Tuset R, F Duran (1979). Manual de maderas comerciales equipos y procesos de utilización. Editorial Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 688 p.
- Velázquez A, Mas JF, Mayorga SR, Palacio JL, Bocco G, Gómez RG, Luna GL, Trejo I, López GJ, Palma M, Peralta A, Prado J (2001). Inventario forestal nacional 2000. Potencial de uso y alcances. *Ciencias* 64:13-19.
- West TO, G Marland, AW King, WM Post (2004). Carbon management response curves: estimates of temporal soil carbon dynamics. *Environmental Management* 33(4):507-518.
- Zamora CJC (2003). Estimación del contenido de carbono en biomasa aérea en el bosque de pino del ejido “La Majada” municipio de Periban de Ramos, Michoacán. Tesis Profesional. Facultad de Agrobiología “Presidente Juárez” U.M.S.N.H. Michoacán.

Capítulo 7

Calidad de la leche en el Valle de Tulancingo

Melitón Jesús Franco Fernández⁷¹

Lucio González Montiel²

Martin Amador Meza Nieto¹

Rosalba Monroy Durán³

Introducción

En México existe una compleja problemática alimentaria, evidenciada en la creciente dependencia externa en la importación de productos tales como cereales, oleaginosas y lácteos; en este último rubro, la leche siendo uno de los productos esenciales para la alimentación humana, enfrenta una crisis grave en la producción lechera, debido al incremento de la importación de leche en polvo de 185,496 a 236,000 toneladas anuales durante el periodo 2011 al 2012, 80% proviene de Estados Unidos de Norteamérica, generando una sobreoferta y desplazando a los productores nacionales. En el año 2011, la producción mundial de leche, registrada por la FAO, ascendió a cerca de 607 millones de toneladas. La producción de México en ese año fue de alrededor de 10.7 millones de toneladas, es decir, 1.8% del total mundial. EU es el país con mayor producción con alrededor de 89 millones de toneladas, que representan 14.7% de la producción mundial. El estado de Hidalgo en el mismo año produjo cerca de 0.4 millones de toneladas ubicándose entre los 11 principales productores de leche del país (SIAP-SAGARPA, 2013).

7 *Melitón Jesús Franco Fernández (chuchofranco@yahoo.com).

¹Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México.

² Universidad de la Cañada, Teotitlán de Flores Magón, Oaxaca.

³ Centro de Constatación de la leche en Hidalgo.

Debido a los graves efectos de una apertura indiscriminada se ha facilitado la introducción de volúmenes considerables de leche en polvo, preparaciones alimenticias y derivados industrializados afectando directa o indirectamente su estructura productiva. La adquisición de leche de mala calidad o sueros que carecen de valor nutricional, no solo generan competencia desleal por sus bajos precios, sino también perjudica a los consumidores por ser utilizada principalmente en desayunos escolares y fórmulas lácteas (SIAP-Sagarpa, 2013).

Objetivo general

Evaluar la calidad de la leche que se produce en el Valle de Tulancingo, Hidalgo, México, mediante el análisis de los resultados obtenidos en los últimos años para determinar sus características fisicoquímicas y el contenido de células somáticas.

Antecedentes

El gobierno del estado de Hidalgo crea en junio del 2000 la Comisión Estatal de la Leche como una estrategia para atenuar esta problemática y como consecuencia de su participación en la comercialización de leche sin pasteurizar de los productores del estado, se ha logrado regular el precio de venta de este producto a través de la reactivación de los centros de acopio de leche, realizando su análisis fisicoquímico en el laboratorio de su propio centro para su posterior enfriamiento y comercialización a un precio preferencial en función de su calidad. Actualmente, en el estado de Hidalgo existen tres zonas lecheras: la región Valle de Tulancingo, Valle del Mezquital y la Cuenca Lechera de Tizayuca descritos en la figura 1 (Monroy, 2010).

En la entidad se encuentran en operación 37 centros de acopio de leche distribuidos en las tres regiones descritas anteriormente (figura 1), y que funcionan a través de pruebas de control de calidad como son: temperatura, densidad, sólidos no grasos, acidez y materia grasa, posterior a su aceptación se almacena en tanques de doble fondo a una temperatura de 4 °C para su comercialización a procesadoras de lácteos locales. En enero del 2003, es construido el laboratorio central de constatación de leche, ubicándolo en las instalaciones de la Unión Ganadera Regional de Hidalgo que por su localización en la ciudad de Pachuca se facilita el acceso de los productores e industriales de todas las cuencas y microcuencas productoras de leche en la entidad, proporcionando el servicio de análisis de leche de forma mensual a aproximadamente 1,000 productores lecheros de bajos ingresos, con la finalidad de fomentar la cultura de la calidad entre los ganaderos, a partir del conocimiento de su producto y en los industriales y consumidores, el sistema de pago por calidad (Comisión Estatal de la Leche del Estado de

ubicados en el mismo Valle y que elaboran principalmente queso tipo Oaxaca, Panela, Manchego, del Morral, Tenate, Ranchero, entre otros. Dentro de los factores que determinan la producción está la estacionalidad de la misma, en los sistemas de traspatio y semitecnificado, esta presenta una sobre producción en los meses de lluvia debido a que esta favorece el crecimiento de los pastos y praderas principal fuente de alimento en este sistema, observándose una sobreoferta y por ende, la caída de los precios. El fenómeno de la estacionalidad afecta principalmente a los sistemas familiares que carecen de infraestructura para el almacenamiento de la leche, misma que se penaliza en los precios, los cuales durante los meses de mayor producción son considerablemente bajos (Monroy, 2010). El precio por litro se ha incrementado con el paso de los años al pasar de \$3.14 pesos en 2001 a \$5.80 pesos en septiembre de 2013 (SIAP-Sagarpa, 2013).

El tipo de alimentación en los sistemas de producción con tecnología baja se fundamenta en el pastoreo (ya que cerca de 50% de este tipo de productores lo realiza). El silo en la actualidad viene siendo una alternativa para la nutrición de vacas lecheras, sin embargo, del total de productores solo el 30.06% da ensilaje, este porcentaje se divide en 17.34% productores con tecnología media y 12.72% restante a los productores con alta tecnología. En los sistemas de producción lecheros del estado de Hidalgo solo el 49.13% de los productores participan en las campañas de brucelosis y tuberculosis. De este porcentaje, solo 36.41% corresponde a productores con tecnología media y 12.72% a productores con alta tecnología. La infraestructura y equipo en los sistemas de producción pecuarios favorecen una mayor eficiencia de los recursos existentes en las explotaciones. En el estado de Hidalgo 47.98% de los productores cuentan con ordeñadora mecánica, 35.26% corresponde a productores lecheros con tecnología media y 12.72% a productores con tecnología alta. El lavado y presellado de ubres lo realizan casi exclusivamente los productores de tecnología media y alta, los productores con tecnología baja no realizan el presellado y solo 50% realiza el lavado de ubres (Cuevas et al., 2007). Por ello es importante evaluar la calidad de la leche del Valle de Tulancingo generando ayuda a los pequeños y medianos productores y de esta forma les sea mejor pagada su leche.

Definición de leche

Es un líquido segregado por las glándulas mamarias de las hembras de los mamíferos, tras el nacimiento de la cría, siendo su función natural, la de ser el alimento exclusivo de los mamíferos jóvenes durante el período crítico de su existencia, tras el nacimiento, cuando su desarrollo es rápido y no puede ser sustituida por otros alimentos y que por su alto valor nutritivo, representa el alimento más balanceado y propio para sus correspondientes crías,

conteniendo diferentes sustancias que actúan como parte fundamental del sistema inmunológico y de protección (Alais, 1997; Badui, 1981). Es un líquido blanco, opaco, de sabor ligeramente dulce, con reacción iónica cercana a la neutralidad, dos veces más viscoso que el agua, es una emulsión de materia grasa en forma globular, presenta analogía con el plasma sanguíneo, así mismo es una suspensión de materias proteicas en un suero constituido por una solución verdadera que contiene lactosa y sales minerales (Alais, 1997).

Cuantitativamente, el agua es el elemento más predominante representando 87.5% o más y los cuatro componentes restantes de gran importancia que constituyen el extracto seco total contenido entre un 10.5 y 15.5% de la composición total que varían de acuerdo con muchos factores como raza de la vaca, tipo y frecuencia de alimentación, época del año, hora del día de la ordeña, como son la grasa, proteína (caseína, α -lactoalbúmina y β -lactoglobulina), lactosa, sales minerales, enzimas (hidrolasa y óxido-reductasas), vitaminas (A, D, E, K, B1, B2, B12, PP, H y C), gases (oxígeno, dióxido de carbono e hidrógeno) y pigmentos (α y β carotenos) que en conjunto forman un sistema fisicoquímico relativamente estable y sus constituyentes se encuentran en equilibrio, establecidos en tres estados de dispersión (Amiot, 1991).

Calidad de la leche

La composición de la leche varía en el transcurso del ciclo de lactación de una especie animal a otra, el régimen alimenticio y el estado de salud como es el caso de leches patológicas. La leche es un producto que se altera fácilmente especialmente con la acción del calor, donde numerosos microorganismos pueden proliferar en ella, en especial los que degradan la lactosa con producción de ácido, ocasionando la floculación de una parte de las proteínas (Alais, 1997).

En Noruega, la leche contiene en promedio 3.9% de grasa y 3.2% de proteína y se paga una bonificación por contenido de proteína mayor de 3.2%, penalizando el contenido de grasa menor de 3.2%, pero no hay sobreprecio para contenido de grasa mayor de 3.2%. En Francia, el pago se basa en los contenidos de materia grasa y proteínas, donde el contenido de referencia para materia grasa es 3.4% y el de proteína es 3.2%. En los países mencionados, el pago depende también de la calidad de la leche (bacteriológica, organoléptica, contenido o ausencia de inhibidores, conteo de células somáticas, etc.). En Francia, hay penalización para cuentas aerobias totales: de 100,000 a 300,000 UFC/mL y mayores de 300,000 UFC/mL. En el Reino Unido, se da una bonificación para cuentas aerobias totales menores de 20,000 UFC/mL, no se bonifica ni se penaliza el rango entre 20,000 y 100,000 y hay penalizaciones severas para conteos mayores de 100,000 UFC/mL. También hay penalizaciones

severas para conteos de células somáticas mayores de 700,000 UFC/mL. En el Reino Unido, el 80% de la leche está dentro de la banda de bonificaciones y menos de 2% está en la banda de penalizaciones. En Argentina, la “leche base de pago” es una leche con 3.3% de grasa, 3.1% de proteína, temperatura entre 5°C (leche enfriada) y 24°C (leche refrescada), con conteo de células somáticas entre 500,000 y 750,000 UFC/mL y con certificación que el hato está libre de brucelosis y tuberculosis (IDF, 1990).

Derivado de los trabajos realizados de la Norma Oficial Mexicana NOM-155-SCFI-2002, se elabora la Norma de Aplicación voluntaria NMX-F-700-COFOCALEC-2004 (cuadro 2), donde se establecen las especificaciones de la leche en México para los productores e industriales, como un punto de referencia para mejorar la calidad en las explotaciones lecheras del país y de los productos elaborados a partir de leche cruda, estableciendo una clasificación de tres clases para los contenidos de materia grasa y proteínas y cuatro clases para los contenidos de bacterias y células somáticas, en el cuadro 1, se presenta la NOM-155-SCFI-2012 publicada en el diario oficial de la federación y que entró en vigor sustituyendo a la NOM-155-SCFI-2002.

Cuadro 1. NOM-155-SCFI-2012, “Leche-denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba”.

Parámetro	Especificación
Densidad a 15°C g/mL	1,029 mínimo
Grasa butírica g/L	30 mínimo
Proteínas totales g/L	30 mínimo
Caseína g/L	24 mínimo
Lactosa g/L	43 a 52
Sólidos no grasos g/L	83 mínimo
Punto crioscópico (°C)	-510 a -536
Acidez (como ácido láctico) g/L	1.3 a 1.7

Fuente: Diario Oficial de la Federación, 03 de Mayo del 2012.

Cuadro 2. NMX-F-700-COFOCALEC-2004, Sistema producto leche-alimento lácteo-leche cruda de vaca-especificaciones fisicoquímicas sanitarias y métodos de prueba.

Parámetro	Especificación
Densidad a 15°C g/mL	1,0295 mínimo
Grasa butírica g/L	
Clase A	Mayor o igual a 32
Clase B	31 mínimo
Clase C	30 mínimo
Proteínas totales g/l	
Clase A	Mayor o igual a 31
Clase B	30 a 30.9
Clase C	28 a 29.9
Lactosa g/L	43 a 50
Sólidos no grasos g/L	83 mínimo
Punto crioscópico °C (°H)	Entre -0.515 (-0.535) y -0.536 (-0.560)
Acidez (como ácido láctico) g/L	1.3 a 1.6
Prueba del alcohol al 72% relación V/V	Negativa
Materia extraña	Libre
Inhibidores	Negativo
Aflatoxina M1 µg/kg	0.5
Cuenta total de bacterias mesofílicas aerobias	
UFC/mL	
Clase 1	Menor o igual a 100,000
Clase 2	101,000 a 300,000
Clase 3	301,000 a 599,000
Clase 4	600,000 a 1, 200, 000
Conteo de Células Somáticas	
CCS/mL	
Clase 1	Menor o igual a 400,000
Clase 2	401,000 a 500,000
Clase 3	501,000 a 749,000
Clase 4	750,000 a 1,000,000

Fuente: Diario Oficial de la Federación, Declaratoria de Vigencia, 23 de Junio del 2004.

Materiales y métodos

El estudio se elaboró con datos proporcionados por el Centro de Constatación de la Leche donde se analizaron a un total de 931 muestras, de las cuales 796 fueron del año 2010 y 135 en el 2011, a estas muestras se analizaron los parámetros fisicoquímicos de materia grasa, proteína, lactosa, sólidos totales, punto de congelación (crioscopía), sales minerales y sólidos no grasos (SNG), para el conteo de células somáticas se utilizaron 1074 datos de leche analizada, con 796 muestras para el año 2010 y 278 del 2011, las muestras procedían de 231 productores de leche distribuidos en 14 centros de acopio del Valle de Tulancingo, donde las muestras de leche se sometieron al siguiente procedimiento para su análisis.

Muestreo de leche líquida

Las muestras de leche fueron conservadas a 4°C inmediatamente después del ordeño, recolección y/o acopio, se almacenaron en frascos y se colocaron en una hielera con refrigerante hasta su recepción en el laboratorio, con la finalidad de mantener las características fisicoquímicas y organolépticas para obtener resultados con veracidad (COFOCALEC, 2004).

Descripción del proceso de análisis rápido de leche en un equipo Combifoss 6000

El equipo CombiFoss 6000 en la (figura 2), es un analizador combinado que se compone de un equipo MilkoScan FT 6000, un Fossomatic 5000, un Software del sistema 4000 (System Manager con seis aplicaciones), un sistema de pipetas y una cinta transportadora Conveyor 4000, teniendo una capacidad instalada de 200 muestras por hora y 1200 por día (Foss, 2001).

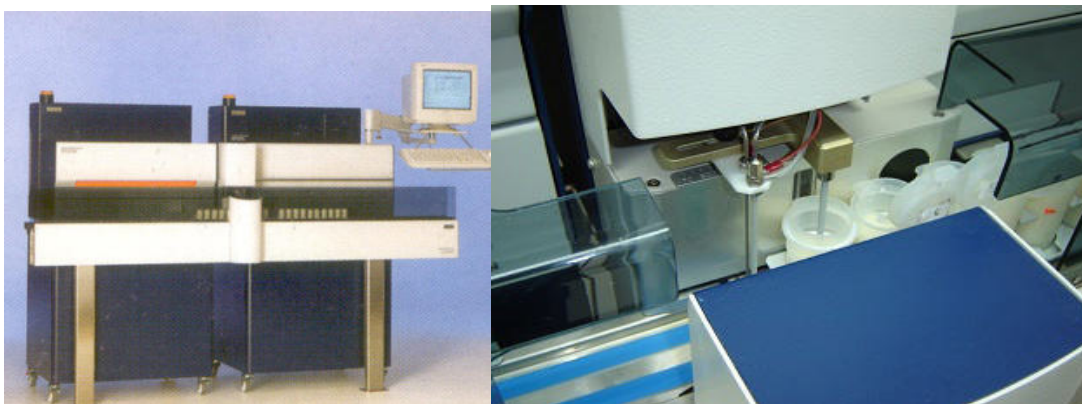


Figura 2. A) Equipo Combifoss 6000 para el análisis integral en leche líquida. B) equipos Milko Scan FT 6000 y Fossomatic 5000.

Principio de funcionamiento del análisis de leche por espectrofotometría con luz infrarroja

La espectrofotometría es un método analítico que utiliza los efectos de la interacción de las radiaciones electromagnéticas con la materia (átomos y moléculas) para medir la absorción o la transmisión de luz por las sustancias y se refiere a los métodos cuantitativos de análisis químico, que utilizan la luz para medir la concentración de las sustancias químicas.

La espectroscopía infrarroja o IR, es vibracional, es una técnica donde se analizan las vibraciones moleculares, cada átomo tiene una masa diferente y los enlaces simples, dobles o triples poseen distinta rigidez, por lo que cada combinación de átomos y enlaces posee su propia frecuencia armónica característica. Anteriormente se obtenían las lecturas, irradiando la molécula con una sola frecuencia de luz infrarroja por vez, utilizándose mucho tiempo porque existe una gran cantidad de frecuencias y debían realizarse muchos barridos para obtener un buen espectro. Con el algoritmo de la transformación de Fourier, puede irradiarse una molécula con cada frecuencia de luz infrarroja a la vez y obtener un espectro perfecto en solo cuestión de minutos.

Milko Scan Ft 6000

Es un espectrofotómetro infrarrojo basado en la técnica FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) de alta capacidad, automatizado de gama media (2 a 10 μm) que se usan para la determinación de los parámetros composicionales en muestras de leche como grasa, proteína, lactosa, crioscopia o punto de congelación de la leche (adulteración con agua o sólidos), sólidos totales aunado a otros componentes como urea, caseína y ácido cítrico que se pueden implementar en el equipo por medio de licencias de software. La medición de cada parámetro de composición de la muestra de leche se realiza en valores porcentuales (%) expresando los gramos del componente por litro de leche (g/L) y en el caso del punto de congelación o crioscopia es a través de la medición de la conductividad y la lactosa. Se utiliza un sistema de infrarrojos con un láser, una cubeta, un detector, filtros fijos realizando una lectura de escaneo del espectro de luz infrarroja; la luz del Interferómetro que contienen las ondas de longitud de entre 2 y 10 mm, se enfoca por medio de un lente. Detrás del lente se encuentra el contenedor o también llamada cubeta donde se analiza la muestra de leche, consiste de dos ventanas de diamante colocadas con un pequeño espacio entre sí con la característica de ser altamente transmisoras de la luz infrarroja y muy resistente a desgaste. La cantidad de luz proveniente del haz formado y que la muestra no absorbe pasa a un detector (Foss, 2001).

Fossomatic 5000

El recuento de células somáticas (CCS/mL) significa el recuento del número de células blancas de sangre en la leche. Las células blancas representan una parte del sistema de inmunidad interna, restaurando los daños causados por bacterias o daños mecánicos causados en el ordeño, indicando que un alto contenido de células somáticas adquiere un elevado riesgo de que la vaca tenga mastitis. El principio de medición se basa en una técnica de tinción del ADN de las células PHA (Pulse Height Análisis) y se contabilizan de forma individual electrónicamente.

La citometría de flujo se basa en hacer pasar un hilo de muestra de leche muy pequeño por debajo de una unidad contadora por medio de un líquido portador (solución Sheath) formando un hilo de muestra muy fino de un diámetro, haciendo pasar la leche en una tubería de PVC en forma de filamento definido, que se logra por la disminución en la cubeta de flujo y una alta presión que permite pasar una célula somática. La muestra de leche también se mezcla con bromuro de etilo como reactivo fluorescente para la tinción del ADN en las células, con la finalidad de que al exponerse a la luz azul emitida en la cubeta de flujo por medio de una lámpara de halógeno, se realice la excitación del colorante, haciendo que la células somáticas emitan luz roja que es detectada, contabilizando las células somáticas con un fotomultiplicador como pulsos de luz (Foss, 2001).

Resultados y discusión

Está bien documentado que en la composición fisicoquímica de la leche intervienen diversos factores entre los que se destacan: ciclo de lactación y alimentación (cantidad y composición) del animal, factores climáticos, hora de ordeño y raza del animal (Alais, 1997; Santos, 1987). Las muestras analizadas fueron de diferentes etapas de lactación, sin embargo no presentan diferencias contrastadas comparando los dos años analizados como se observa en el cuadro 3.

Los valores promedio de los parámetros analizados en los años presentados en el cuadro 3, permiten observar que se han mantenido muy semejantes en estos dos años, la desviación estándar de acuerdo con los valores reportados es mínima por lo cual se puede indicar que la variación es pequeña, esto se puede observar mejor en la figura 3.

Cuadro 3. Composición proximal de la leche del Valle de Tulancingo.

Parámetro (%)	Año	
	2010	2011
Materia grasa	3.40 ± 0.77	3.24 ± 0.67
Proteína	3.10 ± 0.30	2.97 ± 0.30
Lactosa	4.43 ± 0.24	4.45 ± 0.24
Sólidos totales	11.75 ± 0.97	11.51 ± 0.87
Punto de congelación (°C)	-0.558 ± 0.03	-0.559 ± 0.03
Sales minerales	0.82 ± 0.10	0.84 ± 0.15
Sólidos no grasos SNG	8.35 ± 0.43	8.27 ± 0.40

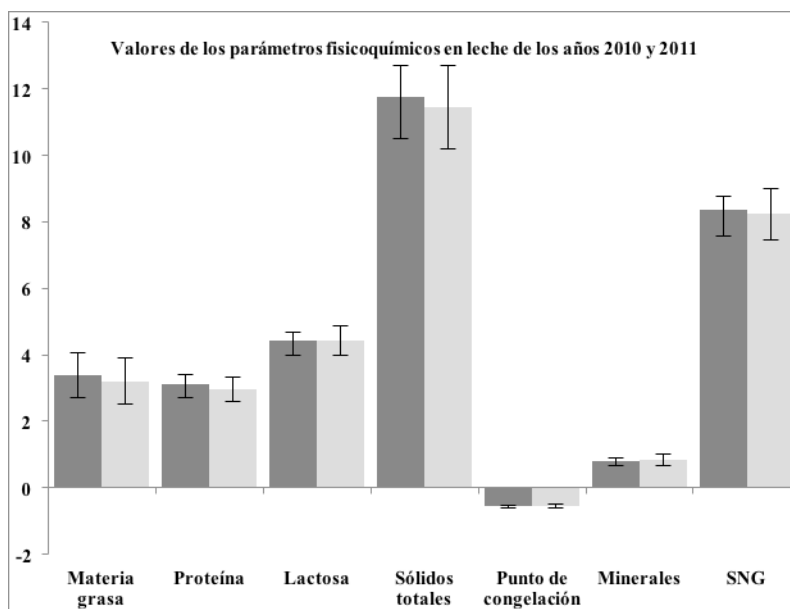


Figura 3. Valores promedio y desviación estándar de los parámetros analizados.

En general el valor promedio de la materia grasa en las muestras analizadas se ubican dentro de los parámetros descritos en la NOM-155-SCFI-2012 (30g/L mínimo) y la NMX-F-700-COFOCALEC, 2004 ($\geq 33\text{g/L}$) ubicándose en la clase A, esto es que al convertir los valores que el equipo expresa en % (3.4 y 3.34) a g/L, y utilizando la densidad mínima de la norma (1,029g/L) tenemos 34.9 g/L en 2010 y 33.3 g/L en 2011. Sin embargo, estos valores promedio se encuentran aún por debajo de lo reportado por Alais, (1997) 3.5%; Porter, (1981) 3.8%; Scott, (1991) 3.75%; Spreer, (1991) 3.7% y Cervantes et al. (2013) 3.52%. El valor mínimo de la

materia grasa para cumplir con el valor con la NOM-155-SCFI-2012 es de 2.92%; por lo tanto en 2010, 82.7% de las muestras cumplieron con la NOM-155-SCFI-2012 y 72.6% en el 2011. Esto se puede observar en el cuadro 4, donde se presentan el valor del intervalo de cada clase, así como su frecuencia observada, siendo 10 clases para el año 2010 y 8 para el 2011.

Cuadro 4. Comportamiento de la materia grasa.				
Clase	2010		2011	
	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada
1	1.22 – 1.99	13	1.62 – 2.29	8
2	2.00 – 2.76	81	2.30 – 2.96	30
3	2.77 – 3.53	423	2.97 – 3.63	75
4	3.54 – 4.30	231	3.64 – 4.30	15
5	4.31 – 5.07	34	4.31 – 4.97	4
6	5.08 – 5.84	7	4.98 – 5.64	2
7	5.85 – 6.61	1	5.65 – 6.31	0
8	6.62 – 7.38	4	6.32 – 6.98	1
9	7.39 – 8.15	1		
10	8.16 – 9.93	1		

De las 796 muestras del año 2010, solo 658 cumplen con las especificaciones de las normas, el resto de las muestras (138) no cumplen dichas especificaciones, quedando por debajo de 2.92 %. Solo 598 de las 135 muestras de leche analizadas en el 2011 cumplen con las especificaciones establecidas en la normatividad, y 37 muestras tienen un contenido menor en materia grasa.

El contenido medio de proteínas del año 2010 y 2011 fue de 3.1% y 2.97% respectivamente, que al convertirlos en gramos/litro tenemos valores de 31.8 y 30.5 (cuadro 3), estos valores cumplen con la NOM-155-SCFI-2012, y la NMX-F-700-COFOCALEC-2004, situándolas en la clase A y B respectivamente, estos resultados están por debajo de los reportados por: Porter, (1981) 3.3; Villegas, (2004) 3.25%; Amiot, (1991) 3.2%; Varnam

y Sutherland, (1995) 3.4%, y ligeramente por encima de lo reportado por Fox y Mc Sweeney, (2003) 2.9%. En el cuadro 5, se muestran las clases, los valores de intervalo por clase así como la frecuencia observada del contenido de proteínas el año 2010 y 2011.

Cuadro 5. Comportamiento de proteínas.

Clase	2010		2011	
	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada
1	1.81 – 2.15	5	4.84 – 2.19	1
2	2.16 – 2.50	9	2.20 – 2.60	5
3	2.51 – 2.84	100	2.61 – 2.90	51
4	2.85 – 3.19	429	2.91 – 3.26	60
5	3.20 – 3.54	194	3.27 – 3.62	16
6	3.55 – 3.88	49	3.63 – 3.97	1
7	3.89 – 4.23	6	3.98 – 4.33	0
8	4.24 – 4.57	2	4.34- 4.69	1
9	4.58 – 4.92	0		
10	4.93 – 5.27	2		

De acuerdo con la NOM-155-SCFI-2012, en el 2010 solo 618 tiene igual o más de 30 g/L y el resto de las muestras (178) están fuera de la normatividad. Para el 2011 solo 58 muestran están por encima de las especificaciones y 77 muestras no cumplen con el mínimo requerido.

La lactosa es uno de los parámetros más estables en la leche donde se obtuvieron valores de 45.5 y 45.7g/L en los años 2010 y 2011 (cuadro 3) en ese orden y sus valores expresados en porcentaje por el equipo fueron de 4.43 y 4.45%, ambos valores cumplen con las dos normas referidas anteriormente. Los valores reportados de lactosa en la leche analizada están por debajo de lo reportado por: Alais, (1997) 4.7%; Porter, (1981) 4.7%; Villegas, (2004) 4.6%; Spreer, (1991) 4.8%; Amiot, (1991) 5.1%; Varnam y Sutherland, (1995) 4.8%; Scott, (1991) 5%. En el cuadro 6 se presentan las clases, los valores de intervalo por clase, así como la frecuencia observada para

el contenido de lactosa en leches analizadas en el año 2010 y 2011.

Cuadro 6. Comportamiento de la lactosa.

Clase	2010		2011	
	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada
1	3.07 – 3.27	5	3.10 – 3.32	1
2	3.27 – 3.50	9	3.33 – 3.50	0
3	3.51 – 3.69	100	3.51 – 3.76	1
4	3.70 – 3.89	429	3.77 – 3.98	3
5	3.90 – 4.10	194	3.99 – 4.20	7
6	4.11 – 4.31	49	4.21 – 4.42	37
7	4.32 – 4.51	6	4.43 – 4.64	57
8	4.52 – 4.72	2	4.65 – 4.86	29
9	4.73 – 4.93	0		
10	4.94 – 5.14	2		

Para el año 2010, 87.7% de muestra analizadas (698) cumplen con la cantidad de lactosa recomendada por la NOM-155-SCFI-2012 y NMX-F-700-COFOCALEC-2004. En 2011, de las 135 muestras analizadas, 123 cumplen con las normas antes mencionadas respecto al contenido de lactosa.

Los sólidos totales en leche son un parámetro no reportado por las 2 normas citadas en este estudio y que representan la suma de las proteínas, materia grasa, lactosa, vitaminas y minerales. Las muestras de leche analizadas en el Valle de Tulancingo, tuvieron un valor promedio de 11.75% en 2010 y 11.51% para el año 2011 (cuadro 3), al sumar los valores mínimos de contenido en materia grasa y sólidos no grasos en la NOM y COFOCALEC, da un valor de 113 g/L que representan 11% de sólidos totales en leche, por lo que se puede decir que la leche analizada presentó valores por encima a los de las normas; sin embargo, aún se encontraron por debajo de lo reportado por Alais, (1997) 12.5%; Fox and McSweeney, (2003) 12.7%; Porter, (1981) 12.5%; Villegas, (2004) 12.15%; Spreer, (1991) 12.7% y Amiot, (1991) 13.1%.

Cuadro 7. Comportamiento de los sólidos totales.

Clase	2010		2011	
	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada
1	7.61 – 8.58	2	7.69 – 8.59	1
2	8.59 – 9.56	15	8.60 – 9.49	0
3	9.57 – 10.53	43	9.50 – 10.39	9
4	10.54 – 11.51	212	10.40 – 11.30	35
5	11.52 – 12.49	408	11.31 – 12.20	67
6	12.50 – 13.46	89	12.21 – 13.10	18
7	13.47 – 14.44	18	13.11 – 140.00	4
8	14.45 – 15.41	6	14.01 – 14.91	1
9	15.42 – 16.39	0		
10	16.40 – 17.37	3		

Al analizar el cuadro 7, encontramos que 83.5% de las muestras analizadas (665 muestras) en el 2010 cumplieron con el porcentaje mínimo de sólidos totales, los valores que estuvieron dentro de la norma están en las clases 4 - 6 en el año 2010. Para el año 2011, 105 muestras de leche también cumplieron con las 2 normas lo que representa 77.8% y se muestran a partir de la clase 4 y hasta la 6, las restantes se salieron del rango recomendado.

El punto de congelación o punto crioscópico (PC) es utilizado en la mayoría de los países como un parámetro para detectar la adulteración de la leche con agua, en las muestras del año 2010 se tuvo un valor promedio de -0.558°C y -0.559°C en el 2011 (cuadro 3), valores que se encontraron por arriba del rango superior de las dos normas citadas que es -0.536°C, estos valores están en función de la lactosa presente y de las sales minerales principalmente, entre más se acerquen los valores a 0°C, mas % de agua tendrá la leche, por lo que se puede presumir que algunas muestras tienen más minerales permitidos que hacen que su PC se aleje del valor normal de la NOM y COFOCALEC.

En el cuadro 8, las clases 4 y 5 para el año 2010, con 690 muestras (86.6%) cumplieron con las normas, y para el año 2011 88.14% de las muestras analizadas estuvieron dentro de los valores permitidos.

Cuadro 8. Comportamiento del punto crioscópico.				
Clase	2010		2011	
	Intervalo de la clase (°C)	Frecuencia Observada	Intervalo de la clase (°C)	Frecuencia Observada
1	-0.701 a -0.664	4	-0.625 a -0.588	6
2	-0.665 a -0.627	2	-0.589 a -0.551	99
3	-0.628 a -0.589	45	-0.552 a -0.514	20
4	-0.590 a -0.552	546	-0.515 a -0.477	8
5	-0.553 a -0.514	144	-0.478 a -0.440	1
6	-0.515 a -0.477	32	-0.441 a -0.403	0
7	-0.478 a -0.439	13	-0.404 a -0.365	0
8	-0.440 a -0.402	3	-0.366 a -0.328	1
9	-0.403 a -0.365	4		
10	-0.366 a -0.327	2		

Los minerales o sales minerales presentes en la leche no se encontraron reportados en la NOM y la COFOCALEC, no obstante se mencionó anteriormente son parte de los valores del punto de crioscópico de la leche y por lo tanto deben tomarse en cuenta. Algunos autores reportan valores que van de 0.7 a 0.9% como son Alais, 1997 (0.8%); Fox and McSweeney, 2003 (0.8%); Villegas, 2004 (0.7%); Spreer, 1991 (0.7%); Amiot, 1991 (0.9%); Varnam y Sutherland, 1995 (0.7%) y Scott, 1991 (0.9%), el valor promedio para el año 2010 fue de 0.82% y 0.84% en 2011, por lo que podría decirse que están dentro del rango. En el cuadro 9, podemos observar que a partir de la clase 4 la mayor parte de nuestras muestras están dentro de los parámetros establecidos y representan el 91.5% con 728 muestras de leche y En 2011, 115 muestras cumplieron con los rangos establecidos lo que representa 85.2% y estos datos se ubicaron de la clase 2 a la 5, los demás valores de las clases permanecieron fuera de rango por lo tanto no cumplieron con los valores establecidos por los autores mencionados con anterioridad.

Cuadro 9. Comportamiento de minerales.

Clase	2010		2011	
	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada
1	0.430 – 0.519	4	0.520 – 0.646	8
2	0.520 – 0.608	8	0.647 – 0.772	31
3	0.609 – 0.697	46	0.773 – 0.898	56
4	0.698 – 0.786	219	0.899 – 1.025	27
5	0.787 – 0.875	309	1.026 – 1.151	8
6	0.876 – 0.964	164	1.152 – 1.277	4
7	0.965 – 1.053	33	1.278 – 1.403	0
8	1.054 – 1.142	9	1.404 – 1.53	1
9	1.143 – 1.231	2		
10	1.232 – 1320	2		

En los sólidos no grasos de la leche analizada se obtuvieron valores de 8.35% en el año 2010 y 8.27% en 2011, estos valores expresados en g/L fueron de 85.92 y 85.09 respectivamente y por lo cual se cumplió con las dos normas analizadas en este trabajo que expresan un mínimo de 83g/L en este parámetro (cuadro 1 y 2). Cervantes y col (2013), reportaron valores de 8.85% para la región de Tulancingo, por otra parte Porter, 1981 (8.7%); Villegas, 2004 (8.65%); Amiot, 1991 (9.2%) reportan valores superiores a los encontrados en el presente trabajo. En el cuadro 10, apreciamos que para el año 2010 nos las clases 5 a la 7 contienen los datos de las muestras que cumplen con las dos normas, que con 633 datos representó el 79.5% del total, por otra parte el 76.3% de los datos del año 2011 que fueron 103 muestras estuvieron dentro de las clases 5 a la 8.

El promedio de células somáticas presentes en la leche analizada fue de 832,179 CCS mL-1 en el año 2010 y 1,068,559 CCS mL-1 en 2011, la ubicaron en la clase cuatro de la norma NMX-F-700-COFOCALEC-2004 como de baja calidad microbiológica (cuadro 2); Cervantes y col (2013) reportaron 764,702 CCSmL-1 para el Valle de Tulancingo. Al comparar los datos obtenidos en el año 2010 con la norma COFOCALEC, se obtuvo que el 41.95% de los datos estaban por debajo de las 400,000 CCS mL-1 con un total de 334 muestras, esto las

ubicó en la clase 1 y considerada como leche de buena calidad, 7.66% (61 muestras) se ubicó en la clase 2, el 15.07% (120 muestras) en la clase 3, el 11.30% (90 muestras) a la clase 4, las restantes 191 muestras (24.02%) superan el millón de CCS mL-1 lo que se considera una leche de mala calidad microbiológica. En 2011, 17.98% (50 muestras) se ubicó en la clase 1; 3.59% (10 muestras) clase 2; 10.43% (29 muestras) clase 3; 5.75% (16 muestras) en la clase 4; finalmente 62.25% de las muestras estuvieron por arriba del millón de CCS mL-1 que al igual que las del año 2010 fueron leche de mala calidad, en la cuadro 11, las muestras que se ubicaron por debajo de las 400000 CCS mL-1 fueron las clases 1, 2, 3 y parte de la 4 en 2010 y las clases 1, 2 y 3 en el año 2011.

Cuadro 10. Comportamiento de sólidos no grasos.

Clase	2010		2011	
	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada	Intervalo de la clase (%)	Frecuencia Observada
1	5.94 – 6.40	4	5.73 – 6.17	1
2	6.41 – 6.86	5	6.18 – 6.62	0
3	6.87 – 7.32	7	6.63 – 7.07	0
4	7.33 – 7.78	35	7.08 – 7.52	3
5	7.79 – 8.25	214	7.53 – 7.96	18
6	8.26 – 8.71	410	7.97 – 8.41	66
7	8.72 – 9.17	101	8.42 – 8.86	41
8	9.18 – 9.63	18	8.87 – 9.31	6
9	9.64 – 10.09	1		
10	10.10 – 10.56	1		

Cuadro 11. Comportamiento de células somáticas.

Clase	2010		2011	
	Intervalo de la clase CCS mL ⁻¹	Frecuencia. Observada	Intervalo de la clase CCS mL ⁻¹	Frecuencia. Observada
1	2100 – 1087000	623	2000 – 1417000	244
2	1087001 – 2153000	110	1417001 – 2832000	24
3	2153001 – 3219000	34	2832001 – 4247000	6
4	3219001 – 4285000	13	4247001 – 5662000	1
5	42850001 – 5351000	9	5662001 – 7077000	2
6	5351001 – 6417000	2	7077001 – 8492000	0
7	6417001 – 7483000	2	8492001 – 9907000	0
8	7483001 – 8549000	1	9907001 – 11322000	0
9	8549001 – 9615000	0	11320001 12737000	1
10	96150001 - 10681000	2		

Conclusiones

Los parámetros fisicoquímicos analizados a la leche del Valle de Tulancingo se ubicaron al menos en el mínimo requerido en las normas NOM-155-SCFI-2012 y NMX-F-700-COFOCALEC-2004, al compararla con otros autores la leche estudiada fue inferior a lo reportado por ellos, y esto puede ser debido a que en el presente estudio, la mayoría de la leche provenía de vacas de la raza Holstein y en la literatura la manejan como leche de vaca en general donde hay mezcla de las diferentes razas. Se podría considerar una leche apta para ser consumida o procesada, lamentablemente las condiciones de ordeño y manejo del ganado hacen que la calidad microbiológica sea deficiente y por lo tanto tenga conteos altos de células somáticas e influir en el proceso y calidad de los productos lácteos.

Bibliografía

- Alais C (1997). Ciencia de la leche, principios de técnica lechera. Décima primera edición, Editorial Reverté. Barcelona, España: p. 18.
- Amiot J (1991). Ciencia y tecnología de la leche, principios y aplicaciones. Editorial Acribia, Zaragoza, España: p. 1-10.
- Badui S (1981). Química de los Alimentos. Tercera edición, Editorial CECSA, México: p. 30-60.
- Cervantes EF, Cesín VA y Mamani OI (2013). “La calidad estándar de la leche en el estado de Hidalgo, México”, en Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias, 4(1):75-86.
- Cuevas RV, Espinoza GJA, Moctezuma LG, Romero SF, Jolalpa BJL, Vélez IA, Vázquez GR (2007). La cadena Agroalimentaria de leche de vaca en el Estado de Hidalgo: diagnóstico y prospección al año 2020, INIFAP, Hidalgo.
- Foss F (2001). Manual de Operación Combi Foss 6000. Cuarta edición. Foss Electric, Dinamarca.
- Fox PF and Mc Sweeney PLH (2003). Advanced dairy chemistry. University College Cork, Ireland 3rd Edition Part A Vol.1: p. 2.
- IDF (1990). XXIII Congreso Internacional de Lechería. Artículo International Dairy Federation, Montreal, Canadá.
- Monroy DR (2010). Análisis de la calidad fisicoquímica y conteo de células somáticas en leche cruda, que se produce en veintidós centros de acopio de la región del Valle del Mezquital. Tesis de licenciatura, Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
- NMX-F-700-COFOCALEC (2004). Sistema producto leche-alimentos lácteos–leche y producto lácteo-fermentado o acidificado–denominaciones, especificaciones y métodos de prueba, México.
- NOM-155-SCFI-2012 (2012). Leche-Denominaciones, especificaciones fisicoquímicas, información comercial y métodos de prueba, Diario Oficial de la Federación, México.
- Porter JWG (1981). Leche y productos lácteos. Editorial Acribia, Zaragoza, España: p. 11.
- sagarpa (2013). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), Boletín de leche enero-marzo 2013. México, DF. Recuperado el 14 de noviembre de 2013 desde: <http://www.siap.gob.mx>
- Santos MA (1987). Leche y sus derivados. Editorial Trillas. México DF: p. 3-15.
- Scott R (1991). Fabricación de queso. Segunda edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España: p. 48.

Spreer E (1991). Lactología Industrial. Segunda edición. Editorial Acribia, Zaragoza, España: p. 15.

Varnam HA, Sutherland PJ (1995). Leche y productos lácteos: tecnología, química y microbiología. Editorial Acribia, Zaragoza, España: p. 2.

Villegas de GA (2004). Tecnología quesera. Primera edición. Editorial Trillas, México: p. 28-29.

Capítulo 8

Uso de los componentes del suero en la industria alimentaria y no alimentaria

Martín A. Meza Nieto^{8*}
Melitón Jesús Franco Fernández¹
Apolonio Vargas Torres¹

Introducción

En este capítulo, se describe la composición bioquímica del suero derivado de la leche bovina, al diferenciar entre suero ácido y suero dulce. Se consideran algunas características de las principales proteínas que conforman el suero láctico. Así mismo, se enfatiza la diferencia entre función y funcionalidad de las proteínas alfa lactoalbúmina y beta-lactoglobulina. Se presenta una revisión bibliográfica de los principales usos de los componentes del suero en la industria quesera, destacando las principales proteínas y el carbohidrato abundante en este efluente; así mismo, en la nutrición animal y en la industria alimentaria. Finalmente se explica el uso de cada una de las proteínas séricas de la leche como una alternativa en la industria alimentaria y otras disciplinas.

Procedencia del suero

La leche que proviene de los animales mamíferos como la del humano, de los bovinos, caprinos, ovinos, búfalos

8 *Martín A. Meza (mezal_68@hotmail.com).

¹ Instituto de Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Tulancingo, Hidalgo, México.

entre otros, contiene, como uno de los componentes principales, 80% de agua. En ella se encuentran disueltos las sales minerales, el azúcar de la leche conocido como lactosa y las proteínas séricas, que como su nombre lo dice pertenecen al suero. Además también se encuentran disueltas otros constituyentes como son algunas enzimas, entre otros componentes. Cuando la leche es sometida a un proceso de coagulación, ya sea de tipo enzimática o ácida sufre diversos cambios, uno de ellos quizás el primordial es interrumpir a la micela caseica (conjunto de proteínas caseicas, α_1 , α_2 , β y κ - caseína) bioquímicamente hablando tocando el punto isoeléctrico (pI) de las mismas provocando la precipitación (Fox y McSweeney, 1998). En otras palabras separando la leche en dos fases físicas: a) Formación del gel fase sólida y b) separación de las proteínas séricas y otros componentes de la leche conocida como la fase líquida, o sea el suero.

De esta manera en la industria láctea es una de las formas más rápidas y sencillas de obtener el suero a partir de la leche de ganado bovino y destinar sus componentes principales, ya sea a la industria alimentaria o no alimentaria.

Características generales del suero o lactosuero

El lactosuero o simplemente suero, es el líquido resultante de la coagulación de la leche durante la elaboración del queso. Se obtiene tras la separación de las proteínas, llamadas caseínas y de la grasa (Spreer, 1991). El suero de leche presenta un color verdoso amarillento, de sabor fresco, débilmente dulce, de carácter ácido con una gran cantidad de constituyentes (Jelen, 2003; Singh et al, 2015). Este líquido constituye aproximadamente 90% del volumen de la leche y contiene la mayor parte de sus compuestos que son solubles en agua. La composición química del suero varía dependiendo de las características de la leche y de las condiciones de elaboración del queso. Su pH oscila entre 5.0-6.0. El agua es el componente más abundante en el suero, constituye 93% o más de este. Le sigue en cantidad el azúcar de la leche, que recibe el nombre de lactosa. Este compuesto se encuentra en una proporción cercana a 5%. Un poco menos de 1% del suero lo constituye compuestos nitrogenados, de las cuales la mitad son proteínas, de alto valor nutritivo, que se clasifican en albúminas, globulinas y una fracción llamada proteosa-peptona (Jelen, 2003; Singh et al., 2015). Otros compuestos del suero son los minerales que se encuentra en concentraciones de alrededor de 0.7%, en mayor cantidad el sodio, el potasio, el magnesio, el cloruro y el fosfato. El suero contiene además las vitaminas hidrosolubles de la leche, de las cuales la más importante es la riboflavina o vitamina B (Linden y Lorient, 1996). En cantidades muy variables aparecen grasa y ácido láctico.

Diferencia entre suero ácido y dulce

El suero obtenido de la leche se puede clasificar por su procedencia en: a) suero ácido y b) suero dulce. La diferencia estriba primordialmente por el uso de enzimas, bacterias ácido lácticas (BAL) o simplemente acidulantes.

El suero dulce, se obtiene a partir de la coagulación de la leche con enzimas como la renina o quimosina (proteasas) que al interrumpir la estructura química de la superficie de la proteína llamada k-caseína, que en su cadena polipeptídica contiene 169 aminoácidos. Esta enzima específicamente actúa sobre el enlace peptídico 105-106 (fenilalanina-metionina), provocando la separación de dos péptidos, el glicomacropéptido (106-169) y la para-k-caseína (1-169). Esta separación da como resultado la precipitación del gel caseíco y la producción de suero comúnmente conocido como suero dulce (Fox y McSweeney, 1998).

Por otra parte, el suero ácido se produce como resultado de la coagulación de la leche con bacterias ácido lácticas (BAL) más la adición de enzimas, las primeras logran transformar la lactosa de la leche en ácido láctico y con ello bajar el pH hasta lo deseado según el tipo de queso a elaborar y la segundas permiten la desestabilización de la k-caseína en el enlace peptídico fenil alanina-metionina. En el cuadro 1, se presentan las características fisicoquímicas de los dos tipos de suero provenientes de leche bovina. El pH del suero dulce, se encuentra cercano a la neutralidad, mientras que la del suero ácido, el pH toma diferentes valores de acidez (Miranda et al, 2009).

Usos del suero láctico

Como se mencionó al inicio del tema se dará primeramente una descripción general del uso del lactosuero en la industria alimentaria, aquel que proviene de un proceso para obtener suero pulverizado, este se puede utilizar en la industria de la “charcutería”, es decir en la industria cárnica, que proviene de la concentración y fermentación láctica, que se puede utilizar en la industria panadera, confitera y de transformación respectivamente. Al suero que se ha sometido a un proceso de desmineralización y el producto obtenido como suero en polvo, se utiliza principalmente en la industria de la transformación y en la elaboración de helados.

Cuadro 1. Características fisicoquímicas del suero de leche: ácido y dulce proveniente de leche de ganado bovino.

Indicador	Suero dulce	Suero ácido
pH	6.62 ± 0.80	4.22 ± 0.50
Acidez, %	0.08 ± 0.02	0.32 ± 0.02
Densidad, g.cm ³	1.03 ± 0.02	1.02 ± 0.01
Materia Seca, %	6.41 ± 0.70	6.40 ± 0.60
Grasa, %	0.33 ± 0.01	0.33 ± 0.02
Proteína bruta, %	0.96 ± 0.04	0.94 ± 0.03
Lactosa, %	4.67 ± 0.04	4.10 ± 0.05
Calcio, %	0.53 ± 0.02	0.51 ± 0.02
Fósforo, %	0.33 ± 0.02	0.31 ± 0.02

Fuente: Miranda *et al*, 2009.

Por otra parte, cuando el suero láctico es sometido a un proceso de cristalización, donde el producto final es la lactosa, esta se puede utilizar en la industria alimentaria como edulcorante, en elaboración de bebidas o en la industria farmacéutica para la elaboración de tabletas. Cuando se ha retirado del suero la lactosa, este se conoce como suero deslactosado, quedando en solución las proteínas del suero, las cuales se pueden utilizar en la industria quesera (Inda, 2000). Otra forma de uso del lactosuero es en la industria no alimentaria, como es el caso de adición de este a los ensilados elaborados con gramíneas u otros productos de desecho como; la cerdaza para la alimentación animal ya sea en la producción de bovinos lecheros o cerdos. En esta última, el suero es proporcionado de forma directa al animal.

A continuación se describe de forma más detallada los usos que este desecho lácteo alimentario tiene a nivel industrial y el impacto que presenta.

Lactosuero como aditivo

Antes de describir los usos del suero de leche o lactosuero, es importante definir que es un aditivo alimenticio: De acuerdo con Codex Alimentarius en 2011, el concepto de aditivo se refiere a cualquier sustancia que,

independientemente de su valor nutricional, se añade intencionalmente a un alimento o bebida con fines tecnológicos en cantidades controladas. Con base en esta definición el suero de leche se puede utilizar como aditivo en la industria no alimentaria, para mejorar la calidad del ensilado de maíz destinado a la alimentación de rumiantes. El ensilado de cualquier gramínea puede ser mejorado adicionando suero de leche como aditivo, el maíz como una de las gramíneas más importantes en México se utiliza como alimento fermentado en la industria lechera.

El maíz al ser ensilado sufre una fermentación de tipo anaerobia, lo que provoca que las BAL que se encuentran presentes en las hojas o tallos de la planta transforman la fructosa en ácido láctico bajando el pH hasta un valor de 4.2, siempre y cuando la capacidad buffer y la concentración de carbohidratos solubles sean ideales, este proceso lleva aproximadamente entre 20- 25 días ((Weinberg y Muck, 1996; Merry et al., 1997).

El suero de leche se puede adicionar al ensilado de maíz, ya sea de manera directa o de forma deshidratada. Cuando se adiciona de forma directa, Evangelista y Ortega (2006), recomiendan la adición de hasta 75 mL de lactosuero por kg de ensilado de maíz, mejorando algunas características del ensilado como la acidez y el contenido de humedad del mismo. Cuando se adiciona en forma deshidratada o en polvo se ha demostrado que la incorporación de 1.0 % de suero al ensilado de maíz, se produjo un incremento de leche de hasta 6.5 % y una ganancia de peso de 7.0 % en becerras Hosltein (Schingoethe, 1975).

Para el caso de ensilado elaborado con cerdaza se recomienda 89.5 % de esta excreta en base húmeda con 10 % de sorgo o maíz molido y 0.5% de suero de leche (Salazar, 1999).

Ventura-Canseco (2012), demostraron que la adición de 25% de suero de leche al ensilado elaborado con 15% de melaza y hojas de zacate limón (*Cymbopogon citratus*), la producción de ácido láctico fue de 2.8 g kg⁻¹ de materia seca. Con estas investigaciones se demuestra que el suero de leche se puede utilizar para mejorar las características químicas del ensilado elaborado con diversos productos en la alimentación animal.

Lactosuero en la alimentación animal

En la industria lechera o en la porcina es muy común utilizar diversos subproductos que se obtiene en la industria alimentaria para la alimentación animal; el suero de leche es uno de ellos que por sus características fisicoquímicas y fácil manejo es utilizado como práctica en la alimentación de cerdos de engorda en etapa de crecimiento y desarrollo; así mismo, se utiliza para la alimentación de becerras en crecimiento. Sin embargo, es necesario conocer químicamente como se encuentran las proteínas del suero, dependiendo del grado de acidez

o de basicidad, para ser utilizadas por los animales domésticos en las diversas industrias de interés zootécnico.

La utilización de las proteínas del suero de leche dentro del intestino delgado de los animales depende principalmente del manejo de este, y del pH (grado de acidez o basicidad) en que ellas se encuentran; este último determina la forma de como las proteínas se encuentran disueltas en el suero. Un suero lo suficientemente ácido con valores de pH menores a 3.5, las proteínas son: β -Lactoglobulinas (β -LG) se presentan como monómeros, a pH entre 6.5 y 6.7 es decir al pH de la leche las proteínas β -LG se encuentran como dímeros, pero a pH alcalinos 7.5 las proteínas β -LG del suero son monómeros (Fox y McSWeey, 2003).

Con estos conocimientos el productor podrá fácilmente distinguir la procedencia de los diferentes tipos de sueros (ácidos o dulces) y manejarlos dentro de la alimentación animal para su mejor aprovechamiento de los animales de interés zootécnico.

Un suero ácido para poder ser consumido de forma directa y a libertad por el animal es recomendable primeramente modificar su pH o neutralizarlo con hidróxido de amonio hasta alcanzar una solución básica donde el pH sea entre 7.5 y 8.0, con esto se asegura que el animal consuma las proteínas y estas sean mejor aprovechadas por él, logrando mayor consumo y ganancia de peso (Delay, 1981).

Por otra parte, un suero dulce puede ser consumido de forma directa y a libertad por parte de los animales, siempre y cuando el pH se encuentre cercano al neutro (pH=7.0), de no ser así se recomienda que también deberá de elevarse el pH o neutralizarse hasta lograr una solución alcalina (pH= 8.0), con esto se favorece el consumo por parte del animal y se pueden obtener mejores resultados.

Con base en estos conocimientos de forma general se puede recomendar el uso de suero de leche derivado de las industrias queseras, ya sea dulce o ácido en la industria ganadera, siempre y cuando se maneje de manera adecuada, considerando la cantidad de lactosa presente, la acidez, así como los minerales, ya que altas concentraciones de estos últimos provocan problemas metabólicos como volúmenes mayores de producción de orina. La alta concentración de lactosa es la causante de diarreas mecánicas en los cerdos.

El consumo directo de suero ácido puede provocar el desgaste de los dientes de los cerdos y bovinos.

Uso del lactosuero en la elaboración de requesón

En la industria quesera es muy común utilizar parte del suero obtenido en la elaboración de diversos quesos (fresco, mozzarella, cheddar, etc), para la elaboración de diversos productos conocidos como requesón, rocottone o ricotta (Inda, 2000). Sin embargo, el tipo y la calidad de los productos finales dependen de la concentración de

proteína presente. En esta sección utilizaremos el término requesón para referirnos a los productos obtenidos a partir del suero de leche.

En el cuadro 2, se muestra la composición de las proteínas más importantes del lactosuero, independientemente de su procedencia.

Para su mayor comprensión se puede observar en el cuadro 2, que el suero contiene aproximadamente 50% de proteína total en forma de β -LG y de 25.0% de α -Lactoalbúmina, proteínas importantes para la elaboración de productos elaborados a partir de lactosuero ácido o dulce.

En la elaboración del requesón es muy importante el manejo de la temperatura, para promover la desnaturalización de las proteínas séricas, a través de la ruptura de los enlaces disulfuro (S-S) o las reacciones SH/S-S efectuadas entre algunos aminoácidos. Este proceso ocurre cuando el suero es calentado a temperaturas superiores a los 80-90°C, dando lugar a las proteínas del suero a aglomerarse y así producir el requesón. Sin embargo, existen otros factores importantes a considerar en la elaboración de requesón, tales como la concentración de Ca^{+2} y el pH de la solución sérica, los cuales influyen en el rendimiento de esta y en costo del mismo (Robinson et al., 1976).

Cuadro 2.- Composición de proteínas de lactosuero de diferente procedencia

Tipo y concentración de proteína de suero	
Proteína	Concentración (g/Lt)
β -Lactoglobulina	3.2
α -Lactoalbúmina	1.2
Inmunoglobulinas	0.8
Albúmina Sérica Bovina	0.4
Lactoferrinas	0.2
Lactoperoxidasa	0.03

Fuente: Van der Schans, citado por Rechinós et al., (2006).

Cuando se elaboran requesones con tratamiento térmico y acidificación sin uso de cuajo, ellos son poco elásticos y más o menos firmes, esto es debido a la desnaturalización de las proteínas séricas y a la precipitación de ellas por llegar a su punto isoelectrico ($pI=5.3$) al adicionar el ácido (acético, cítrico, láctico y fosfórico grado alimenticio), dan como resultado un coagulo precipitable.

Para obtener un mayor rendimiento de requesón a partir de suero láctico, es necesario considerar la procedencia del mismo y ajustar la acidez o pH a valores entre 6.3 y 6.6 con algún álcali grado alimenticio (NaOH) a una temperatura por debajo de 65°C, posteriormente elevar la temperatura en rango de 71 a 101°C y reajustar el pH entre 4.95 y 5.35 con ácidos para su precipitación de las proteínas (Robinson et al., 1976), bajo estas condiciones se obtienen requesones con características ácidas.

Existe otra forma de obtener un mejor rendimiento de requesón mediante la adición de leche, siempre y cuando esta sea adicionada antes de inactivar térmicamente el cuajo residual y después de haber neutralizado el lactosuero. De no hacerlo así se corre el riesgo de que las proteínas caseicas contenidas en la leche coagulen antes de tiempo y la práctica de adición de leche se vea desfavorecida en el rendimiento de requesón. Para inactivar el cuajo residual del lactosuero es necesario tratarlo térmicamente a una temperatura de 62°C-65°C durante 25-30 minutos, siempre y cuando el pH no sea inferior a 6.6 (Harper y Lee, 1975). Resultados satisfactorios se encontraron cuando se elaboró requesón a partir de lactosuero proveniente de la elaboración de queso Cheddar, con una acidez inicial de 5.5 y neutralizado con $Ca(OH)_2$ a $pH \sim 6.8$, se obtuvo un rendimiento de 3.61% (Mathur y Shahani, 1981).

Algunos autores recomiendan adicionar 3.0% de leche entera, dando como resultado un aumento de ricotta de 7.0%, es decir por cada 10 Lt de suero se adicionará 300 mL de leche entera (Franchi, 2010).

Otra opción para la elaboración de requesón a partir del lactosuero es el uso de Ca^{+2} , en forma de $CaCl_2$ en sustitución al ácido adicionado al lactosuero para obtener mayor rendimiento. En este caso existe una desnaturalización de las proteínas séricas, fenómeno conocido en química de proteínas como “Saltin Out” o “desestabilización salina”. El Ca^{+2} adicionado al lactosuero interactúa con los aminoácidos cargados eléctricamente de las proteínas, obstaculizando las interacciones proteína-agua, lo cual promueve la floculación de las mismas. El requesón obtenido por esta forma presenta características de textura más firme, menos ácido y con mayor contenido de calcio.

A continuación se muestra un diagrama (figura 1), para la elaboración de requesón con adición de calcio y leche entera bajo condiciones de temperatura y neutralización.

Como se observa en la figura 1, la adición de leche, NaCl y el proceso de pasteurización se encuentran marcados con flechas de línea punteada, lo que significa que en el proceso estos pasos son opcionales, y dependerá del tipo y rendimiento de requesón que el productor desee obtener como producto final, así como de la exigencia del consumidor.

Después del empacado, es conveniente almacenar el producto a una temperatura de $\sim 3.0^{\circ}\text{C}$, ya que por ser un alimento perecedero su vida de anaquel es de aproximadamente cinco días. Para aumentar la vida de anaquel, el requesón se puede someter a varios procesos y generar diversos tipos; así que cuando este es salado, prensado y ligeramente secado, se obtiene un requesón salado (*ricotta salata*), similar a un queso duro. Cuando se somete a un proceso de ahumado se obtiene un requesón (*ricotta affumicata*) de color ligeramente pardo y sabor característico.

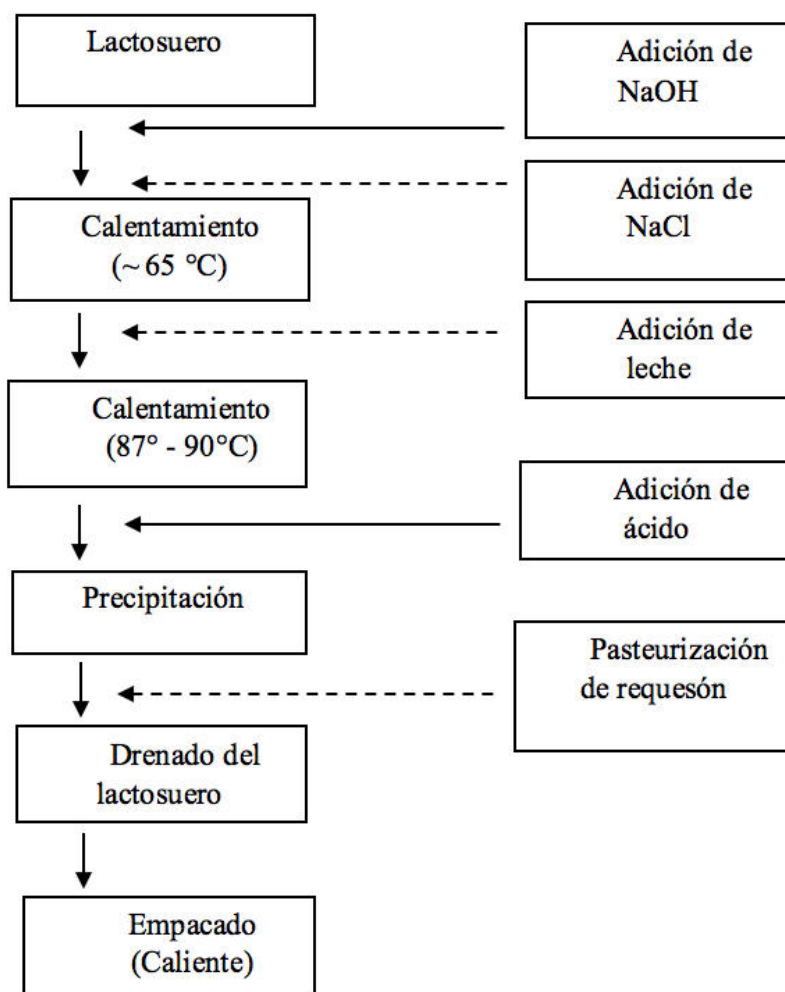


Figura 1. Diagrama de flujo para la elaboración de requesón de forma artesanal con adición de aditivos y leche entera. Fuente: Adaptado de Weatherup, 1986).

Una horneada ligera da un requesón (ricotta informata) típico de la región del mediterráneo. Por otra parte, al someter el requesón (ricotta scanta) por periodos largos de salado y con el control de la acidificación se obtiene un producto ligeramente amargo, intenso y picante (Franchi, 2010).

Uso del lactosuero en la elaboración de bebidas

El suero obtenido principalmente de la elaboración de quesos destinado para la elaboración de bebidas se puede destinar para producir bebidas con alcohol y sin él.

El suero de leche cobra importancia para la elaboración de bebidas por su elevado contenido de proteína de alto valor biológico debido a su composición por los aminoácidos triptófano, lisina y aminoácidos azufrados. Además se encuentran en él, minerales donde sobresale el potasio, seguido de calcio, fosforo, sodio y magnesio; también cuenta con vitaminas del grupo B como tiamina, ácido pantoténico, riboflavina, piridoxina, ácido nicotínico, cobalamina y ácido ascórbico y cantidades suficientes de lactosa (Londoño et al., 2010).

Bebidas no alcohólicas a partir de suero ácido y dulce

Las bebidas elaboradas a partir de estos dos tipos de suero, se inicia con el proceso de retirar las proteínas séricas, en otras palabras la desproteinización; la cual se realiza mediante tratamiento térmico a temperaturas entre 90 y 95°C y la adición de un acidulante como por ejemplo el ácido tánico a una razón de 0.7-1.0 g/L para obtener una acidez final entre 18 y 27° Dornic (Valencia, 2009). Sin embargo, también y no es excluyente elaborar una bebida con suero dulce o ácido sin retirar las proteínas séricas y obtener una bebida con alto valor proteico y energético, pero sin lactosa (hidrolizado) destinado para una población infantil o para aquellas personas intolerantes a la lactosa.

Una opción para preparar una bebida de lactosuero consiste principalmente en tomar proporciones 1:1 (una parte de suero y una parte de agua purificada) o 3:6 y añadir 8% de azúcar y 10% de jugo de alguna fruta de cítricos, u otra fruta como piña, maracuyá, mango etc. Posteriormente pasteurizarla y envasarla en caliente, es decir a temperatura de 70°C en recipientes de plástico o vidrio hermético. Es recomendable agregar benzoato de sodio como conservador a razón de 0.1% (Inda, 2000). En los cuadros 3 y 4, se muestra el contenido de nutrientes para la elaboración de dos bebidas elaboradas con lactosuero dulce y ácido.

Cuadro 3. Ingredientes sugeridos para elaboración de una bebida de suero con alto contenido energético

Ingredientes	Cantidades
Lactosuero (hidrolizado)	30%
Azúcar	8%
Ácido cítrico/citrato de sodio	Cantidad para obtener un pH (3.0-3.9)
Saborizante	Cantidad mínima necesaria
Benzoato de sodio	0.1%
Hidrocoloides	Cantidad mínima necesaria
Agua	60%

Fuente: Torres *et al.*, 1989

Cuadro 4. Ingredientes sugeridos para elaboración de una bebida de suero desproteinizado con alto valor energético

Ingredientes	Cantidades
Lactosuero desproteinizado	40%
Azúcar	8%
Jugo de frutas ácidas	10%
Benzoato de sodio	0.1%
Agua	40%

Fuente: Torres *et al.*, 1989

Preparación de una bebida de suero con adición de bacterias lácticas

Para preparar una bebida a partir de suero ácido o dulce desproteinizado, el paso siguiente es calentar el suero (deslactosado o no) a 70 °C por un espacio de 10 minutos, esto con la finalidad de eliminar las impurezas y poder llevar a cabo la filtración de este y se procede a la adición de bacterias ya sea con un cultivo láctico usado para

la fabricación de yogurth o con bacterias como *B. bifidum*, *Lb. Acidophilus* ó *Sc. Lactis* (levadura) e incubar a 44 °C por 4 -7 horas o hasta alcanzar un pH de 4.3 y finalmente ajustarlo con ácido cítrico a pH 4.0 para su final adición de concentrados de frutas cuidando los grados Brix, para su posterior pasteurización (Valencia, 2009).

Otra forma de elaborar una bebida a partir de suero dulce fresco estandarizado a 1.0% de grasa con adición de crema y someterlo a calentamiento hasta alcanzar 45°C, temperatura a la cual se le adiciona jarabe de azúcar y como estabilizador carboximetil celulosa al 0.1%. La solución es pasteurizada a 85 °C por 15 minutos, se enfría hasta alcanzar una temperatura de 41 °C para su posterior inoculación con *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* y *Lactobacillus. casei* hasta alcanzar un pH de 5.8. Finalmente se adiciona la fruta al 10 % y se envasa (Londoño et al., 2010).

Finalmente, existe una bebida conocida en Suiza como Rivella, que desde 1952 se comenzó a fabricar y que en 1985 en Holanda y Canadá inició su producción con gran éxito. El proceso básico para la elaboración de esta bebida incluye, suero dulce desproteínado con adición de bacterias lácticas, con su posterior filtración y condensación para obtener una concentración en proporción 7:1 del volumen inicial, se adiciona azúcar y saborizantes, así como ácidos (cítrico o tartárico), se hace una segunda filtración, se diluye y se inyecta dióxido de carbono, finalmente el producto es pasteurizado y embotellado. La bebida final contiene 9.7% de sólidos totales, 0.125% de nitrógeno total y con un pH de 3.7 (Franchi, 2010).

Bebidas alcohólicas a partir de lactosuero

En este apartado hablaremos de la utilización de un componente principal del suero dulce o ácido; conocido como el carbohidrato que le da el sabor “dulzón” a la leche, de igual forma se lo da al suero conocido como lactosa. Este carbohidrato puede ser utilizado por levaduras como *Kluyveromyces fragilis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Saccharomyces cerevisiae* y *Saccharomyces lactis* para producirse una bebida alcohólica a partir de suero de leche con un valor entre 0.5 y 1.5% de alcohol. Las bebidas que se pueden elaborar a partir de lactosuero pueden ser: cerveza, algunos tipos de vino, como un tipo de vino espumoso parecido al Champagne. El proceso consiste a partir de suero principalmente dulce, aunque también se puede obtener la bebida con suero ácido, independientemente de su procedencia el suero se somete a un proceso de descremado (menos de 0.05%), seguido de la separación proteica (suero desproteinado). A esta solución se somete a un proceso de pasteurización y se enfría a 20°C para incorporar azúcar en forma de jarabe estandarizado al 50% y se adiciona ácido cítrico

en solución al 10%. Posteriormente y a la misma temperatura se inocula con *Saccharomyces cerevisiae* en un porcentaje entre 0.5 y 1.0%, se deja fermentar por un espacio de 16 horas a temperatura entre 22-30°C, se agregan los agentes saborizantes (concentrado de frutas o sabores). Finalmente se embotella y se pasteuriza nuevamente, para obtener una bebida de suero con bajo contenido de alcohol entre 0.5 a 0.7% (Valencia, 2009).

Condor et al,(2000) prepararon una bebida con alcohol a partir de suero de queso desproteinado utilizando *Kluyveromyces fragilis* o *Kluyveromyces marxianus* y obtuvieron una bebida clarificada utilizando tierra de diatomeas (1kg/m²) para su clarificación, la cual tuvo una buena aceptación por parte de los consumidores por tener propiedades de hasta 11.47°GL (grados Gay Lussac) y 0.48g/L de acidez expresado en ácido acético.

Uso del lactosuero en la industria confitera y panadera

Con relación a estas dos industrias de producción de alimentos el uso del suero proveniente de la industria quesera, cobra importancia para la elaboración de diversos productos destinados al consumo humano.

En la elaboración de pan el suero dulce principalmente se puede adicionar de forma directa, con el objetivo de sustituir el agua y al mismo tiempo la adición de nutrientes para el enriquecimiento del producto final. De la Cruz, (2009) elaboró panes de caja adicionando 82.54% de harina de trigo (*Triticum aestivum*), 13.92% de harina de flor de quinoa (*Chenopodium quinoa* Will) y el 3.54% de suero en base húmeda, siguiendo los procesos necesarios para la elaboración de este tipo de pan, finalmente se obtuvo un producto con una buena aceptación sensorial, así como una vida de anaquel de hasta 11 días.

El suero lácteo en polvo es utilizado en la industria del pan, el cual es añadido como complemento a la harina, de esta forma se genera un pan más nutritivo (mayor cantidad de proteínas) y con propiedades organolépticas distintas al pan tradicional (Franchi, 2010).

Güemez et al., (2009) adicionó suero de leche comercial y precipitado por calor al 10 y 15% en la elaboración de pan tipo “concha”, este tipo de pan fue más firme con suero lácteo comercial que con suero precipitado por calor.

Con relación a usar el suero de leche en la industria confitera, es importante decidir que componente alimenticio presente en el suero de leche se desea utilizar para la elaboración de productos para conferirle sabor específico o alguna propiedad reológica final. Así se tiene que el suero de leche dulce conteniendo todos sus componentes se puede utilizar entre 0.2 y 0.4% en la elaboración de caramelos duros. Para la elaboración de chocolates de leche

y dulces de leche se puede adicionar 0.5% de suero desmineralizado, dando al producto final sabor y color. En cuanto al uso de proteína de suero, Foegeding y Luck (2002), estos son utilizados como concentrados de proteínas de suero o aislados de proteínas de suero, que por sus siglas en inglés son (WPC) o (WPI) respectivamente. El porcentaje de concentración de proteína de suero puede ser variable dependiendo del producto a elaborar. Flint (2003) empleo WPC34 y WPI 20% en la elaboración de caramelos, determinando que en el producto final los caramelos presentaron mejor color, sabor y textura por lo que fueron aceptados por los consumidores.

Alfaifi y Stahopoulos (2010), utilizaron WPC 80 a diferentes concentraciones 20, 50, 80 y 100% como sustituto de yema de huevo al 4.5 y 9.0% para la elaboración de helado Gelato. Encontraron que, en ambos niveles, a mayor porcentaje de WPC se incrementó el volumen debido al aumento en la formación de células de aire y se mejoraron las características de textura, pero con la sustitución de 100% se aumentó el número de cristales de hielo. En los ensayos con 4.5% de yema la viscosidad disminuyó, lo que atribuyeron al menor contenido de grasa en comparación con los ensayos con 9% de yema.

Es recomendable considerar la concentración de lactosa y proteína de suero para la elaboración de productos congelados, para obtener un producto final con características deseables para el consumidor. Vanegas y López (2008) recomienda el empleo de WPC y caseinatos, debido a que presentan el mejor perfil de proteína y baja concentración de lactosa.

Para la elaboración de dulce de leche, se puede utilizar suero dulce o ácido desmineralizado o WPC34 al 0.5% respectivamente, en relación a sólidos totales, con esta concentración se mejora el producto en color y sabor, así como el costo beneficio.

Producción de lactosa y su uso

El suero de leche independientemente de su procedencia contiene componentes de interés nutricional. Si estos componentes no son utilizados o tratados adecuadamente pueden significar un gran foco de contaminación ambiental, debido a la gran materia orgánica presente en esta. En ese sentido, la lactosa es el principal agente contaminante del suero de leche, ya que se encuentra a una concentración de aproximadamente 50 gramos por litro y su poder contaminante, se establece mediante dos parámetros principalmente: la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO).

El parámetro (DBQ), mide el grado de contaminación del efluente (en este caso suero) cuantificando el

oxígeno requerido por determinados microorganismos para poder oxidar el efluente en estudio, así que mientras mayor sea el oxígeno requerido por los microorganismos, mayor será el nivel de contaminación del residuo. Por otra parte, la demanda química de oxígeno (DQO) hace referencia a la cantidad de materia orgánica susceptible a ser oxidada por medios químicos, al igual que la DBO, a mayor oxígeno utilizado en la oxidación del residuo, mayor es su nivel de contaminación. Usualmente la DQO tiende a ser el doble del valor de la DBO. Con base en lo anterior descrito cobra importancia el aprovechar la lactosa como uno de los componentes del suero de leche (Franchi, 2010).

Para su mayor comprensión sobre el uso de la lactosa, es indispensable que el lector conozca bioquímicamente de que está constituido este azúcar. Fox (1998), define a la lactosa como un disacárido constituido de galactosa y glucosa unido por enlace glucosídico β -1,4 su nombre sistemático es β -O-D-Galactopiranosil-(1,4)- α -D-glucopiranososa (α lactosa) o β -O-D-Galactopiranosil-(1,4)- β -D-Glucopiranososa (β -glucosa).

Con base a los componentes de la lactosa, esta se puede utilizar en el área farmacéutica como excipiente para comprimidos, aditivo para medios de cultivo y en la industria alimentaria; como alimentos para bebés, productos de repostería y confitería. En la industria farmacéutica, la lactosa que debe estar presente es la α -lactosa monohidratada a una concentración del 97%. Los productos que se pueden obtener a partir de este tipo de lactosa son: jarabe hidrolizado, el cual debe hidrolizarse al menos el 75% de lactosa, para evitar cristalización, lactitol, tiene un poder laxante, ya que no es digerido por el humano, uno de sus principales usos es para la prevención de caries, así como emulsificante (palmitato de lactitol), lactulosa al igual que el lactitol tiene un poder laxante y su aplicación es en la elaboración de alimentos de humedad intermedia como sustituto parcial de jarabes de alta fructosa y sacarosa. Actualmente el uso de la lactulosa es como factor bifidogénico en yogurth y leches fermentadas en una concentración del 0.5% (Valencia, 2009).

Por otra parte, la glucona- δ - lactona, se puede utilizar en la industria quesera para la elaboración de quesos frescos (ranchero o fresco), adicionando pequeñas cantidades para mejorar el sabor, así como para aumentar la vida de anaquel de estos productos.

Conclusión

La industria transformadora de la leche puede proporcionar materia prima la cual es considerada un efluente contaminante como es el suero de leche. Sin embargo, para otras industrias esta materia es muy valiosa para generar diversos productos, tanto para la alimentación animal, humana y farmacéutica entre otras. En otras palabras la producción de productos lácteos tiene un buen avance en tecnologías a gran escala, pero aún no se han explotado tecnologías capaces de hacer crecer a las pequeñas y medianas empresas lácteas. Dichas tecnologías debieran ser pensadas para la elaboración de productos con componentes lácteos de gran valor agregado, además de ofrecer alternativas novedosas y amigables con el medio ambiente.

Bibliografía

- Alfaifi, M. S. and Stahopoulos, C.E. (2010). Effect of Egg Yolk Substitution by Sweet Whey Protein Concentrate (WPC), on Physical Properties of Gelato Ice Cream. *International Food Research Journal*. 17:787-93.
- Codex- Alimentarius. General Standar for Food Additives CODEX STAND (2011)
- Condor, R.G., Meza, V.C y Ludeña, F.U. (2000). **“Obtención de una bebida fermentada a partir de suero de queso utilizando células inmovilizadas de *Kluyveromyces marxianus*”, en *Revista Peruana de Biología*. 7(2):71-86**
- De la Cruz,Q.W.H. (2009). Complementación proteica de harina de trigo (*Triticum aestivum* L.) por harina de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) y suero en pan de molde y tiempo de vida útil. Tesis profesional. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima Perú. 1-148
- Delay, R. (1981). Recent developments in the utilization of whey.Cultured Dairy Products J. 16:3. 11-22.
- Evangelista, L.M. y Ortega, M.J.A. (2006). Mejora del proceso de ensilaje de maíz por adición de lactosuero. Tesis Profesional. uaeh.
- Flint, M.P. (2003). Comparison of Sweetened Condensed Skim Milk and Whey Protein Ingredients in Caramels. Raleigh, North Carolina, USA: North Carolina State University.
- Foeding, E.and Luck, P. (2002). Whey protein products. In: Caballero, B.,L.Trugo, P.Finglas. *Encyclopedia of Foods Science and Nutrition*. Academic Press, New York. 1957-1969.
- Fox. P.F. and McSweeney, P.L.H. (1998). *Dairy Chemistry and biochemistry*. Department of food chemistry. University Collage .Cork, Ireland.
- Fox, P.F.(2003). *Advanced dairy Chemistry*. Volume 1 Proteins.third edition. Part B.
- Franchi, M.O. (2010). Suero de leche propiedades y usos. *Innovación a la industria Láctea*.
- Güemez, V.N., Totosaus, A., Hernández, C.J.F., Soto, S. y Bolaños, A. E. N. (2009). Propiedades de textura de masa y pan dulce tipo “concha” fortificados con proteínas de suero de leche. *Cienc. Tecnol. Alimen. Campinas*. 29(1): 70-75.
- Harper, J. and C. R. Lee. (1975). Residual Coagulants in Whey. *J.Food Sci*. 40:282-284.
- Inda-Cunningham. A. E. (2000). Optimización de Rendimientos en la Industria Quesera. Organización de los Estados Americanos. OEA.
- Jelen, P. (2013).Whey processing. Utilization and products. In:H.Roginski,J.W., Fukuay and P. F. Fox.

Encyclopedia of Dairy Science. Academic Press London. UK. 2739-2745

- Linden, G. and D. Lorient. (1996). Bioquímica Agroindustrial: revalorización alimentaria de la producción agrícola. Editorial Acribia, Zaragoza. España.
- Londoño, M.M., Sepúlveda, J.U y Hernández, A. (2010). Ciencia y Tecnología de Alimentos. 20 (2):54-57.
- Mathur, B. N. y K. M. Shahani. (1981). Ricotta Cheese Could Be Your Best vehicle For Whey. Dairy Field, 164(11):110-112,114.
- Merry, R.J., Lowes, K.F., & Winters, A. (1997). Current and future approaches to biocontrol in silage.p. 17-27, in: Jambor et al., 1997.
- Miranda, M.O., Ponce, P.I., Fonseca, P.P.L., Cutiño, E.M., Díaz, L.R.S. y Cedeño, A.C. (2009). “Características Físico-químicas de sueros de queso dulce y ácido producidos en el combinado de quesos de Bayamo”, en Rev. Cub. Aliment. Nutr. 19: (!): 21-25.
- Rechinos, R., Saz, G. y Rico, P. (2006). Caracterización del suero lácteo y diagnósticos de alternativas de sus usos potenciales en el Salvador. Universidad el Salvador.
- Robinson, B. P., Short, J. L. y K. R. Marshall. (1976). Traditional lactalbumin manufacture, properties and uses. N.Z.J. Dairy Sci.Technol. 11:114-126.
- Salazar, G. G. (1999). Uso y manejo de excretas de cerdos en la alimentación animal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. Folleto Técnico No.1.
- Singh, Y.J.S., Yan. S., Pilli, S., Kumar,L., Tyagi, R.D., and Surampalli, R.Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. Biotechnology Advances.33:756-754.
- Schingoethe, D.J. (1975). Feeding value of corn silage containing added urea and dried whey. J. Dairy Science. 196-201.
- Spreer, E. (1991). El lactosuero y su aprovechamiento en Lactología Industrial. Ed. Acribia. España, pp. 527 – 549.
- Torres, C.C., Cardoso-Brandão, S.C. y A. J. Rezende-Pinheiro (1989). Desenvolvimento de bebidas de baixo custo com sorode queijo. Rev. Inst. Latic. Cândido Tostes 44(261-266):71-84.
- Valencia, M. del C. J. (2009). El suero de leche y sus posibles aplicaciones. Parte 1/3. Mundo Lácteo y Carnico. 4-6

- Vanegas, A. y López F. N. (2008). Optimizando las Formulaciones de Helados: Mejores Ingredientes, mejores rendimientos. *Revista I Alimentos*. 7:26-9.
- Ventura-Canseco, L.M.C., Mendoza Nuñez, J.A., Abud-Archila, M., Oliva-Llaven, M.A., Luc, D. and Gutiérrez-Miceli, F.A. (2012). Sugarcane Molasse and Whey as Additives in the Silage of Lemongrass (*Cymbopogon citratus* [DC.] Stapf) Leaves. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 72(1): 87-91
- Weatherup, W. (1986). The effect of processing variables on the yield and quality of Ricotta cheese. *Dairy Ind. Int.* 51(9):41, 43, 45.
- Weinberg, Z.G., & Muck, R.E. (1996). New trends and opportunities in the development and use of inoculants for silage. *FEMS Microbiol. Rev.*, 19: 53-68.

Tópicos agropecuarios
se diseñó en formato electrónico en la Dirección de Ediciones
y Publicaciones con el apoyo de la Imprenta Universitaria y la Dirección
de Tecnologías Web y Webometría de la Universidad Autónoma
del Estado de Hidalgo, en el año 2025.

Tópicos agropecuarios surge como una propuesta dirigida a interesados en el sector agrícola, forestal y agroindustrial, actividades históricas e innegables en la economía de Tulancingo. Este libro aborda la importancia de los recursos forestales ya que estos proporcionan servicios ambientales no tangibles como la amortiguación de las temperaturas extremas, la producción de oxígeno, la belleza escénica, el refugio para fauna silvestre, el almacenamiento de carbono en beneficio de la humanidad; este último de considerable importancia debido al cambio climático.

Se hace una reseña de la leche con alto contenido nutritivo y los criterios que debe cumplir para considerarse como un producto de calidad. Se ofrece una excelente guía sobre las metodologías implementadas para la evaluación de la calidad de la leche.

El suero, considerado como un efluente contaminante, es revisado y se plantean los alcances que suele tener pues puede emplearse en panadería, confitería, como edulcorante o aditivo, en la alimentación animal, la industria quesera y de bebidas, entre otros usos.

Finalmente se realiza una revisión del aprovechamiento de los procesos agroindustriales, los cuales integran la producción primaria agrícola, pecuaria o forestal. Estos recursos agroindustriales son susceptibles del aprovechamiento para obtener otro producto con valor económico, además de que propicia evitar contaminantes de suelo y agua, deterioro ambiental y pérdidas de materiales con alto potencial biotecnológico.

Este libro pretende servir de inspiración para que más personas se interesen por los recursos agrícolas, forestales y agroindustriales, y los ya involucrados adquieran experiencias y conocimientos para la conservación, el manejo, los beneficios y servicios ambientales que se obtienen de estas actividades económicas.

