

## Reconversión de cultivos como resultado de la presencia de Huanglongbing en Colima, México

Productive reconversion as a result of Huanglongbing presence in Colima, México

Raciel Hernández Hernández<sup>1</sup>, Guadalupe Rebeca Granados Ramírez<sup>2\*</sup>, Gustavo Mora Aguilera<sup>3</sup>,  
Raúl Aguirre Gómez<sup>2</sup>, Imelda León García<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Parasitología Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo.

<sup>2</sup>Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito de la investigación científica, Ciudad Universitaria, 04510, México, D.F. Correo electrónico: rebeca@igg.unam.mx

<sup>3</sup>Instituto de Fitosanidad, Colegio de Postgraduados.

<sup>4</sup>Consejo Nacional Consultivo Fitosanitario

\*Autor de correspondencia.

### Resumen

El estado de Colima es productor importante de limón, las afectaciones por efecto del Huanglongbing (HLB) han ocasionado pérdidas en forma progresiva. Hasta el momento no se conoce cura y los productores han decidido realizar cambios en la dinámica de cultivos. El objetivo de este trabajo fue cuantificar los cambios, mediante análisis espacial (PR) y herramientas del sistema de información geográfica (SIG); se realizaron clasificaciones supervisadas de imágenes *Landsat 7* y *Landsat 8*, comprobando un progresivo aumento en la sustitución de cultivos en los últimos cinco años. Hasta el momento se han sustituido alrededor de 5000 ha de cítricos, lo que ha significado una reducción de 84 721.88 t en el volumen de producción del limón mexicano y una pérdida de 302 636 729 pesos aproximadamente.

**Palabras clave:** *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swing; citricultura; limón mexicano; HLB; clasificación supervisada; *Landsat*.

### Abstract

Colima state is one of the most important leading producers of lemon, and it has been affected by Huanglongbing (HLB); the damage has spread and caused a progressive production loss in the lemon production chain. So far, there is no cure and farmers have decided to make changes in the crops' dynamic. The objective of the present work was to quantify the changes in the planted area through spatial analysis (PR) and geographic information system (SIG) tools. Supervised classifications of *Landsat 7* and *Landsat 8* images were carried out. It was proved that lemon crop was substituted progressively by other crops during the last five years. Until now, 5000 ha of citrus have been substituted. This has implied a reduction of 84 721.88 t of Mexican lemon production and a loss of 302 636 729 Mexican pesos.

**Keywords:** *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swing; citriculture; Mexican lemon; HLB; supervised classification; *Landsat*.

Recibido: 8 de mayo de 2017

Aceptado: 23 de noviembre de 2018

Publicado: 11 de abril de 2019

**Como citar:** Hernández-Hernández, R., Granados-Ramírez, G. R., Mora-Aguilera, G., Aguirre-Gómez, R., & León-García, I. (2019). Reconversión de cultivos como resultado de la presencia de Huanglongbing en Colima, México. *Acta Universitaria* 29, e1921. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2019.1921>

## Introducción

### Situación actual de la citricultura

La actividad citrícola en México es considerada la cuarta en importancia a nivel mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO, por sus siglas en inglés], 2014). A nivel nacional las especies de cítricos de mayor importancia son la naranja dulce (63.6%), limón en todas sus especies (26.5%), mandarina (5.5%) y toronja (5.5%). (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca [SIAP], 2015).

Respecto al limón, cabe resaltar que, desde la década de 1940, el estado de Colima se ha destacado como el principal productor a nivel nacional, lo que se refleja en un valor aproximado del 18% del producto interno agrícola del Estado (Esquivel-Chávez *et al.*, 2012).

### El Huanglongbing, amenaza ancestral de la citricultura

El Huanglongbing (HLB) o enfermedad de los brotes amarillos, o citrus greening, es considerada en la actualidad como la mayor amenaza para la citricultura en el mundo. Hasta 2003, el HLB estuvo restringido a tres regiones geográficas: África, Península de Arabia y Asia (Bové, 2006). En 2004 se registró la presencia de esta enfermedad en Brasil (Colleta-Filho *et al.*, 2004); posteriormente, en 2005 se confirmó su detección en EUA y en 2007 en Cuba.

En México, el primer reporte de la enfermedad fue en 2009 en Tizimín, Yucatán, por lo que se activó el plan de emergencia bajo la norma NOM-EM-047-FITO (Diario Oficial de la Federación [DOF], 2009). En abril de 2010 se da el primer reporte de la enfermedad en árboles de limón mexicano en el municipio de Tecomán, Colima (Servicio Nacional de Calidad Agroalimentaria-Dirección General de Sanidad [Senasica-DGSV], 2012), y solo transcurrieron seis meses de la primera detección, cuando el Comité Estatal de Sanidad Vegetal de Colima (Cesavecol) reportó más de 1200 plantas sintomáticas en más de 140 huertas comerciales en los municipios de Tecomán, Armería, Manzanillo y Coquimatlán.

Actualmente, el HLB en el estado de Colima está ampliamente distribuido; se han detectado árboles sintomáticos en todas las zonas productoras de limón mexicano (Robles-González *et al.*, 2013).

Estudios epidemiológicos de HLB desarrollados en el mundo (De Miranda, de Oliveira & Bassanezi, 2012; Spreen & Baldwin, 2013) coinciden en que una de las variables principales es la magnitud de la superficie establecida de cítricos. Para Colima se determinó que la reducción de rendimiento es dependiente de la severidad de la infección, observándose que cuando el porcentaje de la copa afectada es superior al 50%, los árboles no superan los 30 kg de rendimiento (Robles-González *et al.*, 2013).

### Conversión productiva

Los cambios de uso del suelo, producto de diversos factores físico-geográficos han sido abordados ampliamente (Juan & Díaz, 2016; Gómez, Martín & Salas, 2015). Son escasas las investigaciones que incorporan aspectos fitosanitarios como causantes de la dinámica de cultivos (Ochoa, Reyes, Robles & Padilla, 2002; Ramírez-García, Vera-Castillo, Carrillo-Anzures & Magaña-Torres, 2008).

Los cambios en la dinámica de los cultivos constituyen una verdadera preocupación, sobre todo en aquellas regiones que poseen una larga tradición agrícola; ya que, debido a las variaciones en las condiciones climatológicas o decisión directa del propietario, al presentarse una baja rentabilidad de la

producción, provoca que el agricultor decida retirar el cultivo de sus tierras (García-Ruiz & Lana-Renault, 2011). La rentabilidad actual de las plantaciones de limón en Colima, de acuerdo con la relación beneficio-costos, es baja, lo que ha obligado a considerar la reconversión productiva como estrategia para generar mejores opciones de producción agrícola (comunicación en campo).

Así, la reconversión productiva representa un instrumento hacia donde puede avanzar la producción agrícola e implica modificar el patrón de producción, mediante el establecimiento de cultivos alternativos con mayor viabilidad agronómica, social y rentabilidad económica (Zatarain et al., 2005).

El uso de técnicas indirectas, como el de sensores remotos, puede contribuir a obtener información de recursos naturales, dinámica del uso del suelo, delimitación de áreas, restauración ambiental, entre otros (Aguilar, 2015; Dunn, 2007; Evangelista, López, Caballero & Martínez, 2010; Martínez-Verduzco, Galeana-Pizaña & Cruz-Bello, 2012). Por la importancia que poseen las plantaciones de limón y la dinámica de cultivos que se presenta por la presencia del HLB, el objetivo de este trabajo fue cuantificar los cambios y delimitar el patrón de cultivos en la zona agrícola en los municipios de Tecomán y Armería, Colima, en el período de marzo de 2010-abril de 2014, a través del uso de imágenes *Landsat 7 (L7) Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)* y *Landsat 8 (L8)*.

## Materiales y Métodos

### Área en Estudio

El área en estudio (figura 1) está comprendida en los límites geográficos de los municipios de Tecomán y Armería del estado de Colima con coordenadas al norte 19°31', al sur 18°41' de latitud norte, al este 103°29' y al oeste 104°41' de longitud oeste (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2014). Es la principal región productora, misma que concentra el 78% de los predios que cultivan limón mexicano en el estado.

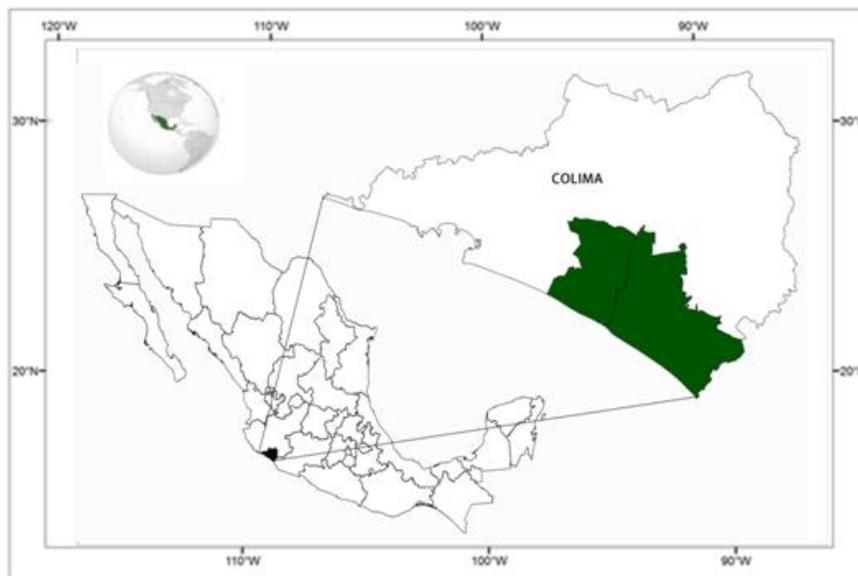


Figura 1. Área de estudio. Municipios de Tecomán y Armería, Colima, México.  
Fuente: Elaboración propia, marco geoestadístico, INEGI (2014).

## Selección de imágenes

Se eligieron nueve imágenes *Landsat* de enero de 2010 a abril de 2014, que correspondieron a temporadas con baja precipitación, para reducir la presencia de vegetación silvestre que podría interferir en la clasificación. Otro criterio fue buscar la menor presencia de nubes. El pre-procesamiento de las imágenes implicó la conversión de medidas de niveles digitales a porcentaje de reflectancia, este proceso también permitió hacer la corrección atmosférica mediante el método de calibración radiométrica del cuerpo negro. Para eliminar el efecto del rayado que presentan las imágenes L7 (Chen, Zhu, Vogelmann, Gao & Jin, 2011) se utilizó el método aportado por el *software* Envi. El bandeo encontrado fue mínimo, debido a que la zona de estudio se ubica coincidentemente fuera del área de líneas (ruido) casi en su totalidad.

La zona en estudio se delimitó a través de recortes con mapas vectoriales municipales disponibles en INEGI; también se construyeron máscaras para las áreas que no presentan actividad agrícola, tales como lomeríos y zonas de manglares, para eliminar la interferencia que pudieran provocar la presencia de vegetación silvestre.

## Procesamiento

Para identificar las áreas con vegetación cultivada y aquellas con vegetación silvestre se realizó la composición de colores, combinando las bandas 3,2,1 y 4,3,2 (Jensen, 2009). El trabajo de campo consistió en seis muestreos en el periodo de julio de 2011 a marzo de 2014, donde se tomaron mediciones en las parcelas cultivadas, para todos los casos se registró su ubicación mediante GPS. En las huertas de limón también se recabaron variables como: la especie, edad del huerto, vigor, fenología, presencia de plagas (manejo), productividad, tipo de riego, incidencia y severidad del HLB. La ubicación y los datos de campo sirvieron como polígonos de entrenamiento. Igualmente, para validar los resultados de las clasificaciones a través de matrices de confusión y el análisis de coeficientes de precisión general, se consideraron aquellas superiores al 85% y para el coeficiente Kappa arriba del 80%.

La clasificación supervisada se realizó con el método de máxima similitud, mismo que arrojó los mejores resultados. Las clasificaciones se procesaron de forma analítica para obtener el índice de densidad citrícola relativa a la superficie sembrada, que representa la relación de una especie en particular, respecto a la cantidad de la superficie total sembrada y se considera que representa el área inductiva a la ocurrencia de la epidemia. El cálculo fue basado en Salcedo *et al.* (2011), quienes consideran que representa el área potencial a la ocurrencia de la epidemia. El cálculo consiste en:

$$\text{CitAg} = \frac{\text{SupS}}{\text{SupAgr}}$$

donde:

CitAg= Índice de densidad citrícola relativa.

SupS= Superficie sembrada (hectáreas) por especie citrícola.

SupAg=Superficie Agrícola Total a considerar.

Con los resultados de la clasificación supervisada y a través del uso de las herramientas del Sistema de Información Geográfico QGIS se realizó la sobreposición de los mapas que ubican las huertas establecidas para marzo de 2010 (fecha para la cual se da el reporte del primer caso de HLB) y las

correspondientes a abril de 2014. El álgebra de mapas permitió delimitar áreas sustituidas durante el período 2010-2014.

Finalmente, se utilizó información de producción, rendimientos y valor de la producción (estadística contenidas en la web: SIAP-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación [Sagarpa]) para la estimación de los impactos derivados por la sustitución de limón mexicano en la región de Tecomán y Armería.

## Resultados y Discusión

### Uso del suelo agrícola

La superficie sembrada en los municipios de Tecomán y Armería en el período 2010-2014 fue representada en la figura 2, en donde se observa que existió una reducción de 5749 ha, aproximadamente, de un total de 60 000 ha.

La variación de las superficies sembradas y el cambio de uso de suelo pueden ser explicados por el crecimiento de las zonas urbanas en los municipios de Tecomán, Armería y principalmente en la localidad de Cerro de Ortega en el municipio de Tecomán. Además de otras actividades productivas clasificadas en las imágenes de satélite y que fueron verificadas en campo, se incluye la piscicultura y el crecimiento de la agricultura protegida; esta última no implica en sí una reducción de la superficie agrícola, pero ocasiona una profunda transformación en la práctica agronómica.

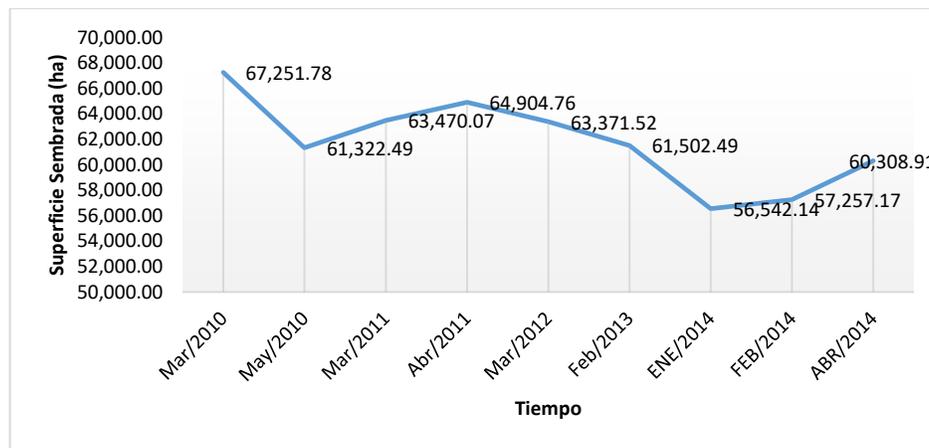


Figura 2. Superficie Agrícola de los municipios de Tecomán y Armería, Colima, periodo 2010-2014.  
Fuente: Elaboración propia, base de datos <http://infosiap.siap.gob.mx> (SIAP, 2015)

### Cultivos de mayor importancia en la zona de estudio

Las zonas agrícolas de los municipios de Tecomán y Armería concentran aproximadamente el 80% de la producción de limón de Colima (SIAP, 2015). Las plantaciones de mayor importancia de acuerdo con la superficie sembrada fueron: limón mexicano, copra, plátano, mango, caña de azúcar, papaya. También se encuentran algunos cultivos anuales como maíz, sorgo y hortalizas en superficies reducidas (figura 3).

En las escenas procesadas de 2010 se observó una alta fragmentación de la tierra. Existen parcelas agrícolas menores a 1 h, hasta aquellas con algunas decenas de hectáreas. Esta heterogeneidad espacial está vinculada a diversas prácticas agronómicas, dependiendo de las plantaciones y cultivos establecidos.

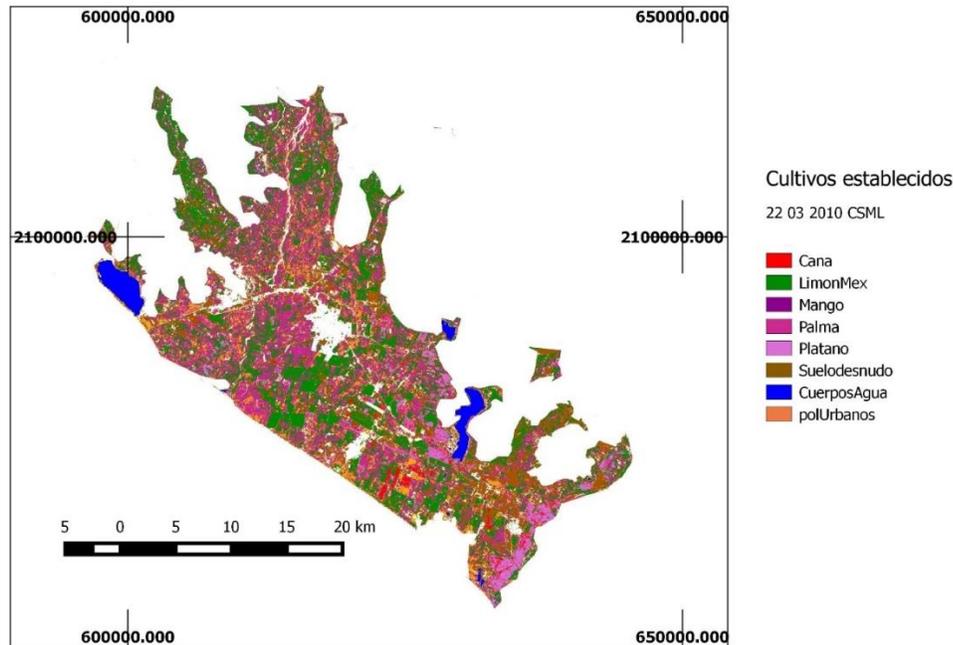
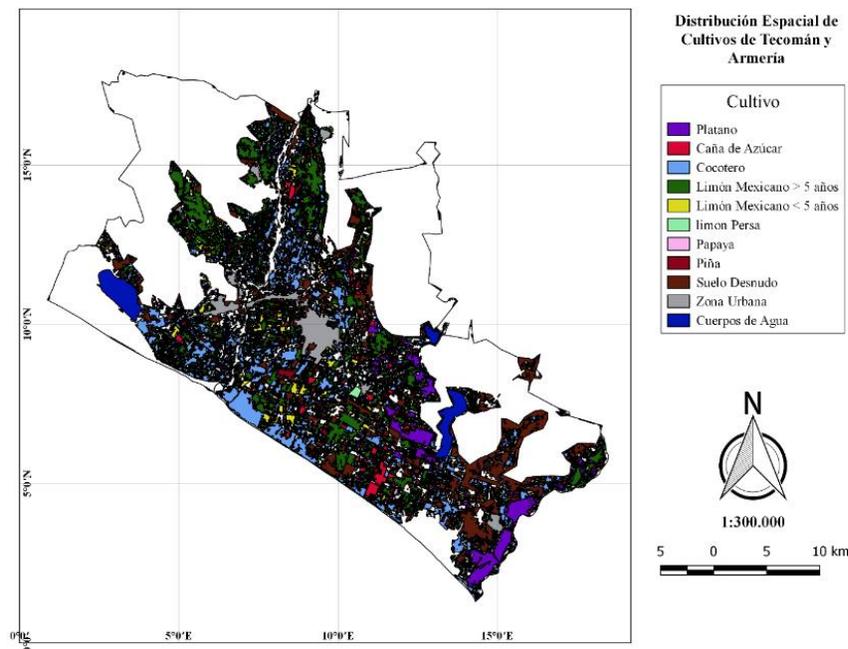


Figura 3. Plantaciones establecidas en las zonas de estudio 2010.  
Fuente: Elaboración propia, con base en análisis de imágenes Landsat 7 y 8.

En este ciclo, la copra y limón fueron las plantaciones más extendidas en la zona de estudio (figura 3); el limón contó con una superficie de 19 887 ha y una producción de 350 876 t. Las plantaciones se encuentran ubicadas a lo largo y ancho, sin un patrón específico. Existen conglomerados amplios y continuos distribuidos en ambos municipios. El cocotero o copra ocupó 17 046 ha con una producción de 21 136 t, se encuentra establecido principalmente en las áreas cercanas a la costa, también es ubicado en los alrededores de Tecomán, donde es común encontrarlo asociado con limón mexicano. La zona platanera se presenta en forma compacta al sur de Tecomán, en las cercanías de las riberas del río Coahuayana y de la laguna de Amela, esta especie se vuelve más dispersa y pequeña en los alrededores de la ciudad de Tecomán. En 2010 se reportaron 4958 ha sembradas con una producción de 146 576 t. Siguiendo en superficie ocupada es el mango, con 3524 ha y 56 969 t. Las superficies mayores de caña de azúcar se ubican en la planicie costera, formando amplios mosaicos en 2010 existió una superficie sembrada de 1075 ha, con una producción de 92 078 t.

En el análisis realizado de 2014, resalta el incremento de algunos perennes y aparición de otros como la piña, la cual se concentra en unos pocos productores ubicados hacia el suroeste de la ciudad de Tecomán con rumbo hacia la costa, pasó de 2010 a 2014 de 48 ha a 323 ha; la caña de azúcar, plátano y papaya son los frutales que han incrementado su superficie en los últimos años.



**Figura 4.** Plantaciones establecidas en la zona de estudio 2014.  
Fuente: Elaboración propia, con base en análisis de imágenes Landsat 7 y 8.

Un segundo espacio agrícola está ubicado en pequeños valles entre los lomeríos de la Sierra Madre del Sur y la ribera del Río Armería, espacios donde se distingue una agricultura donde predominan huertas de limón mexicano y reducidas superficies de papaya, mango y cultivos anuales.

### Superficie sembrada por cultivo

Para el año 2010, en los municipios de Tecomán y Armería existían aproximadamente 67 000 ha dedicadas a la actividad agrícola, de las cuales alrededor de 20 000 ha estaban dedicadas al limón mexicano. Esta situación se había mantenido relativamente estable debido a que el limón mexicano es un cultivo perenne y de alta rentabilidad.

En el estado de Colima en poco menos de seis meses de la primera detección de HLB, el Cesavecol detectó más de 1200 plantas sintomáticas en alrededor de 140 huertas comerciales en los municipios de Tecomán, Armería, Manzanillo y Coquimatlán, por lo que la enfermedad se consideró ampliamente distribuida; por esta razón, se planteó para el Estado la estrategia de convivir con la enfermedad intentando mantener la productividad de las huertas el mayor tiempo posible.

La tendencia de reducción de la superficie establecida de limón se acentuó durante el primer par de años posterior a la aparición del HLB; rápidamente se pasa del orden de las 20 000 ha a las 15 000 ha. Esto se explica por la rápida explosión de la epidemia y a que los protocolos de erradicación fueron adoptados de manera limitada (Robles-González *et al.*, 2013). El monitoreo y análisis de imágenes permitió delimitar áreas donde las huertas fueron eliminadas completamente, principalmente huertas jóvenes con producciones mínimas o aún nulas.

La aplicación de técnicas geomáticas como percepción remota (PR), sistemas de información geográfica (SIG) y geoposicionamiento global (GPS), en el contexto de la agricultura, tienen la ventaja de

integrar información física-socioeconómica y es potencialmente útil en: 1) clasificación, mapeo y cartografía de cultivos con información georeferenciada; 2) identificación de etapas fenológicas y grados-día de crecimiento; 3) discriminación de variedades; 4) monitoreo del riego y estrés nutricional; 5) detección de daños por insectos plaga y enfermedades; y 6) predicción de rendimientos (Aguilar, 2015). En el área en estudio, estas herramientas facilitaron identificar y cuantificar la conversión de los cultivos.

La dinámica de los cultivos en el área de estudio ha presentado importantes cambios (figura 5) a partir de la aparición del HLB y su establecimiento. Se observa la sustitución de la superficie sembrada de limón mexicano en el orden de las 5000 ha de 2010 a 2014. Se propició el reemplazo de huertas de cítricos enfermas por nuevas plantaciones, en el orden de las 4000 ha. El limón persa de reciente introducción registró aproximadamente 600 ha, superficie que se está incrementando.

Durante el último par de años la tendencia abrupta de disminución ha tendido a estabilizarse en el orden de las 15 000 ha, hecho que puede ser atribuible a los programas de las organizaciones involucradas en la campaña del HLB, que han tomado las experiencias de otras regiones productoras, como Brasil, EUA y Belice; misma que consiste en convivir con la enfermedad. Las estrategias se basan principalmente en el control regional del psílido y la nutrición intensiva de los árboles enfermos, esto último para alargar la vida productiva en la región.

A pesar de lo anterior, existen huertas con altos índices de incidencia de la enfermedad, cercanos al 100%, los cuales a mediano plazo será inevitable la sustitución de los huertos. El agricultor estará ante la disyuntiva de explorar con cultivos tradicionales de la zona, como plátano, caña de azúcar, mango, cocotero; también cultivos anuales como maíz, sorgo y hortalizas; o bien con cultivos emergentes como la papaya y la piña. Una segunda opción es continuar con nuevas plantaciones de limón, con las implicaciones derivadas de la presencia del HLB en la región.

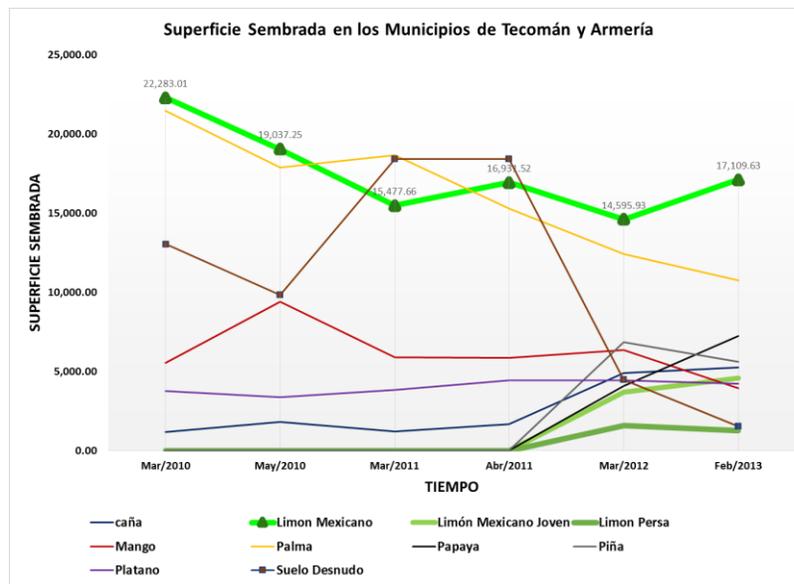


Figura 5. Superficie sembrada de los principales cultivos para la región de Tecomán y Armería, Colima.  
Fuente: Elaboración propia, con base en análisis de imágenes Landsat 7 y 8.

Los cambios en los usos del suelo y/o conversión de cultivos en ocasiones se producían sin tener en cuenta las características del territorio. En la actualidad existe cartografía que delimita las zonas agroecológicas adecuadas para la producción agropecuaria y forestal. El potencial productivo de especies

vegetales se inició en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), misma que proporciona información en medios digitales e impresos; información que actualmente apoya a la toma de decisiones de productores, inversionistas y quienes definen las políticas públicas y los programas y proyectos sectoriales para asegurar la producción de alimentos y la conservación de los recursos naturales (Sagarpa, 2016).

En la región citrícola de Colima las plantaciones y cultivos seleccionadas para sustituir el limón presentan potencial productivo en gran proporción. En cuanto a la rentabilidad actual de los cultivos emergentes, de acuerdo con la relación beneficio-costos, la papaya es un cultivo rentable. Muestra de lo anterior, se tiene que en 2015 los rendimientos y precio de la papaya superaron al limón. En papaya se registraron 41.3 ton/ha y en limón se registraron sólo 9.4 ton/ha; respecto al precio medio rural \$5716 por tonelada y \$4248, respectivamente. Además, por su dinamismo comercial, es considerada una de las más importantes desde el punto de vista económico (Granados, Salceda & Longar, 2015).

Cualquier decisión tiene implicaciones directas en la epidemiología del HLB. Por un lado, el cambio de cultivos dará como resultado, en primera instancia, una reducción en el índice de abundancia citrícola; es decir, la disponibilidad de plantas hospedantes y, por consiguiente, un cambio en las condiciones de dispersión de los elementos del HLB, al ocurrir una menor disponibilidad de fuentes de inóculo (Senasica-DGSV, 2012).

La decisión de una nueva plantación de cítricos implica la disponibilidad de hospedantes de mayor susceptibilidad, al ser plantas jóvenes (Senasica-DGSV, 2012), por lo que requerirán de un manejo fitosanitario acorde a las normas establecidas por el Senasica, para evitar que se conviertan en nuevos focos de inóculo de la bacteria. Con relación a los cultivos secundarios, es apreciable una marcada reducción de superficie establecida con cocotero que pasó de las 20 000 ha a 10 000 ha, aproximadamente. Esta tendencia quizá pudo también estar influenciada por la práctica de asociación del cultivo con limón mexicano y por consiguiente con la presencia del HLB.

Respecto al índice de superficie plantada de cítricos (ISPC), calculados para todo el país, Díaz *et al.* (2014) indican que los municipios de Colima poseen superficies que van de 10 000 ha a 55 000 ha, donde ISPC es de los más elevados, cercanos al 1.

En contraste, se observan cultivos emergentes en la región como son la papaya y la piña, que han incrementado sustancialmente la superficie sembrada en los últimos años, ambas ocupan alrededor de 2500 ha. Respecto a la caña de azúcar, esta presenta un importante incremento. En general, la sustitución de cultivos es importante sobre todo por la reducción del índice de superficie plantada con cítricos y sus impactos directos en el comportamiento del patosistema HLB-limón.

## Huertas de limón sustituidas

Los impactos proyectados en Brasil prevén una relación de plantas enfermas de HLB menor al 1% de un total de plantas superior a 200 000 por huerta, por lo que la estrategia fue la convivencia con la enfermedad (De Miranda *et al.*, 2012). Lo anterior contrasta con lo observado en Colima, donde los niveles de incidencia son altos, llegando incluso al 100% en algunas huertas. Este escenario plantea la necesidad de sustitución del huerto total en un corto plazo por el alto grado de incidencia de la enfermedad.

En la (figura 6) se muestra en tonalidades verdes la superficie sustituida entre los años 2010 y 2014. La distribución de las huertas eliminadas es aleatoria, sin seguir un patrón estable, situación coincidente con lo expresado por Robles-González *et al.* (2013), quien señala que el HLB está ampliamente distribuido

en los municipios de Tecomán y Armería, por lo que es presumible que existan huertas sustituidas por toda la región agrícola.

El cálculo del índice de densidad citrícola relativa a la superficie agrícola (figura 7) sugiere el área inductiva de la ocurrencia de la epidemia. Para el caso de Tecomán y Armería se observa que este índice se redujo hasta en un 6% en promedio desde 2010 hasta abril de 2014. Es necesario considerar que para el caso de plantaciones nuevas (plantas jóvenes) este índice se incrementó en un punto porcentual, lo que es una consideración a resaltar, ya que la susceptibilidad tiende a ser alta (Esquivel-Chávez *et al.*, 2012).

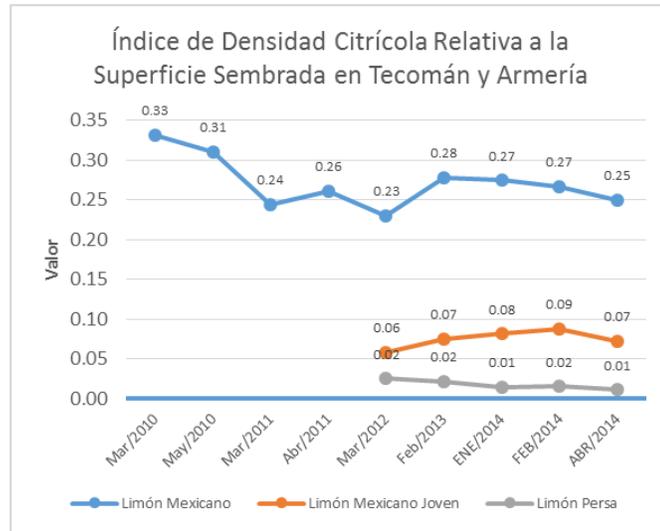


Figura 6. Índice de densidad citrícola relativa.

Fuente: Elaboración propia, con base en análisis de imágenes Landsat 7 y 8.

La pérdida en la productividad en las superficies de limón ha sido considerable, según constan en los datos de rendimiento y valor de la producción reportados para 2014 (SIAP, 2015). Los resultados indican que, en promedio, se han dejado de producir 189 259.70 t de fruta, lo que significa una disminución en promedio de \$454 198 260 pesos mexicanos.

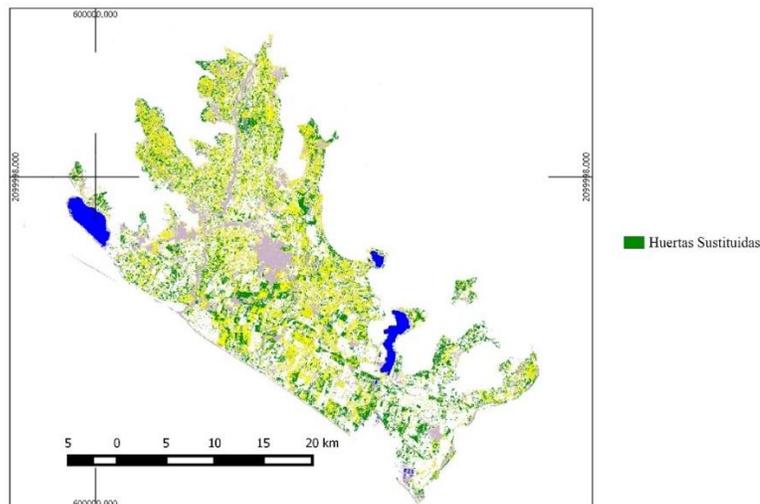


Figura 7. Huertas sustituidas de limón mexicano en el período de 2010 a 2014.

Fuente: Elaboración propia, con base en análisis de imágenes Landsat 7 y 8.

## Conclusiones

Mediante análisis espacial con herramienta SIG, se observó y cuantificó un progresivo cambio de cultivos, nuevas plantaciones y permanencia de plantaciones inocuas; así que las herramientas geotecnológicas representan una alternativa óptima para su monitoreo y análisis de estas plantaciones y de la agricultura en general.

La presencia del HLB en la región citrícola de Tecomán y Armería a partir de 2010 ha implicado una fuerte inversión para el mantenimiento de las huertas productivas de limón mexicano, debido a la distribución y severa destrucción que ha ocasionado la bacteria causante del HLB en la región.

La sustitución total de huertas de limón ha sido lenta, debido a que varios productores han tomado la decisión de convivir con la enfermedad, ya que, al ser el limón mexicano un cultivo altamente redituable, intentan mantener la productividad de las huertas el mayor tiempo posible. Otros agricultores han adoptado la decisión de renovar las plantaciones de limón, por lo que hace necesario el fortalecimiento de los sistemas de monitoreo permanente del HLB y su vector con herramientas de PR para contar con información que permita tomar las medidas de manejo que ayuden a mitigar al mínimo las condiciones favorables de dispersión de la enfermedad.

En la región citrícola de Colima, los cultivos seleccionados (papaya y piña) para sustituir las plantaciones de limón mexicano presentan potencial productivo alto, por lo que se asegura buenos resultados.

## Referencias

- Aguilar Rivera, N. (2015). Percepción remota como herramienta de competitividad de la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(2), 399-405. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i2.726>
- Bové, J. M. (2006). Huanglongbing: a destructive, newly-emerging, century-old disease of citrus. *Journal of Plant Pathology*, 88(1), 7-37. doi: <https://doi.org/10.4454/jpp.v88i1.828>
- Chen, J., Zhu, X., Vogelmann, J. E., Gao, F., & Jin, S. (2011). A simple and effective method for filling gaps in Landsat ETM+ SLC-off images. *Remote Sensing of Environment*, 115(4), 1053-1064. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.010>
- Coletta-Filho, H. D., Targon, M. L. P. N., Takita, M. A., De Negri, J. D., Pompeu, J., Machado, M. A., ... Muller, G. W. (2004). First Report of the Causal Agent of Huanglongbing ("Candidatus Liberibacter asiaticus") in Brazil. *Plant Disease*, 88(12), 1382-1382. <https://doi.org/10.1094/PDIS.2004.88.12.1382C>
- De Miranda, S. H. G., de Oliveira Adami, A. C., & Bassanezi, R. B. (2012). Economic impacts of huanglongbing disease in São Paulo State. *International Association of Agricultural Economists*, 1-20. Recuperado de <http://swfrec.ifas.ufl.edu/hlb/database/pdf/00002960.pdf>
- Diario Oficial de la Federación (8 de julio de 2009) *Norma Oficial Mexicana de Emergencia NOM-EM-047-FITO-2009*. SAGARPA, México. Recuperado el 10 de noviembre de 2014 de [https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/dokumente/upload/74020\\_mx3-nom-047-2009citrus-candidatus-liberibacter-kons.pdf](https://pflanzengesundheit.julius-kuehn.de/dokumente/upload/74020_mx3-nom-047-2009citrus-candidatus-liberibacter-kons.pdf)
- Díaz-Padilla, G., López-Arroyo, J. I., Sánchez-Cohen, I., Guajardo-Panes, R. A., Mora-Aguilera, G., & Quijano-Carranza, J. Á. (2014). Áreas de abundancia en México del vector del Huanglongbing, *Diaphorina citri* (Hemiptera: Liviidae). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(7), 1137-1153.
- Dunn, C. E. (2007). Participatory GIS—a people's GIS? *Progress in Human Geography*, 31(5), 616-637. doi: <https://doi.org/10.1177/0309132507081493>
- Esquivel-Chávez, F., Valdovinos-Ponce, G., Mora-Aguilera, G., Gómez-Jaimes, R., Velázquez-Monreal, J. J., Manzanilla-Ramírez, M. A., & López-Arroyo, J. I. (2012). Análisis histológico foliar de cítricos agrios y naranja dulce con síntomas ocasionados por *Candidatus Liberibacter asiaticus*. *Agrociencia*, 46(8), 769-782.

- Evangelista Oliva, V., López Blanco, J., Caballero Nieto, J., & Martínez Alfaro, M. A. (2010). Patrones espaciales de cambio de cobertura y uso del suelo en el área cafetalera de la sierra norte de Puebla. *Investigaciones Geográficas*, (72), 23-38. doi: <https://doi.org/10.14350/rig.19273>
- García-Ruiz, J. M., & Lana-Renault, N. (2011). Hydrological and erosive consequences of farmland abandonment in Europe, with special reference to the Mediterranean region—a review. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(3-4), 317-338. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.003>
- Gómez Nieto, I., Martín Isabel, P., & Salas Rey, F. J. (2015). Análisis del régimen de incendios forestales y su relación con los cambios de uso del suelo en la Comunidad Autónoma de Madrid (1989-2010). *Geofocus: Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, (16), 281-304.
- Granados Ramírez, R., Salceda López, R., & Longar Blanco, M. D. P. (2015). Situación actual y perspectivas tecnológicas para la papaya (*Carica papaya* L.) en el distrito de Veracruz, Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(4), 749-761. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v6i4.616>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). *Catálogo Único de Claves de Áreas Geoestadísticas Estatales, Municipales y Localidades*. Recuperado el 10 de noviembre de 2014 de [https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/ageeml/Ayuda/Ayuda\\_Gral\\_Cat\\_Unico.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/ageeml/Ayuda/Ayuda_Gral_Cat_Unico.pdf).
- Jensen, J. R. (2007). *Remote sensing of the environment: An earth resource perspective* India: Brigham Young University. Pearson Education.
- Juan, J. R., & Díaz, A. R. (2016). Evolución del abandono de tierras de cultivo en la comarca oriental de la Región de Murcia. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (71), 9-29. doi: <https://doi.org/10.21138/bage.2272>
- Martínez-Verduzco, G. C., Galeana-Pizaña, J. M., & Cruz-Bello, G. M. (2012). Coupling community mapping and supervised classification to discriminate Shade coffee from Natural vegetation. *Applied Geography*, 34, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.10.001>
- Ochoa Márquez, R., Reyes Muro, L., Robles Escobedo, F. J., & Padilla Ramírez, J. S. (2002). Cultivos alternativos para el altiplano semiárido de México. *Agricultura Técnica en México*, 28(2), 125-135.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2014). Producción de Limón Mexicano en México. *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)* For a world without hunger. Recuperado el 25 de enero de 2015 de [http://faostat3.fao.org/home/index\\_es.html?locale=es#VISUALIZE](http://faostat3.fao.org/home/index_es.html?locale=es#VISUALIZE)
- Ramírez-García, C., Vera-Castillo, G., Carrillo-Anzures, F., & Magaña-Torres, O. S. (2008). El cedro rojo (*Cedrela odorata* L.) como alternativa de reconversión de terrenos agrícolas en el sur de Tamaulipas. *Agricultura Técnica en México*, 34(2), 243-250. doi: <https://doi.org/10.4236/as.2017.84019>
- Robles-González, M. M., Velázquez-Monreal, J. J., Manzanilla-Ramírez, M. Á., Orozco-Santos, M., Medina-Urrutia, V. M., López-Arroyo, J. I., & Flores-Virgen, R. (2013). Síntomas del Huanglongbing (HLB) en árboles de limón mexicano [*Citrus aurantifolia* (Christm) Swingle] y su dispersión en el estado de Colima, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 19(1), 15-31. doi: <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2012.01.005>
- Salcedo, D., Mora, G., Covarrubias, I., Cíntora, C., Hinojosa, R., Depaolis, F., & Mora, S. (2011). Evaluación del impacto económico de la enfermedad de los cítricos huanglongbing (HLB) en la cadena citrícola mexicana. *Comuniica*, 40-47. doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2123.0487>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa). (2016). *Atlas Agroalimentario*. Distrito Federal, México: Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria-Dirección General de Sanidad Vegetal (Senasica-DGSV). (2012). *Ficha Técnica de HLB Huanglongbing*. Recuperado de [www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/147557/Ficha\\_Tcnica\\_Candidatus\\_Liberibacter\\_spp.pdf](http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/147557/Ficha_Tcnica_Candidatus_Liberibacter_spp.pdf)
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesca (SIAP). (2015). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Recuperado el 3 de diciembre de 2014 de [http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola\\_siap\\_gb/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/aagricola_siap_gb/icultivo/index.jsp)
- Spreen, T. H., & Baldwin, J. P. (2013). The impact of huanglongbing (HLB) on citrus tree planting in Florida. *Annual Meeting of the Southern Agricultural Economics Association*, 1-12. Recuperado de <https://ageconsearch.umn.edu/record/142706>

Zatarain, F., Lazaro, P., de Leon, B., Robles, B., Fuentes, C., Montesillo, J. L., & Reyes, R. (2007). *Posibilidad de reconversión productiva del distrito de riego 025 Bajo Rio Bravo, Tamaulipas*. México: Anuario, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Recuperado el 5 de Diciembre de 2014 de <https://docplayer.es/20768828-Posibilidades-de-reconversion-productiva-de-districtos-de-riego-el-025-bajo-rio-bravo-tamaulipas.html>.