

Modelo conceptual de una economía circular para la producción de cítricos en Yotholin, Yucatán, México

Gabriela Cool-Padilla¹, Jesús Escalante-Euán¹, Jorge Santos-Flores^{2*}, Mariana Hernández³, Alan García-Lira¹

Introducción

Los cítricos son frutas del género *Citrus* que incluyen a la naranja, limón, toronja, mandarina, naranja agria y lima. En México, las zonas productoras de cítricos están bien delimitadas, siendo los líderes en producción nacional Michoacán, Veracruz, Oaxaca, Colima y Yucatán. La actividad citrícola en el sur de Yucatán tiene importancia alimentaria, social, cultural y económica, donde esta actividad puede regir la vida familiar y la dinámica comunitaria en la región.

En Yucatán, el cultivo de cítricos se realiza en más de 10 municipios, donde las mayores unidades productivas se ubican en Ticul y Oxkutzcab. La información disponible destaca que el sistema actual de producción citrícola es lineal, y su práctica convencional ha traído consecuencias negativas a niveles económico, social y ambiental. Moreno (2016) sugiere promover el desarrollo del sector citrícola en Yucatán desde un enfoque sustentable. Esto se refiere a considerar usuarios, o actores, en la zona que generen sinergias para el beneficio colectivo del sector.

Para extraer ventajas de los materiales, la energía y los residuos de los procesos productivos, Manavalan y Jakrishna (2019) proponen la economía circular con base en las “6 Rs”: rediseñar, reducir, reutilizar, recuperar, reciclar, remanufacturar. Este modelo económico alternativo se sustenta en la gestión sostenible de los recursos y el aprovechamiento integral de los residuos de una industria (MacArthur Foundation 2017). El objetivo del

presente trabajo es describir un modelo para mejorar las operaciones, rendimiento y regeneración de capital natural asociado a los recursos de la cadena de valor en la producción primaria de cítricos en Yucatán, identificar procesos clave para agregar valor al sistema e integrar estrategias definidas dentro del marco de la circularidad y alcanzar una economía más sostenible.



Figura 1. Condiciones características de los sistemas citrícolas.

Estructura actual de la cadena de valor de la producción de cítricos

La producción primaria de cítricos incluye cuatro actividades: siembra, cultivo, cosecha y venta (Fig. 1, Tabla 1). Cada una de éstas involucra otra serie de actividades. Por ejemplo, el cultivo involucra riego, fertilización, poda, control de plagas y enfermedades. La mayoría de los insumos de este proceso incluyen agroquímicos de proveedores locales y son aplicados al terreno con equipo motorizado (bombas aspersores) y también se usan herramientas, como pico, coa, pala.

Tabla 1. Cadena de valor de la producción de cítricos en Yucatán.

Proveedores	Entradas	Proceso	Salidas	Clientes	Indicadores
Vivero local	Injertos	Siembra	Árboles sembrados	Productor	Densidad de la plantación/ha
Hidroagrícola y Distribuidora agroquímicos	-Agua -Fertilizantes -Insecticidas -Herbicidas -Equipo -Jornaleros	Cultivo	Árboles cultivados	Productor	Costo de agroquímicos/ha Costo de jornales/ha Costo de insumos
Proveedor local	Cajones de plástico	Cosecha	Cajas de cítricos y desperdicios	Agente de ventas	Cajas de cítricos cosechadas/ha.
Productor y distribuidor local	Combustibles	Venta	Ingreso (\$)	Minoristas, mayoristas, cliente final	% de calidad de la cosecha /ha Costo del combustible Ingreso económico

Con relación a las salidas del proceso, en cada actividad hay una variable vital que posteriormente se transforma en un indicador de desempeño. Por ejemplo, la densidad de plantación, medida en árboles por hectárea, que para el presente caso puede ser de 270-280 árboles. Para el caso de la venta, la cadena de distribución de cajas de cítricos comprende los negocios minoristas de Campeche, y otros sitios alrededor de la zona, y en menor proporción un cliente mayorista de la juguera de Akil, Yucatán, la cual compra grandes cantidades, pero a precios muy bajos. Cuando la producción/oferta de producto se reduce, las ventas se orientan a consumidores finales del mismo municipio y sus alrededores. También, la venta se realiza en Oxkutzcab (mayoreo y semi-mayoreo), aunque la cantidad aceptada depende en gran parte de la calidad del fruto definido por el tamaño, madurez y sabor.

Una producción primaria de cítricos se realiza sin valorar la gestión de los residuos generados. Tal es el caso de los contenedores de agroquímicos, que se desechan sin aprovechar el 100% los productos. En la etapa de cosecha, hay fruta que se abandona en el suelo y es utilizada como fertilizante orgánico en la mejor situación, pero sin control alguno. Otro desperdicio son las cajas transportadas hacia el mercado local, ya que la distribución la realiza cada productor y, en muchas ocasiones, no se llena la capacidad de carga de los

vehículos utilizados. Esto impide la optimización del rendimiento del combustible y uso del equipo de transporte.

Diagrama causal actual de la producción de cítricos

La estructura del sistema de producción primaria de cítricos (Fig. 2) permite visualizar la relación de los bucles de retroalimentación, bien sean positivos o negativos, de las diferentes variables que intervienen en el proceso (Huertas et al. 2011), incluyendo los indicadores establecidos. Así, en el ciclo de producción (Fig. 2, R1) a mayor siembra de injertos, mayor la cantidad de árboles por hectárea. Esto incrementa la cantidad de cajas de cítricos producidos resultando en un mayor rendimiento cítrico por hectárea. Luego, a mayor cosecha mayor ingreso y manteniendo en *status quo* todo lo demás. El beneficio económico aumenta, lo que refuerza la siembra de injertos y, de ésta manera el ciclo de producción genera un crecimiento del sistema.

En el ciclo de actividad de siembra (Fig. 2, B1), a mayor siembra de injertos mayor densidad de plantación y disminución en el área disponible de tierra para siembra de injertos.

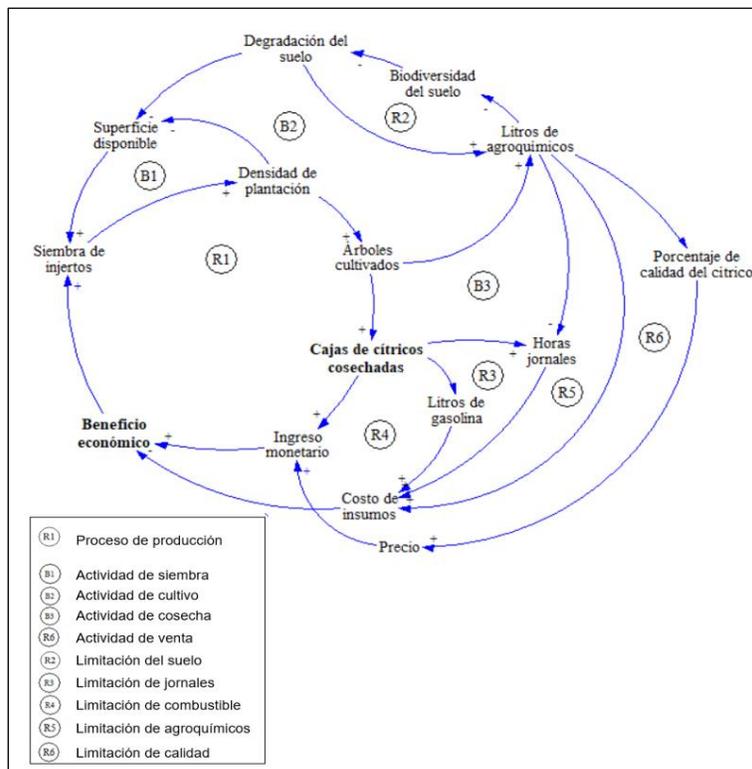


Figura 2. Diagrama causal actual de la producción de cítricos

El estudio de caso expone un estado inicial de densidad de plantación de 270-280 árboles por hectárea en Yotholin con disponibilidad de agua distribuida mediante microaspersión. El cultivo (Fig. 2, B2) genera un proceso que disminuye la densidad de plantación y, por ende, los árboles cultivados cada año. Esto es así porque a mayor cultivo de árboles, más litros de agroquímicos son requeridos. A mayor uso de productos agroquímicos, mayor es la pérdida de la biodiversidad del suelo, lo cual provoca degradación del suelo generando menor superficie disponible para la siembra de injertos (Odoul y Napolitano 2015).

La degradación del suelo es la pérdida de equilibrio de sus propiedades, lo que limita su productividad (Cartes 2013). Actualmente, la cantidad de árboles cultivados se mantiene constante, pero se demanda mayor aplicación de agroquímicos porque la degradación del suelo es mayor cada año de cosecha (Fig. 2, R2). Los productores prefieren usar agroquímicos porque este insumo demanda menos horas jornales, ya que la aplicación es rápida con el uso de las motobombas y de esta forma perciben un mayor beneficio económico. Además, estos insumos pueden ser obtenidos a crédito y satisfacer los requerimientos necesarios para obtener cítricos con las características deseadas.

La cosecha se genera en un entorno variable; sin embargo, a mayor cantidad de cajas de cítricos cosechadas, mayor será el ingreso percibido. En este ciclo intervienen los límites causales definidos por el costo de los jornales y el combustible (Fig. 2, R3 y R4) para la distribución de la fruta recolectada en los meses de mayor cosecha. El ciclo R5, enfocado a las condiciones óptimas del cítrico, indica a más litros de agroquímicos mayor es el porcentaje de calidad del fruto. Este escenario genera un comportamiento de crecimiento en el precio de venta y, esto a su vez, estimula el incremento del ingreso de los productores al final del ciclo. En consecuencia, hay mayores beneficios económicos que permiten amplificar el inicio del proceso de producción. Este comportamiento es el esperado; sin embargo, cada vez los árboles cítricos requieren mayores insumos para mejorar su calidad debido a la pérdida en la biodiversidad de los suelos, lo cual implica costos mayores en insumos y un menor beneficio económico para incrementar el proceso de siembra (Fig. 3).



Figura 3. Cítricos desperdiciados en el proceso lineal de producción.

Odoul y Napolitano (2015) mencionan que mejorar la biodiversidad de los suelos es vital para garantizar la salud de éstos y la seguridad alimentaria y nutricional de la población. Además, recomiendan prácticas agroecológicas para aumentar los indicadores de productividad (rendimiento cítrico). Gastón et al. (2008) consideran que la agroecología provee las bases científicas para dirigir la producción en un agro-ecosistema biodiverso capaz de mantener su propio funcionamiento. De acuerdo con Castilla (2013), esto implica desarrollar agricultura que sea ambientalmente adecuada, altamente productiva y económicamente viable.

Propuesta de mejoramiento del sistema con enfoque circular

A partir del análisis de la estructura del sistema de producción primaria de cítricos se pueden sugerir cambios para favorecer la aplicación del enfoque de la economía circular (Fig. 4). Para esto, es necesario rediseñar (1R) el proceso. En este sentido, la entrada de los materiales reciclados (2R) para conservar la biodiversidad del suelo, mediante la elaboración de bio-insumos, es importante. De acuerdo con la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER, 2022), los bio-insumos son productos del procesamiento de materia vegetal y del aislamiento y multiplicación de microorganismos para mejorar la calidad de los suelos y fertilizar, nutrir y controlar las enfermedades de las plantas. Reducir la cantidad de

agroquímicos en cultivos, al integrar bio-insumos al proceso como el estiércol de vaca, hojarasca/composta o los residuos de carbón, mejora la biodiversidad del suelo y además permite mayor superficie disponible para siembra de cultivo y conservar el proceso productivo en equilibrio.

A mayor recuperación de los suelos (3R), menor uso de agua (4R). Bautista et al. (2004) mencionan que las características físicas del suelo son una parte necesaria para la evaluación de este recurso, y los indicadores que pueden ser utilizados deben reflejar la manera en que el suelo acepta, retiene y transmite agua a las plantas. En este sentido, si se reduce el agua, entonces, el costo de insumos, referido a las horas de riego, también se espera que disminuya.

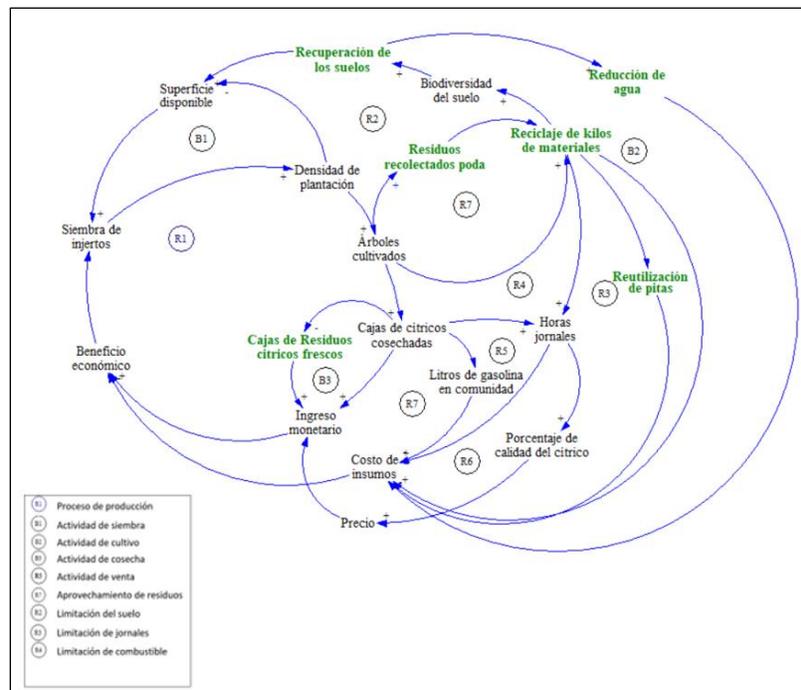


Figura 4. Diagrama causal de producción citrícola en el marco de economía circular.

A la cadena de valor citrícola se le puede integrar el aprovechamiento de residuos, medido en cajas de residuos cítricos cosechadas, que no cumplen con los requerimientos del cliente o simplemente por ausencia de demanda. Se puede aprovechar los residuos con base en el principio de cierre de ciclo. Esto quiere decir que el residuo cítrico sea convertido en un insumo para la formulación de un suplemento para la alimentación de ganado, bovino u ovino, (Cabrera et al. 2010) y agregar un valor a los cítricos en conjunto con el sector ganadero.

Para mejorar el sistema citrícola, desde el enfoque circular, es necesario agregar materiales reciclados y gestionar los residuos de cítricos frescos. Este proceso impactaría en la recuperación de los suelos, la reducción del agua de riego y el rediseño de las operaciones. El uso de bio-insumos, en el proceso de producción citrícola, permite la recuperación de los suelos, potencializado así el empleo local y la reducción en los costos de insumos porque los materiales se gestionan desde ciclos más cerrados (recursos locales o del sistema mismo).

Agregar valor a los residuos es otra alternativa. La fruta en el suelo y la fruta rechazada, por bajos estándares de calidad, pueden ser utilizadas en el sector ganadero como suplemento alimenticio. Por tanto, podría favorecerse el empleo local y asegurar mayores ingresos para los productores citrícolas. Se requiere cuantificar las variables propuestas y aplicar modelos para las simulaciones que permitan tomar decisiones relacionadas con la economía circular en el sistema citrícola para que éste sea sostenible a largo plazo y pueda ser manejado con menos incertidumbre ante los cambios en las variables ambientales y sociales.

Conclusiones

El análisis de la producción primaria de cítricos en Yotholin, Yucatán, permite identificar que el diseño del proceso no incluye actividades para gestionar los residuos con base en los principios de la economía circular. El diagrama causal demuestra el impacto de agroquímicos sobre la biodiversidad del suelo y consecuentemente en la densidad de plantación y cosecha. Esto ocasiona variaciones en la cantidad de cajas de cítricos cosechadas por hectárea. Así, la entrada de fertilizantes, plaguicidas e insecticidas ocasiona desequilibrios en el sistema, no sólo en términos económicos sino también impactos ambientales y sociales.

¹Facultad de Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán

²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán

³Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México

*Autor para correspondencia: sflores@correo.uady.mx

Cool-Padilla G, Escalante-Euán J, Santos-Flores J, Hernández M, García-Lira A. 2022. Modelo conceptual de una economía circular para la producción de cítricos en Yotholin,

Referencias

- Bautista A, Etchevers J, Castillo R y Gutiérrez C. 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*. Recuperado en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/572/541>
- Cabrera A, Lammoglia M, Martínez C, Rojas R y Montero F. 2010. Utilización de subproductos de naranja (*Citrus sinensis* var. valencia) en la alimentación para rumiantes. *Abanico Veterinario* 10. <https://doi.org/10.21929/abavet2020.6>
- Cartes G. 2013. Degradación de suelos agrícolas y el SIRSD - S. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias, 1–6. www.odepa.gob.cl
- Castilla M. 2013. Estudio integral para la conservación y aprovechamiento sostenible de frutales nativos en Yucatán. Tesis de maestría. Universidad Veracruzana. Centro de investigaciones tropicales.
- MacArthur Foundation. 2017. Hacia Una Economía Circular: Motivos económicos para una transición acelerada. *Fundación Ellen MacArthur*, 22.
- Huertas I, Verástegui R, Morales L y Castro LC. 2011. Modelo de dinámica de sistemas para el proceso de producción de la mandarina. 9º Encuentro Colombiano de Dinámica de Sistemas, Bogotá, Colombia.
- Gastón J, Cedillo G, Isaac L, Gómez A, Ernesto C, y Esquivel G. 2008. Agroecología y sustentabilidad. 51–87.
- Manavalan E y Jayakrishna K. 2019. Un análisis sobre la cadena de suministro sostenible para la economía circular. *Fabricación de procedimientos*, 33, 477–484. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.04.059>
- Moreno A. 2016. Análisis de la red de valor de cítricos en el municipio de Oxkutzcab, Yucatán. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo.
- Odoul A y Napolitano G. 2015. Suelos y biodiversidad. Org. de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org/3/i4551s/i4551s.pdf>
- SADER-Secretaría de Desarrollo Rural, (2022). Bioinsumos transición agroecológica. <https://www.gob.mx/agricultura/documentos/bioinsumos-transicion-agroecologica>