



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
(INGENIERÍA DE SISTEMAS) – (INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES)

UN SISTEMA EXPERTO PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES DE LOS  
PRODUCTORES LOCALES DE AGUACATE HASS

MODALIDAD DE GRADUACIÓN: TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRA EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
ING. MARÍA AIDÉE LUZ BUSTOS

TUTORA PRINCIPAL  
DRA. AIDA, HUERTA, BARRIENTOS, FACULTAD DE INGENIERÍA

CD. MX. ABRIL, 2024



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: Dr. Rivera Colmenero José Antonio.

Secretario: Dra. Segura Pérez Esther.

1 er. Vocal: Dra. Huerta Barrientos Aida

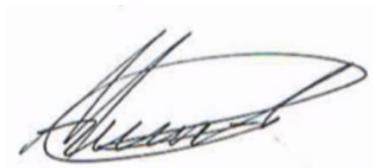
2 do. Vocal: M.I. Vera Morales Alma Elia.

3 er. Vocal: Dr. Velázquez Vázquez Daniel.

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX.

**TUTORA DE TESIS:**

DRA. AIDA HUERTA BARRIENTOS

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Aida Huerta Barrientos', is centered on the page. The signature is fluid and cursive.

-----  
**FIRMA**

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	7
AGRADECIMIENTOS .....	8
RESUMEN .....	9
ABSTRACT .....	10
INTRODUCCIÓN .....	11
<b>CAPÍTULO 1. LA PROBLEMÁTICA EN EL MODELO DE NEGOCIO DEL AGUACATE PARA PRODUCTORES LOCALES .....</b>	<b>14</b>
1.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL PANORAMA DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE AGUACATE HASS .....	14
1.1.1 <i>Panorama global</i> .....	14
1.1.2 <i>Los principales productores globales</i> .....	15
1.1.3 <i>Principales variedades de aguacate</i> .....	23
1.2 SITUACIÓN DESEADA DE LOS PRODUCTORES LOCALES DE AGUACATE HASS .....	23
1.3 EL PROBLEMA POR RESOLVER .....	24
1.4 EL OBJETIVO GENERAL .....	24
1.5 LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	24
<b>CAPÍTULO 2. LA REVISIÓN DE LA LITERATURA Y EL MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>26</b>
2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS .....	26
2.1.1 <i>Estructura de los Sistemas Expertos</i> .....	26
2.1.2 <i>Los Tipos de Sistemas Expertos</i> .....	27
2.1.2.1 <i>Basados en reglas previamente establecidas</i> .....	27
2.1.2.2 <i>Basados en casos de Sistemas Expertos</i> .....	27
2.1.2.3 <i>Basados en redes bayesianas</i> .....	28
2.1.2.4 <i>Sistemas Expertos difusos</i> .....	28
2.2 SISTEMAS EXPERTOS QUE APOYEN LA TOMA DE DECISIONES DE SISTEMAS AGROALIMENTARIOS .....	28
2.2.1 <i>Simulador del Estado de Desarrollo Floral del Aguacate 'Hass' para los municipios de Tepic y Xalisco, Nayarit, México</i> .....	29
2.2.2 <i>Estado del Desarrollo Floral del aguacate Hass en Michoacán, México</i> .....	31
2.3 METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA CARACTERIZAR LA APTITUD DEL SUELO .....	33
2.3.1 <i>Sistemas de producción</i> .....	33
2.3.2 <i>Evaluación del suelo</i> .....	34
2.3.3 <i>Requerimientos del cultivo</i> .....	36
2.4 REGIONES DE MICHOCÁN DONDE SE CULTIVA AGUACATE HASS .....	39
2.5 INDICADORES ECONÓMICOS Y COMERCIALES DE ACTIVIDADES AGROPECUARIAS .....	41
2.5.1 <i>Costos de producción por hectárea</i> .....	41
2.5.2 <i>Indicadores económicos de la producción de aguacate Hass</i> .....	42
2.6 ESTIMATIVO DE LA COSECHA .....	46
2.6.1 <i>Cosecha</i> .....	47
2.6.2 <i>Control calidad fruta post cosecha</i> .....	48
<b>CAPÍTULO 3. LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES DE PRODUCTORES LOCALES DE AGUACATE HASS .....</b>	<b>50</b>

3.1 EL DISEÑO DEL SISTEMA EXPERTO .....	50
3.1.1 El modelo conceptual .....	50
3.1.2 El software de simulación .....	52
3.2 EL SISTEMA EXPERTO .....	53
3.2.1 Módulo de localización .....	53
3.2.2 Módulo agrícola .....	55
3.2.3 Módulo comercial .....	56
3.2.4 Módulo económico .....	57
3.3 LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO .....	58
<b>CAPÍTULO 4. VALIDACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO .....</b>	<b>60</b>
4.1 MÓDULO DE LOCALIZACIÓN .....	60
4.2 MÓDULO AGRÍCOLA .....	62
4.3 MÓDULO COMERCIAL .....	64
4.4 MÓDULO ECONÓMICO .....	66
<b>CAPÍTULO 5. TRANSFERENCIA DEL SISTEMA EXPERTO AL ÁREA USUARIA .....</b>	<b>67</b>
5.1 MÓDULO DE LOCALIZACIÓN .....	67
5.2 MÓDULO AGRÍCOLA .....	69
5.3 MÓDULO COMERCIAL .....	70
5.4 MÓDULO ECONÓMICO .....	71
<b>RECOMENDACIONES GENERALES .....</b>	<b>72</b>
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>72</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>76</b>
<b>ANEXO A .....</b>	<b>80</b>
<b>ANEXO B .....</b>	<b>90</b>

## Índice de Figuras

FIGURA 1. SITUACIÓN DE MÉXICO EN EL RAMO DE LA AGRICULTURA. ....	17
FIGURA 2 . CADENA DE SUMINISTRO DEL AGUACATE.....	21
FIGURA 3. MAPAS DE COMERCIO DE MÉXICO A USA MEDIANTE GEO CODIFICACIÓN DE UBICACIONES DE EMPRESAS DE LA CADENA DE SUMINISTRO. ....	22
FIGURA 4. INTERFAZ DE USUARIO DEL SIMULADOR DEL ESTADO DE DESARROLLO FLORAL DEL AGUACATE HASS.....	31
FIGURA 5. INTERFAZ DE USUARIO DEL SIMULADOR DEL ESTADO DE DESARROLLO FLORAL DEL AGUACATE HASS EN MICHOACÁN.....	33
FIGURA 6. LINEAMIENTOS BÁSICOS PARA LA EVALUACIÓN DE TIERRAS. ....	34
FIGURA 7. CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA LA PLANIFICACIÓN DEL USO DE LA TIERRA CON FINES PRODUCTIVOS. ....	36
FIGURA 8. ÁREAS POTENCIA LES PARA EL CULTIVO DE AGUACATE HASS EN MICHOACÁN. ....	41
FIGURA 9. MODELO CONCEPTUAL DEL SISTEMA EXPERTO PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES DE LOS PRODUCTORES LOCALES DE AGUACATE HASS.....	51
FIGURA 10. CAPTURA DE PANTALLA DEL SISTEMA EXPERTO PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES DE LOS PRODUCTORES DE AGUACATE HASS. EN NETLOGO. ....	53
FIGURA 11. CAPTURA DE PANTALLA DEL SISTEMA EXPERTO DE AGUACATE HASS, MÓDULO LOCALIDAD. DATOS GEOGRÁFICOS E HISTÓRICOS METEOROLÓGICOS. ....	54
FIGURA 12. CAPTURA DE PANTALLA DEL SISTEMA EXPERTO DE AGUACATE HASS. MÓDULO LOCALIDAD. ESTUDIO DEL SUELO.....	55
FIGURA 13. CAPTURA DE PANTALLA DEL SISTEMA EXPERTO DEL MÓDULO DEL CULTIVO.. ....	56
FIGURA 14. CAPTURA DE PANTALLA DEL MÓDULO COMERCIAL DEL SISTEMA EXPERTO DE AGUACATE HASS	57
FIGURA 15. CAPTURA DE PANTALLA DE SISTEMA EXPERTO DE AGUACATE HASS. MÓDULO ECONÓMICO.....	58
FIGURA 16. LOCALIZACIÓN DE LA HUERTA DEL CASO DE ESTUDIO UBICADO EN EL ESTADO DE MICHOACÁN	60
FIGURA 17. IMAGEN DEL PREDIO DE LA HUERTA EN PERIBÁN, MICHOACÁN .....	61
FIGURA 18. POLÍGONO DEL PREDIO GENERADO EN QGS Y CARGADO EN NETLOGO. ....	61
FIGURA 19. POLÍGONO DEL PREDIO CON CAMINOS INTERNOS. ....	62
FIGURA 20. PESO DEL FRUTO. ....	63
FIGURA 21. GUSANO FALSO MEDIDOR EN PLANTA. ....	63
FIGURA 22. GUSANO ROSADO EN PLANTA.....	64
FIGURA 23. GUÍA DE BOTONES DEL MÓDULO LOCALIDAD. ....	67
FIGURA 24. GUÍA DE BOTONES DEL ESTUDIO DEL SUELO MÓDULO LOCALIDAD. ....	68
FIGURA 25. GUÍA DE BOTONES DEL MÓDULO AGRÍCOLA. ....	69
FIGURA 26. GUÍA DE BOTONES DEL MÓDULO COMERCIAL. ....	70
FIGURA 27. GUÍA DE BOTONES DEL ESTUDIO DEL SUELO MÓDULO ECONÓMICO. ....	71
FIGURA 28. ZONAS IDEALES PARA SIEMBRA DE AGUACATE HASS EN EL ESTADO DE MICHOACÁN EN EL MODELO DE NETLOGO™ .....	73

## Índice de Tablas

TABLA 1. CLASES DE AGUACATE.....	23
TABLA 2. CONDICIONES IDÓNEAS PARA EL CULTIVO DEL AGUACATE HASS. ....	39
TABLA 3. MUNICIPIOS DE MICHOACÁN CON POTENCIAL PRODUCCIÓN DE AGUACATE .....	40
TABLA 4. EJEMPLO DE COSTOS VARIABLES DE UN HUERTO DE AGUACATE HASS. ....	42
TABLA 5. EJEMPLO DE COSTOS FIJOS DE UN HUERTO DE AGUACATE HASS. ....	42
TABLA 6. EJEMPLO DE DESAGREGACIÓN DE COSTOS DE PRODUCCIÓN POR HECTÁREA DE AGUACATE EN MICHOACÁN, MÉXICO, 2013. ....	42
TABLA 7. EJEMPLO DE COSTOS DE PRODUCCIÓN, PRECIO DE VENTA Y GANANCIA NETA POR TONELADA DE AGUACATE.....	44
TABLA 8. EJEMPLO DE RESUMEN DEL PRESUPUESTO A PRECIOS PRIVADOS DE MERCADO POR HECTÁREA DE AGUACATE EN MICHOACÁN MÉXICO 2013.....	45
TABLA 9 .MARCO Y MICROELEMENTOS ANALIZADOS EN EL ESTUDIO DE SUELO. ....	62
TABLA 10. PRECIOS DE MERCADO POR CATEGORÍA. ....	65
TABLA 11 PRECIOS DE COMPRA. ....	65
TABLA 12 TABLA DE RESULTADOS DE ANÁLISIS DEL SUELO. ....	74
TABLA 13 INDICADORES DE VIABILIDAD DEL MODELO DE NEGOCIO. ....	74

## Índice de Gráficas

GRÁFICA 1. EXPORTADORES DE AGUACATE EN EL MUNDO 2018..	15
GRÁFICA 2. PROYECCIÓN DEL AGUACATE EN COLOMBIA .	18

## **AGRADECIMIENTOS**

*Gracias a Dios, por darme la posibilidad de continuar con mi preparación y darme una familia que me apoya, por lo cual pude cursar este posgrado.*

*A mis padres, Patricia y Fermín, gracias por ser el mejor ejemplo e inculcarme lo valioso que es el estudio. No hay palabras para agradecer todo lo que nos han proporcionado.*

*A mis hermanos, Alba y Fermín, los mejores compañeros de vida que sin su ayuda no hubiera llegado a donde estoy.*

*Josh Butrick. Thank you for believing in me, supporting me and encouraging me through my continued studies and through everything in life. I am so grateful to have you and for what a wonderful and kind person you are. I can't wait to share the rest of my life with you.*

*A mis familiares y amigos que siempre están presentes. A mi tía Emilia que inspira a seguir el camino de la investigación.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México, mi alma mater, que por segunda vez me abrió sus puertas para continuar con mi formación académica.*

*A la Universidad de Antioquía por darme la oportunidad de estudiar un semestre en el extranjero.*

*Al CONACYT por brindarme el recurso durante la maestría.*

*A mis profesores que ayudaron a formarme a lo largo de este periodo y a mi sinodales, por la revisión de este trabajo y sus comentarios.*

*Y en especial a mi tutora la dra. Aida Huerta hHBarrientos, por toda su ayuda incondicional en la elaboración de este proyecto, tanto como por el asesoramiento durante toda la maestría, apoyo en el trámite de la beca CONACYT y el seguimiento para realizar un semestre de intercambio en el extranjero, gracias por ser una guía y un ser humano excepcional.*

## RESUMEN

El aguacate Hass, por su nombre científico *Persea Americana* perteneciente a la familia Lauraceae, es una fruta que se utiliza para consumo humano y además su aceite es un insumo importante para la industria de cosméticos y farmacéutica. El aguacate ha percibido un incremento en la demanda a nivel mundial motivada por la promoción mundial, donde es categorizado como un súper alimento, tanto que la oferta que existe por parte de los países productores es insuficiente para cubrir los requerimientos de los países importadores. De esta forma, a lo largo de las últimas décadas, la demanda por el consumo del aguacate se ha incrementado cada año en los países de América del Norte, Europa, China y el Sudeste de Asia. La problemática que se aborda en esta tesis es que los productores locales de aguacate Hass presentan rezago en la productividad, tienen baja competitividad al pretender cubrir mercados externos, y su modelo de negocio no es viable, lo que se traduce en grandes pérdidas económicas para ellos. En esta dirección, el objetivo general de la presente tesis es diseñar, implementar y validar un sistema experto basado en simulación utilizando el software NETLOGO™, para apoyar la toma de decisiones de los productores locales de aguacate Hass que les permita estimar de forma anticipada la cosecha y evaluar los indicadores comerciales y económicos para garantizar la viabilidad de su modelo de negocio. En primer lugar, se revisa la literatura acerca de los sistemas expertos que apoyen la toma de decisiones de sistemas agroalimentarios. También, se revisa la literatura acerca de las metodologías utilizadas para caracterizar la aptitud del suelo que permitan el adecuado desarrollo de actividades agropecuarias como es el cultivo del aguacate Hass y la literatura acerca de los indicadores económicos y comerciales de actividades agropecuarias. En segundo lugar, se diseñó e implementó un sistema experto basado en simulación utilizando el software NETLOGO™, para apoyar la toma de decisiones de los productores locales de aguacate Hass que les permita estimar de forma anticipatoria la cosecha y evaluar los indicadores comerciales y económicos para garantizar la viabilidad de su modelo de negocio. En tercer lugar, se valida el sistema experto con información de una productora local de Michoacán. Finalmente, se presenta un Manual de Usuario que permitirá transferir el sistema experto a la productora local.

Palabras clave: aguacate hass; sistema experto; producción; software de simulación.

## **ABSTRACT**

The Hass avocado, by its scientific name *Persea Americana* belonging to the Lauraceae family, is used for human consumption and its oil is also an important input for the cosmetics and pharmaceutical industry. Avocado has received an increase in demand worldwide motivated by global promotion, where it is categorized as a super food, so much so that the supply that exists from producing countries is insufficient to meet the requirements of importing countries. In this way, throughout the last decades, the demand for avocado consumption has increased every year in the countries of North America, Europe, China and Southeast Asia. The problem addressed in this thesis is that local Hass avocado producers have a lag in productivity, have low competitiveness when trying to cover foreign markets, and their business model is not viable, which translates into large economic losses for them. In this direction, the general objective of this thesis is to design, implement and validate an expert system based on simulation using the NETLOGO™ software, to support the decision making of local Hass avocado producers that allows them to estimate the harvest in advance and evaluate the commercial and economic indicators to guarantee the viability of your business model. First, the literature on expert systems that support decision-making in agri-food systems is reviewed. Also, the literature about the methodologies used to characterize the aptitude of the soil that allows the adequate development of agricultural activities such as the cultivation of the Hass avocado and the literature about the economic and commercial indicators of agricultural activities is reviewed. Secondly, an expert system based on simulation is designed and implemented using the NETLOGO™ software, to support the decision-making of local Hass avocado producers that allows them to anticipate the harvest and evaluate the commercial and economic indicators to guarantee the viability of your business model. Third, the expert system is validated with information from local producers located in the literature. Finally, a User Manual is presented that will allow the transfer of the expert system to local producers.

Key words: hass avocado; expert system; production; simulation software.

## INTRODUCCIÓN

El aguacate Hass, por su nombre científico *Persea Americana* perteneciente a la familia Lauraceae se utiliza para consumo humano y además su aceite es un insumo importante para la industria de cosméticos y farmacéutica, el aguacate es una baya con una sola semilla, que varía en tamaño, forma y características de su corteza, pulpa y semilla. El fruto originario de América central y el Caribe (Núñez *et al.*, 2019), tiene muy poca riqueza en azúcares, en cambio su contenido en proteínas es el más elevado de todas las frutas frescas. De igual manera, se destaca su riqueza de sales minerales, ácidos orgánicos y vitaminas liposolubles (Chunga, 2014). El aguacate ha percibido un incremento en la demanda a nivel mundial motivada por la promoción mundial, donde es categorizado como un “super alimento”, tanto que la oferta que existe por parte de los países productores es insuficiente para cubrir los requerimientos de los países importadores. A lo largo de las últimas décadas, la demanda por el consumo del aguacate se incrementa cada año en los países de América del Norte, Europa, China y el Sudeste de Asia.

Por otro lado, la toma de decisiones para la administración de un cultivo agrícola es un tema complejo debido a la gran cantidad de variables asociadas para desarrollar una función de producción viable. El número de factores y la naturaleza temporal de algunos de esos factores hacen que sea casi imposible su análisis sin ayuda de métodos asistidos por computadora, especialmente en una donde un insumo en cualquier punto en el tiempo puede tener un efecto más de una vez. La producción agrícola se ha transformado en un proceso dinámico complejo que demanda la recopilación de información de diversos medios a través de modelos o sistemas de respaldo para monitorear, controlar, alertar y prevenir daños en el cultivo por diferentes variaciones, que si no se tratan a tiempo puede afectar el resultado de la cosecha traduciéndose en pérdidas monetarias.

En una computadora se introduce el conocimiento humano para resolver problemas que por lo general requieren de expertos humanos, los sistemas expertos imitan el proceso de razonamiento que expertos utilizarían para resolver problemas específicos. Los Sistemas Expertos son creados para ser utilizados por no-expertos y ayudar para resolver problemas, también pueden ser utilizados como asistentes por expertos. Los Sistemas Expertos surgieron a mediados de 1960 desarrollados dentro de la comunidad de Inteligencia Artificial con el objetivo de “encontrar una forma de transformar el objeto “a en el objeto b”. Los objetos a y b pueden ser cualquier objeto, definidos en la especificación del ambiente de ejecución. La forma de transformar implica “aplicar una secuencia de operadores desde el ambiente de ejecución”. Los problemas complejos demandan una gran cantidad de

conocimiento sobre el área del problema y los expertos humanos actúan en un dominio más acotado, sin embargo, los sistemas expertos necesitan ser actualizados constantemente con nueva información para que sigan siendo funcionales (Badaró, 2013).

En la literatura encontramos ejemplos de Sistemas Expertos y Simuladores que han apoyado la toma de decisiones de productores locales de aguacate:

- Simulador del Estado de Desarrollo Floral del Aguacate 'Hass' para los municipios de Tepic y Xalisco, Nayarit, México.
- Estado del Desarrollo Floral del aguacate Hass en Michoacán, México.

Sin embargo, los productores locales de aguacate Hass presentan un rezago en la productividad, tienen baja competitividad al pretender cubrir mercados externos, y su modelo de negocio no es viable, lo que se traduce en grandes pérdidas económicas para ellos. En esta dirección, el objetivo general de la presente tesis es diseñar, implementar y validar un sistema experto basado en simulación utilizando el software NETLOGO™, para apoyar la toma de decisiones de los productores locales de aguacate Hass que les permita estimar de forma anticipada la cosecha y evaluar los indicadores comerciales y económicos para garantizar la viabilidad de su modelo de negocio. El Sistema Experto está conformado por cuatro módulos: Localidad, Cultivo, Comercial y Económico que aporte a los productores una estructura de negocio, con la cual contarán con un experto en agronomía, disponible para realizar acciones de manera autónoma, a fin de mejorar la productividad y calidad de los cultivos. Las ventajas radican en que al controlar de manera autónoma las variables de entorno, se genere una base de conocimiento que permita utilizar esa información a favor de las necesidades puntuales del cultivo en tiempo real.

De esta forma, esta tesis está constituida por cinco capítulos que se describen enseguida. En el **Capítulo 1**, se describe el panorama global del aguacate Hass, se presenta la problemática que enfrentan los productores locales del aguacate Hass y se expone la situación deseada de ellos en relación con su cultivo. Además, se plantean los objetivos tanto el general como los objetivos específicos de esta tesis.

En el **Capítulo 2**, se presenta la revisión de la literatura acerca de un sistema experto que apoyen la toma de decisiones de sistemas agroalimentarios. También, se revisa la literatura acerca de las metodologías utilizadas para caracterizar la aptitud del suelo que permitan el adecuado desarrollo de actividades agropecuarias en el caso del cultivo del aguacate Hass

y la literatura acerca de los indicadores económicos y comerciales de actividades agropecuarias.

En el **Capítulo 3**, se diseñó e implementó un sistema experto basado en simulación utilizando el software NETLOGO™, para apoyar la toma de decisiones de los productores locales de aguacate Hass en relación con la caracterización de la aptitud de la zona de cultivo en términos de variables físico-químicas y biológicas, socio-ecosistémicas y socio-económicas, y que les permita estimar de forma anticipada la cosecha y evaluar los indicadores comerciales y económicos para garantizar la viabilidad de su modelo de negocio.

En el **Capítulo 4**, se valida el sistema experto con información de una productora local de Michoacán.

En el **Capítulo 5**, se presenta Manual de Usuario que permitirá transferir el sistema experto a la productora local.

## **CAPÍTULO 1. LA PROBLEMÁTICA EN EL MODELO DE NEGOCIO DEL AGUACATE PARA PRODUCTORES LOCALES**

### **1.1 SITUACIÓN ACTUAL DEL PANORAMA DE LA CADENA DE SUMINISTRO DE AGUACATE HASS**

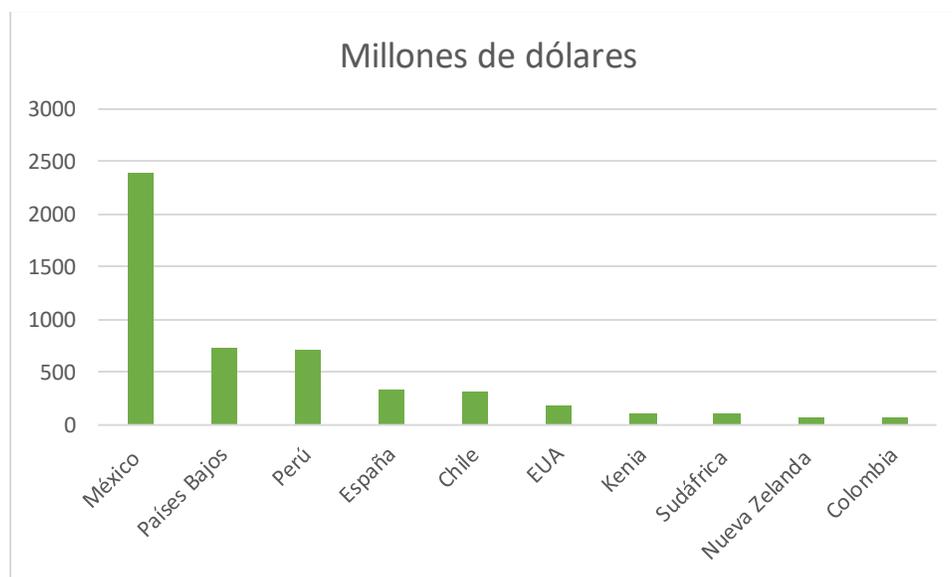
#### **1.1.1 Panorama global**

Estados Unidos por tradición, es el mayor importador en el mercado para el Aguacate Hass, sin embargo, para el 2016, con un crecimiento que supera el 40%, la Unión Europea se catapultó como el mercado a conquistar por los productores de este fruto (Madero y Castro, 2019). El valor de las importaciones en el mundo es superior a los USD 4,400 millones, Estados Unidos representa el 40% de este valor, con un poco menos de USD 2000 millones, sin embargo, la Unión Europea en conjunto, superó esta barrera en 2016 y actualmente adquiere el 41% de las importaciones totales de Aguacate Hass en el mundo. Canadá, China, Japón, Argentina, Letonia y Australia por su parte tienen participaciones menores al 5%, sin embargo, es importante destacarlos en este análisis debido a que se puede observar como una oportunidad de negocio y ampliar el mercado en dichos destinos. Los países interesados en tomar parte en las exportaciones de este fruto son: México, República Dominicana, Perú, Chile y Colombia.

De acuerdo con Madero y Castro (2019), México se establece como el mayor productor y exportador global de aguacate, seguido por Países Bajos, Perú, Chile y España. Con una participación del 46% de las exportaciones en el mundo, México aporta al mercado global 926 mil toneladas de Aguacate Hass con un valor de USD 2,025 millones y un precio promedio de USD 2,184 por tonelada; Países Bajos aporta el 14%, exporta 195 mil toneladas por un valor de USD 607 millones y un precio promedio es de USD 2,110 por tonelada; Perú participa con un 9% con 194 mil toneladas exportadas por valor de USD 396 millones y un promedio de USD 2,043 por tonelada. Cabe resaltar que tanto el volumen como el valor del aguacate incrementaron en el mundo entre 2015 y 2016, 15% y 31% respectivamente, al pasar de 1.6 millones de toneladas por un valor de USD 3,360 millones a 1.9 millones de toneladas por USD 4,400 millones. Chile se encuentra en el Número 5 y Colombia apenas participó del mercado mundial de aguacates con un poco más de 18 mil toneladas por un valor de USD 35 millones, aportando solo el 0.8% de las exportaciones mundiales.

### 1.1.2 Los principales productores globales

México, Países Bajos y Perú fueron los líderes en la lista de los mayores exportadores de aguacate en el mundo durante 2018 seguidos de España, Chile, Estados Unidos, Kenia, Sudáfrica, Nueva Zelanda y Colombia. México exportó la cantidad de aguacate equivalente 2,392 millones de dólares, los Países Bajos lo hicieron por 734 millones de dólares (Opportimes, 2022).



Gráfica 1. Exportadores de aguacate en el mundo 2018. Fuente: Elaboración propia con información de Opportimes (2022).

### El caso de México

Históricamente México es la cuna mundial del aguacate, se ha detectado en excavaciones arqueológicas realizadas en la región Coxcatlán, en el estado de Puebla, la fruta estaba presente en la región hace más de 7 mil años, se tiene la hipótesis que el cinturón volcánico central del país atraviesa Michoacán es el hábitat natural de una de las tres variedades de *Persea americana* Miller, también conocida como la raza mexicana. No obstante, el área del cultivo mexicano ha aumentado recientemente hasta alcanzar la inmensa proporción de más de 200 mil ha existentes a la fecha. Las primeras estadísticas agrícolas del país proponen que, en la década de 1930, esta área era de aproximadamente solo 3 mil ha. (Hofshi R, 2006).

La difusión de mejores técnicas de producción (injerto) y variedades mejoradas como Fuerte provocaron un crecimiento en tendencia durante las siguientes décadas, aunque a

un nivel relativamente limitado, ya que el área de cultivo alcanzó 10 mil ha a finales de la década de 1950. A partir de entonces, la industria intentó empezar a despegar. Dos factores claves marcaron el inicio de crecimiento del aguacate en México, por un lado, la crisis de producción en los EE. UU. en la década de 1960 llevó a los productores de viveros californianos a encontrar mercados en México para sus plantas Hass, una variedad descubierta en la década de 1930. Esta variedad se convirtió rápidamente en el referente nacional gracias a su resistencia postcosecha, su rendimiento y su sabor. Por otro lado, desde principios de la década de 1970 el gobierno mexicano implementó políticas de desarrollo a los cultivos de frutas, especialmente en Michoacán, para prevenir la sobreproducción de café, cultivo predominante en esta región muy fértil. Se implantó un plan específico destinado a promover el desarrollo del aguacate en la zona.

En 1973 CONAFRUT (Comisión Nacional de Fruticultura) desarrollo un movimiento para impulsar la siembra de aguacate. Dentro de los objetivos se buscaba brindar asistencia técnica, mejorar créditos por parte de FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura) y hasta se donación de plantas. Fue entonces cuando el área de cultivo experimentó una rápida expansión, hasta aproximadamente 50 000 ha a mediados de la década de 1970, y luego a 100 000 ha en la década de 1980, con Michoacán convirtiéndose en el principal productor (Senasica, 2020).

En el estado de Michoacán, el cultivo se ve favorecido por las condiciones ideales de la tierra, así como las condiciones climáticas. Si bien el aguacate Hass conserva una excelente rentabilidad, la tasa de expansión del área de cultivo podría ser menos frenética que antes. En México, el consumo del fruto en la población ha pasado de 500 gramos, antes de 1997, a 3.5 kilogramos per cápita en la actualidad. (Senasica, 2020). Cabe señalar que, los micro y pequeños productores son quienes sostienen la mayor parte de la exportación de aguacate en Michoacán, de 26 mil 980 agricultores registrados en el Plan de Exportación 25 mil 377 cultivan en huertos menores a 10 hectáreas.

En cuanto a los productores que exportan, existen alrededor de siete mil 500 siembran en superficies menores a una hectárea; siete mil 64 cultivan en huertos de entre una y dos hectáreas; tres mil 900 trabajan superficies de entre dos y tres hectáreas; dos mil 366 cultivan en terrenos de entre tres y cuatro hectáreas, mientras que mil 493 agricultores cosechan en huertos de entre cuatro y cinco hectáreas (Senasica, 2020).

La empleabilidad que ocupa esta actividad en Michoacán se ha incrementado 106 por ciento durante la última década. El cultivo de aguacate michoacano genera 310 mil empleos directos y 78 mil indirectos y se estima que cada mil toneladas cosechadas generan 160 empleos (Senasica, 2020).

En 2018, con el apoyo de la Secretaría de Agricultura, los productores michoacanos de aguacate exportaron en enero a Estados Unidos 127 mil toneladas del fruto, lo que superó las expectativas para esta temporada, estimadas en 125 mil toneladas, en beneficio directo de más de 100 mil familias que se han arraigado a los huertos michoacanos, por lo que han dejado de migrar (Senasica, 2023).

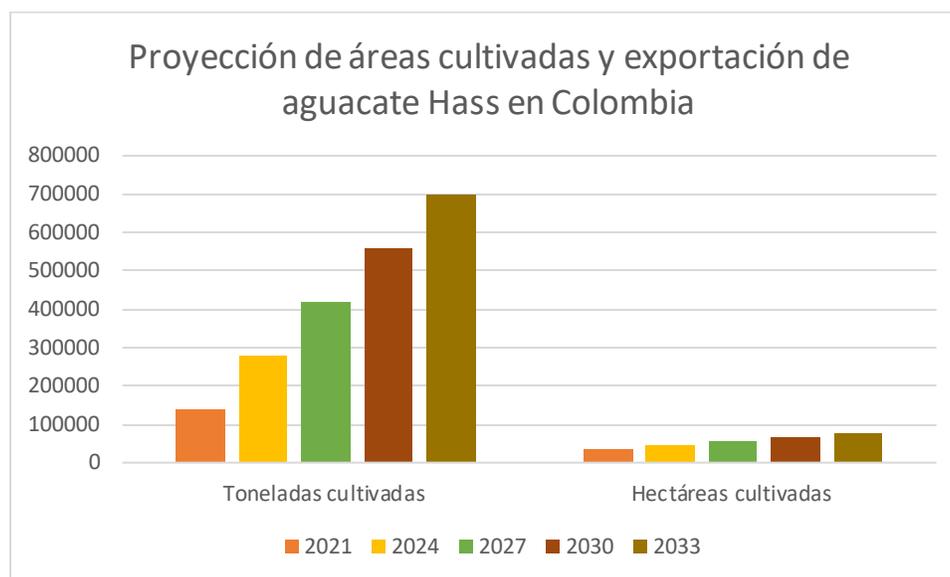


Figura 1. Situación de México en el ramo de la agricultura. Fuente: Elaboración propia con información de SADER (2018).

### El caso de Colombia

El aguacate Hass representa una excelente oportunidad para el sector agrícola colombiano. De acuerdo con MinAgricultura (2018) y citado en (W Radio, 2018), para el 2018 Colombia registró crecimientos en la plantación, producción y exportación de aguacates, cifras que posicionan a la nación como la cuarta mayor productora global, pasó de tener 49,056 hectáreas cultivadas en 2014 a 73,986 hectáreas en 2018. Con base en los datos del Ministerio de Agricultura de Colombia, el éxito ha sido tal que el área sembrada de aguacates aumentó cerca del 49% en los últimos 4 años. Dicha expansión de los cultivos

está asociada directamente con la creciente demanda internacional del aguacate Hass, como lo sugiere MinAgricultura (2018).



Gráfica 2. Proyección del aguacate en Colombia. Fuente: Elaboración propia con datos de Bancolombia (2017).

Como lo indican Schwartz *et al.* (2018), Colombia y Perú son los países que pueden tener un mayor crecimiento, debido a la disponibilidad de tierras, mientras que México ya presenta dificultades por el encarecimiento de la tierra y problemas asociados a cambios climáticos, los cuales dificultan la expansión de su producción.

Las exportaciones colombianas de aguacate tuvieron un crecimiento significativo en los últimos años, aportando con esto a la economía nacional y al optimismo que se tiene en torno a este alimento en términos de comercialización internacional. Los principales destinos de exportación de aguacate colombiano son Países Bajos, España, Reino Unido, Bélgica y Francia, demostrando así la gran participación en mercados europeos de este producto, como respuesta a sus altos niveles de demanda para consumo en los últimos años (ANALDEX, 2022). Es importante señalar que, las exportaciones de aguacate colombiano durante los últimos seis años se concentraron principalmente en Países Bajos, Reino Unido y Francia, representando un 51.4% de las exportaciones de aguacate para Colombia. Sin embargo, Trademap (2019) percibió la falta de transacciones de aguacate colombiano en el mercado asiático, dentro de los cuales se encuentra Corea del Sur, México y Perú aprovechan este destino tan extenso e importante en el mercado mundial.

Los principales exportadores de aguacate hacia Corea del Sur entre 2014 y 2019 fueron México, Estados Unidos y Nueva Zelanda, Colombia no ha aprovechado este potencial

exportador de aguacate para ofrecer sus productos en mercados asiáticos. Partiendo de este contexto, Colombia debe considerar un mejor aprovechamiento de la creciente demanda de este producto en Corea del Sur y la zona asiática, invirtiendo no solo en procesos productivos sino también en las relaciones diplomáticas que fortalecerán un comercio duradero entre los países para reducir las restricciones fitosanitarias y demás procesos impositivos sobre el comercio que retrasan los pasos necesarios para llegar a un acuerdo comercial con los demás países del mundo (Schwartz *et al.*, 2018).

### **El caso de República Dominicana**

El aguacate (*Persea americana* Mill.) para la República Dominicana es un cultivo de alto valor comercial, contribuye a su socioeconomía generando empleos y divisas. Estados Unidos y Puerto Rico son los principales mercados del aguacate dominicano, donde tienen normas claras con los requerimientos de cosecha de los aguacates de acuerdo con la variedad y la zona de siembra. La cosecha de aguacate en el país se realiza basada en la experiencia de los productores, quienes generalmente utilizan como indicadores de madurez: el color y el tamaño de la fruta. Sin embargo, para algunos autores, estos indicadores no son confiables. Como resultado se tiene una amplia variabilidad en la calidad de la fruta, perjudicando de manera directa su valor comercial y a los consumidores finales, de la misma forma que debilita el propio sistema de comercialización. Las medidas son cada vez más exigentes, con la agravante de que EE. UU. no permite la entrada del fruto del país antes de mediados de octubre momento en que en ese país consideran las frutas dominicanas han alcanzado la madurez deseada (Cuevas, 2014).

En el caso de República Dominicana, compite con México de manera indirecta al exportar una variedad de aguacate distinta a la Hass. Nueva Zelanda, por su parte, es el único exportador a Australia, mercado cuya rápida expansión permite a Nueva Zelanda ser la nación con mayor tasa de crecimiento en su BCR. Indonesia, a pesar de tener un potencial productivo importante (7.7%), no es representativo en los mercados externos (Cuevas, 2014).

### **El caso de Perú**

Perú tiene 10.16% de la producción de aguacate Hass a nivel mundial, y exporta el 42% de lo que produce; aunque actualmente su participación en el mercado de exportación es apenas una décima parte de la de México, sin lugar a duda será uno de los principales competidores (Macias, 2011).

Por parte Israel y Sudáfrica han disminuido su participación en el mercado, Israel ha perdido competitividad en mercados europeos frente a países sudamericanos como Chile y Perú.

Perú tiene restricciones fitosanitarias para exportar a Estados Unidos, sin embargo, si logran acuerdos para levantar esas restricciones, Perú se podría convertir en un fuerte competidor para México, principalmente en el periodo de mayo a agosto, periodo en que México disminuye sus exportaciones en esta época y Chile entra hasta agosto. De los otros países del continente americano, Canadá sigue siendo un mercado atractivo, dominado casi en su totalidad por México, aunque Chile y Perú empiezan a incursionar. Otro mercado atractivo para México es el centroamericano: El Salvador, Costa Rica, Honduras, Barbados y Guatemala, cuya posición geográfica e historia cultural, lo hace tener altas tasas de consumo per cápita (Macias A, 2011).

### **La cadena de suministro del aguacate Hass**

El aguacate fresco es un producto perecedero que requiere tratamiento postcosecha para las inspecciones fitosanitarias del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (por sus siglas en inglés: United States Department of Agriculture; USDA), así como el sistema logístico para proteger la calidad de la fruta durante los traslados (Cho, 2020). Las características ideales del aguacate se convierten en una barrera para pequeños y medianos agricultores que quieran ingresar al lucrativo mercado estadounidense, esto ha producido una estructura industrial concentrada con 26,000 agricultores que abastecen a solo 60 exportadores de aguacate.

La cadena de suministro de aguacate Hass en Michoacán era la única designada entre Estados Unidos y México por el USDA como el único estado mexicano autorizado a exportar aguacates a los EE. UU. (APEAM, 2017), hasta que el USDA autorizó a 10 municipios jaliscienses exportar el fruto a ese país en julio del 2022 (El Economista, 2023).

Este acuerdo para el estado de Michoacán ha generado presiones ambientales y sociales por la expansión en la industria del aguacate, la expansión de cultivos de aguacate representa una amenaza a la biodiversidad en Michoacán, principalmente por la destrucción de hábitats a través de la deforestación y los usos de agroquímicos. La deforestación por la expansión del aguacate en Michoacán también tiene dimensiones sociales, como la

destrucción de los hábitats de los pinos significa una disminución de los servicios en los ecosistemas y poblaciones locales que no se benefician de estos cultivos.

La cadena de suministro consta de cinco actores corporativos tratados como nodos: (1) Los productores son los agricultores de aguacates Hass en Michoacán; (2) Los empacadores preparan aguacates para la exportación a EE. UU. de acuerdo con las normas fitosanitarias (APHIS, 2001); (3) Los exportadores envían aguacates adecuados a los importadores estadounidenses; (4) Los importadores reciben aguacates en pasos fronterizos o puertos y los entregan a centros de distribución; (5) Los minoristas reciben aguacates de los importadores y los venden a particulares o restaurantes (Cho, 2020).



Figura 2 . Cadena de suministro del aguacate. Fuente: Elaboración propia (2022).

Cuando los aguacates están listos para la cosecha, son contactados los productores (1) de Michoacán por empacadores (2) para vender sus aguacates. Los empacadores mandan los aguacates a sus empacadoras para control de calidad y empaque. Aunque todos los empacadores también son exportadores (3), también operan exportadores independientes. Después de procesar los aguacates, las empacadoras transportan en camiones refrigerados los aguacates frescos hasta los puertos de USDA para inspección y traslado a camiones para entrega a importadores en Centros de distribución (4). Desde ahí, envían los aguacates a los minoristas de todo el país (5) (Cho, 2020).

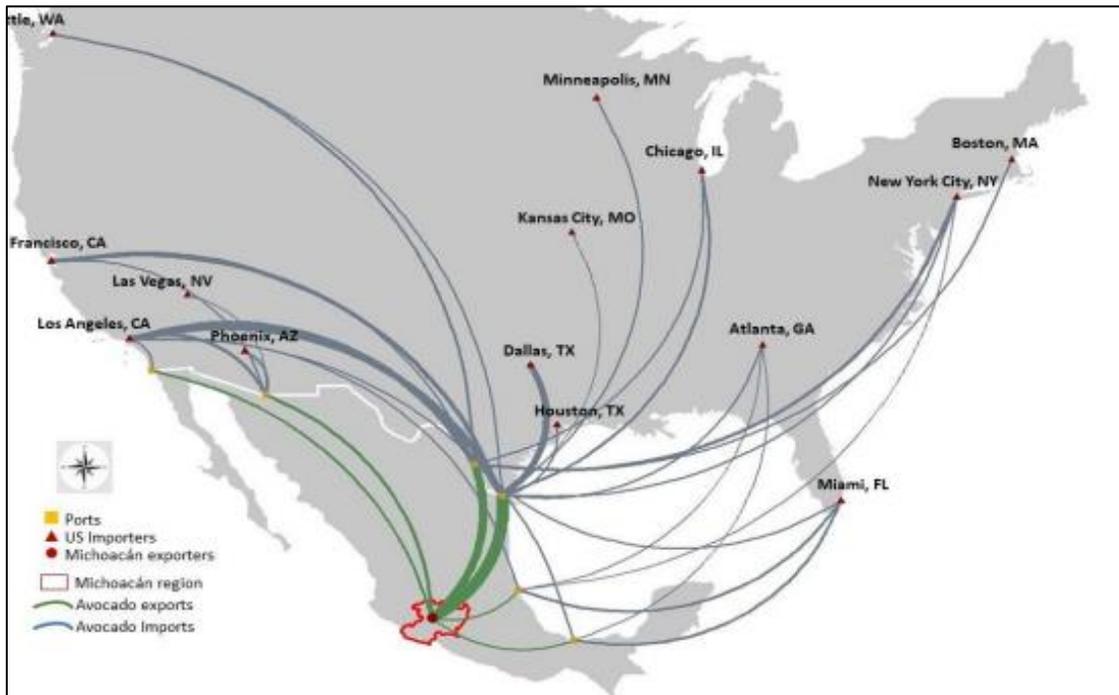


Figura 3. Mapa de comercio de México a USA mediante geo codificación de ubicaciones de empresas de la cadena de suministro. Fuente: (Cho, 2020).

El 97% de las transacciones a USA se hace por vía terrestre, y el restante por transporte marítimo o aéreo. El cruce fronterizo, Ciudad Reynosa Tamaulipas, maneja aproximadamente dos tercios del total de importaciones estadounidenses de aguacate mexicano (Cho, 2020).

Para que un productor pueda suministrar aguacates al mercado estadounidense debe ser miembro de Asociación de Productores y Empacadores Exportadores de Aguacate de México, APEAM tiene más de 26,000 miembros productores de Michoacán. La mayoría de los productores trabajan a pequeña escala, produciendo típicamente menos de 100 toneladas al año (APEAM, 2017). Los pequeños productores rara vez tienen un contrato fijo con los empacadores.

El gobierno de Estados Unidos tiene vínculos con todos los actores de la cadena de suministro, gestiona directamente a través de inspecciones fitosanitarias en fincas y empacadoras, y administra indirectamente al designar a Michoacán como el único proveedor de aguacate a USA concentrando así la producción en un área geográfica limitada (Cho, 2020).

### 1.1.3 Principales variedades de aguacate

A escala mundial son más de 60 los países productores de aguacate y existen más de 500 variedades. De las tres variedades del fruto: mexicana, guatemalteca y antillana se derivan otras variedades adaptadas a cada condición de cultivo.

El campo mexicano es generador de las tres variedades más importantes en el mundo, como: Hass, Criollo y Fuerte.

Tipo	Características
<i>Hass</i>	Es el más popular en el mercado internacional. Cuando está maduro, su cáscara adquiere un tono oscuro, casi negro. Tiene un gran sabor a nuez y avellana, con textura suave-cremosa y una semilla de pequeña a mediana. Disponible durante todo el año.
<i>Fuerte</i>	Su cáscara es gruesa, comparada con otras especies y no se oscurece con la maduración. Su piel es ligeramente áspera, con muchos pequeños puntos amarillos. Lo podemos encontrar desde finales de otoño hasta primavera. Tienen la forma de una pera, de gran sabor y pulpa cremosa.
<i>Criollo</i>	Se caracteriza por tener una cáscara muy delgada y suave, que se aferra a la masa, además, un hueso muy grande. El color de su cáscara es oscuro y su pulpa al madurar adopta un color amarillo-limón. Tiene entre sus principales características ser resistente al frío.

Tabla 1. Clases de aguacate. Fuente: Elaboración propia con datos de SAGARPA (2017).

### 1.2 SITUACIÓN DESEADA DE LOS PRODUCTORES LOCALES DE AGUACATE HASS

A través de un taller participativo realizado con pequeños productores, se identificó la necesidad de establecer un sistema de apoyo a la toma de decisiones enfocado en la caracterización de la aptitud de la zona de cultivo en términos de variables físico-químicas, biológicas, comerciales y económicas sin dejar de lado el término social. Los productores locales requieren hacer un análisis previo de la cosecha, a fin de conocer las características del fruto, fecha de primera cosecha, monitoreo de plagas y enfermedades, implementar un control de malezas, un control de calidad del fruto post cosecha, y cuantificar los impactos de podas vegetativas, sanitarias y resiembra. En términos comerciales, los productores locales requieren que la herramienta apoye su toma de decisiones en relación con los precios de mercado y de compra, así como del volumen de fruta despachada y de descarte y la estimación de la mano de obra postcosecha requerida. Y, en términos económicos, los productores locales requieren que la herramienta apoye su toma de decisiones en la estimación de indicadores económicos tales como el balance económico.

### 1.3 EL PROBLEMA POR RESOLVER

El problema que se aborda en esta tesis radica en que los productores locales de aguacate Hass no cuentan con una herramienta que apoye su toma de decisiones en relación con aspectos como: la zona de cultivo, la anticipación en la estimación de la cosecha, al igual que indicadores comerciales y económicos que hagan viable su plan de negocio. Por lo anterior, se tiene ineficiencia en el uso del suelo agropecuario, los productores locales presentan rezago en la productividad, tienen baja competitividad al pretender cubrir mercados externos, y su modelo de negocio no es viable, lo que se traduce en grandes pérdidas económicas.

### 1.4 EL OBJETIVO GENERAL

El objetivo general de la presente tesis es diseñar, implementar y validar un sistema experto basado en simulación utilizando el software NETLOGO™, para apoyar la toma de decisiones de los productores locales de aguacate Hass que les permita estimar de forma anticipada la cosecha y evaluar los indicadores comerciales y económicos para garantizar la viabilidad de su modelo de negocio.

### 1.5 LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1.5.1 Revisar la literatura acerca de sistemas expertos que apoyen la toma de decisiones de sistemas agroalimentarios. Revisar la literatura acerca de las metodologías utilizadas para caracterizar la aptitud del suelo que permitan el adecuado desarrollo de actividades agropecuarias como es el cultivo del aguacate Hass. Revisar la literatura acerca de los indicadores económicos y comerciales de actividades agropecuarias.

1.5.2 Diseñar e implementar un sistema experto basado en simulación utilizando el software NETLOGO™, para apoyar la toma de decisiones de los productores locales de aguacate Hass en relación con la caracterización de la aptitud de la zona de cultivo en términos de variables físico-químicas y biológicas, socio-ecosistémicas y socio-económicas, y que les permita estimar de forma anticipatoria la cosecha y evaluar los indicadores comerciales y económicos para garantizar la viabilidad de su modelo de negocio.

1.5.3 Validar el sistema experto con información de una productora local de Michoacán.

1.5.4 Transferir el sistema experto a los productores a través de un Manual de Usuario que permitirá transmitir el sistema experto a la producción local.

## **CAPÍTULO 2. LA REVISIÓN DE LA LITERATURA Y EL MARCO TEÓRICO**

En el presente capítulo, se revisa la literatura acerca de sistemas expertos que apoyen la toma de decisiones de sistemas agroalimentarios. También se revisa la literatura acerca de las metodologías utilizadas para caracterizar la aptitud del suelo que permitan el adecuado desarrollo de actividades agropecuarias como es el cultivo del aguacate Hass. Además, se revisa la literatura acerca de los indicadores económicos y comerciales de actividades agropecuarias.

### **2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS SISTEMAS EXPERTOS**

#### **2.1.1 Estructura de los Sistemas Expertos**

Los Sistemas Expertos se componen de dos partes principalmente: el ambiente de desarrollo y el ambiente de consulta. En el ambiente de desarrollo se crean los componentes para introducir información en la base de conocimiento. El ambiente de consulta es la parte utilizada para obtener conocimiento experto y consejos (Turban, 1995). Los Sistemas Expertos están conformado por dos partes, uno es el Subsistema de adquisición de conocimiento que está integrado por la acumulación, transferencia y transformación de la experiencia para resolver problemas de una fuente de conocimiento a un programa de computadora para construir o expandir la base de conocimiento. Se requiere el desarrollador del sistema tenga interacción con los expertos humanos para construir la base de conocimiento. La Base de conocimiento contiene la información necesaria para comprender, formular y resolver problemas, compuesta por heurística especial y reglas que dirigen el uso del conocimiento para resolver problemas específicos en un dominio particular. La Base de hechos es la memoria de trabajo que contiene los hechos sobre la problemática, que se van a tratar albergando los datos. De acuerdo con Turban (1995), el motor de inferencia es el cerebro del Sistema Experto es la estructura de control o interpretador de reglas, es una parte fundamental del programa de computadora que provee metodologías para razonamiento de información en la base de conocimiento. Este componente provee direcciones sobre cómo usar el conocimiento del sistema para armar la agenda que organiza y controla los pasos para resolver el problema cuando se realiza una consulta. Tiene tres elementos principales:

- Intérprete que ejecuta la agenda seleccionada.

- Programador que mantiene el control sobre la agenda.
- Control de consistencia que busca mantener una representación consistente de las soluciones encontradas.

## 2.1.2 Los Tipos de Sistemas Expertos

### 2.1.2.1 Basados en reglas previamente establecidas

Los sistemas basados en reglas se desempeñan mediante la aplicación de normas, comparación de resultados y aplicación de las nuevas reglas basadas en situación modificada. También pueden trabajar por inferencia lógica dirigida, bien empezando con una evidencia inicial en una determinada situación y dirigiéndose hacia la obtención de una solución, o bien con hipótesis sobre las posibles soluciones y volviendo hacia atrás para encontrar una evidencia existente (o una deducción de una evidencia existente) que apoya una hipótesis en particular. Representación del conocimiento (Badaro, 2013).

Hay numerosas formas de representar el conocimiento en IA, sin embargo, los Sistemas Expertos suelen ser llamados sistemas basados en reglas.

Las reglas “*si... entonces...*” son el principal tipo de conocimiento usado en Sistemas Expertos, donde dichas normas se utilizan para capturar razonamiento de expertos que emplean a menudo. Sin embargo, con el tiempo los investigadores comenzaron a desarrollar e integrar otras formas de representación del conocimiento, tales como el razonamiento basado en casos. Los sistemas que incluyen múltiples tipos de conocimiento a veces se conocen como sistemas híbridos, o etiquetados después de un determinado tipo de representación del conocimiento, por ejemplo, basado en casos

### 2.1.2.2 Basados en casos de Sistemas Expertos

El razonamiento basado en casos implica resolver problemas actuales utilizando soluciones previas como referencia. Como ejemplo, un mecánico resuelve un problema de motor recordando un caso similar o un abogado que se apoya en precedentes legales para respaldar un argumento emplean este tipo de razonamiento. De igual forma, un ingeniero puede inspirarse en la naturaleza, considerándola una fuente de soluciones.

Este enfoque se caracteriza por el uso de analogías al razonar. Se ha planteado que el razonamiento basado en casos no solo es valioso en la lógica computacional, sino que las

personas lo emplean habitualmente para resolver situaciones diarias. Algunos han argumentado incluso que todo razonamiento se fundamenta en casos debido a la experiencia previa.

#### 2.1.2.3 Basados en redes bayesianas

Una red bayesiana, red de Bayes, red de creencia, modelo bayesiano o modelo probabilístico en un gráfico acíclico dirigido es un modelo gráfico probabilístico (un tipo de modelo estático) que representa un conjunto de variables aleatorias y sus dependencias condicionales a través de un gráfico acíclico dirigido (DAG por sus siglas en inglés). Por ejemplo, una red bayesiana puede representar las relaciones probabilísticas entre enfermedades y síntomas. Dados los síntomas, la red puede ser usada para computar las probabilidades de la presencia de varias enfermedades.

#### 2.1.2.4 Sistemas Expertos difusos

Los Sistemas Expertos difusos utilizan la lógica difusa que trabaja con incertidumbre. Utilizando la técnica del modelo matemático de conjuntos difusos se simula el proceso del razonamiento humano con un enfoque menos preciso al de una computadora, en la vida cotidiana la toma de decisiones no siempre se puede categorizar en respuestas booleanas; a veces involucra áreas grises y el término “quizás” (Holland, 1992).

## 2.2 SISTEMAS EXPERTOS QUE APOYEN LA TOMA DE DECISIONES DE SISTEMAS AGROALIMENTARIOS

En el año 1999, Guha M. y Guha J. diseñaron un sistema experto de agricultura de plantaciones para palma de aceite como un sistema de apoyo para la toma de decisiones de la empresa en la administración de las plantaciones. El sistema fue diseñado para rastrear todos los datos agronómicos, de producción, operacional y financiero. Luego, interpretar los datos mediante una función operativa de producción. El clima y la precipitación, el suelo y la nutrición de las plantas, el terreno y otras variables agronómicas están ligadas a los rendimientos por dicha función de producción. El sistema integra modelos agronómicos y agroclimáticos con los datos operacionales de la plantación para permitir una mejor evaluación de los datos y la toma de decisiones por parte de la administración de la plantación.

Toledo y Valverde (2009) presentaron el diseño y desarrollo de un Sistema Inteligente para la Predicción de Plagas y Enfermedades en frutas y hortalizas, a través de un conjunto de modelos integrados en un Sistema Experto cuya Base de Conocimiento basada en variables y aplicando técnicas de razonamiento determinístico emite una predicción y alerta de los niveles de población de una plaga, así mismo realiza un diagnóstico de enfermedades en las condiciones reales de la parcela (clima, suelo, etc.) de acuerdo con los datos disponibles en tiempo real obtenidos de una estación Agro Climática. El sistema brinda una recomendación de tratamiento adecuado al problema detectado con indicación de productos, dosis, épocas y forma de aplicación, así como precauciones que deben tenerse en la manipulación de los productos fitosanitarios. Su objetivo principal es incrementar la productividad y competitividad de frutas y hortalizas, enfocándose en el cultivo de Jitomate para el caso de hortalizas y en el mango para el caso de frutas.

Bula *et al.*, (2012), construyeron un sistema experto para el diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos de berenjena en la región Caribe de Colombia, fue desarrollado bajo los principios actuales de la Ingeniería del Software y soportado en un enfoque metodológico que garantiza confiabilidad y consistencia del sistema. El sistema experto se caracteriza por su capacidad diagnosticar ocho plagas y nueve enfermedades de los cultivos de berenjena, por medio de dos módulos de inferencia, donde se tienen en cuenta los daños presentes en las diferentes partes de la planta, así como la presencia de algún tipo de insecto. Adicionalmente se debe ingresar la estación climática, con el fin de dar un diagnóstico más certero.

En el año 2021, Valderrama *et al.*, utilizaron un sistema experto que brinda un diagnóstico de enfermedades fúngicas de los cultivos frutales (naranja, sandía, plátano y tomate en Panamá) a partir de las características de las enfermedades presentes en el cultivo.

### **2.2.1 Simulador del Estado de Desarrollo Floral del Aguacate 'Hass' para los municipios de Tepic y Xalisco, Nayarit, México.**

<http://cesix.inifap.gob.mx/frutalestropicales/desarrollofloral.php>

Samuel Salazar-García, Dr. José Luis González-Durán, Dr. José Luis González-Durán. Desarrollaron modelos de predicción del desarrollo floral del aguacate 'Hass' cultivado en los municipios de Tepic y Xalisco. En estos municipios el aguacate 'Hass' es cultivado sin riego en un clima semicálido subhúmedo (temp. media anual = 21 °C) y con una lluvia

promedio anual de 1,200 mm. Los modelos de predicción utilizan datos de temperatura ambiental en tiempo real procedentes de estaciones climáticas automatizadas localizadas estratégicamente en los municipios de Tepic y Xalisco. Estos modelos sirven para pronosticar etapas críticas de la fenología floral del aguacate 'Hass', desde el término de la elongación del brote vegetativo, designado como Estado 1, hasta antesis (Estado 11).

En esa región, el aguacate 'Hass' produce dos flujos vegetativos de importancia, el de invierno (enero-febrero) y el de verano (julio). Para ambos tipos de brotes, el desarrollo de las yemas florales fue asociado a la acumulación de frío (DFA). Para brotes de invierno las temperaturas asociadas fueron de  $\leq 21$  °C. Para brotes de verano, el desarrollo floral fue explicado por las temperaturas  $\leq 19$  °C.

Los valores del estado de desarrollo floral obtenidos con el Simulador ayudan a técnicos, productores y extensionistas a programar de manera adecuada y efectiva las aplicaciones al follaje de insecticidas autorizados para controlar plagas, como trips y arañas rojas, y así aumentar su efecto y su relación beneficio-costos. La medición del tiempo fisiológico adecuado para la aplicación reducirá la necesidad de re-aplicaciones de agroquímicos, protegiendo así a los humanos y al medio ambiente. Otro uso de los modelos de predicción será en la planeación adecuada de la fecha de poda de ramas, o la aplicación de nitrógeno al suelo, o de boro a los brotes florales en desarrollo; urea o biorreguladores en etapas específicas (óptimas) de la fenología del aguacate para incrementar el amarre y tamaño de los frutos, y consecuentemente la cosecha.

Simulador del Estado de Desarrollo Floral del Aguacate 'Hass' para los Municipios de Tepic y Xalisco, Nayarit, México.  
Reg. Púb. Der. Autor: 03-2008-090210184600-01

Flujo de invierno  
Estación climatológica más cercana :  
Unidad Académica de Agricultura, Xalisco ▼

Consultar

Flujo de verano      Regresar a menú

Salazar-García, S., I.J.L. González-Durán y L.E. Cossio-Vargas. 2008. Simulador del Estado de Desarrollo Floral del Aguacate 'Hass' para los Municipios de Tepic y Xalisco, Nayarit, México. INIFAP, CIRPAC, Campo Experimental Santiago Ixcuintla. Programa de cómputo en tiempo real operado en Internet (<http://www.cesix.inifap.gob.mx/frutalestropicales/desarrollofloral.php>). Reg. Púb. Der. Autor: 03-2008-090210184600-01. Septiembre 2008.



**Precisión:**  
Más menos 15 días.

**Temporalidad:**  
A partir del 15 de julio de cada año y hasta que se logre el estado 11 del desarrollo floral (antesis).

Estado de desarrollo visual

[Ver escala completa de desarrollo floral.](#)

Ocurrencia de los próximos estados de desarrollo floral

El desarrollo floral de los flujos de invierno y verano del año pasado ya concluyó. Por esta razón, el presente Simulador será habilitado hasta el 15 de Julio del presente año, fecha en que inicia de nuevo el proceso de desarrollo floral.

Figura 4. Interfaz de usuario del simulador del Estado de Desarrollo Floral del aguacate Hass. Fuente: Salazar-García et al. (2022).

## 2.2.2 Estado del Desarrollo Floral del aguacate Hass en Michoacán, México

[http://www.cesix.inifap.gob.mx/frutalestropicales/dinamica\\_mich.php](http://www.cesix.inifap.gob.mx/frutalestropicales/dinamica_mich.php)

Después de varios años dedicados a la investigación de campo en Michoacán, se elaboraron modelos de predicción del desarrollo floral del aguacate 'Hass' cultivado tanto con riego como sin riego en los 20 municipios productores de aguacate de este estado. En estos municipios los climas más relevantes son el Semicálido subhúmedo, Semicálido húmedo y el Templado subhúmedo, con temperaturas medias que fluctúan de 8 a 21 °C y una precipitación anual de 1,200 a 1,600 milímetros.

Los modelos matemáticos de predicción empleados utilizan datos de temperatura real registrados por la red de Estaciones Climáticas Automatizadas de la APEAM localizadas en los seis principales tipos de clima existentes en la región productora de aguacate 'Hass'.

Estos modelos de predicción pronostican las etapas críticas del desarrollo floral del aguacate 'Hass'.

En Michoacán, el aguacate Hass produce tres flujos vegetativos, el de invierno (Noviembre-Febrero), el de primavera (Febrero-Junio) y el de verano (Junio-Septiembre). La ocurrencia de los flujos de primavera y verano es incierta y hay años en los que su presencia es nula o mínima. Por lo tanto, el flujo vegetativo más importante para la floración y producción de fruto es el de invierno. Para los brotes del flujo de invierno, el desarrollo floral completo fue asociado a la acumulación de temperaturas iguales o menores que 16 °C.

Los valores del estado de desarrollo floral obtenidos con el Simulador son útiles para que los técnicos, productores y empresas relacionadas con el cultivo del aguacate 'Hass' hagan una programación adecuada de la fecha de poda de ramas, o la aplicación de fertilizantes al suelo, o de boro a los brotes florales en desarrollo; urea o biorreguladores en etapas específicas de la fenología del aguacate para incrementar el amarre y tamaño de los frutos, y consecuentemente la cosecha. También, aumentará la eficiencia de las aplicaciones al follaje de insecticidas autorizados para controlar plagas, como trips y arañas rojas, y así aumentar su efecto y su relación beneficio-costo. La medición del tiempo fisiológico adecuado para la aplicación reducirá la necesidad de re-aplicaciones de agroquímicos, protegiendo así a los humanos y al medio ambiente.



Figura 5. Interfaz de usuario del simulador del Estado de Desarrollo Floral del aguacate Hass en Michoacán. Fuente: INIFAP (2022).

## 2.3 METODOLOGÍAS UTILIZADAS PARA CARACTERIZAR LA APTITUD DEL SUELO

### 2.3.1 Sistemas de producción

El aguacate se puede propagar por semilla o por injerto. La propagación por semilla no es recomendable para plantaciones comerciales debido a la gran variabilidad que ocurre en producción y calidad del fruto (Flores-León, 2022).

La propagación con semilla se utiliza para la obtención de patrones en vivero, las cuales se obtienen de semillas de frutos que caen directamente al suelo y que germinan durante marzo y abril. Las plantas se colocan en bolsas de poliuretano color negro, con una capacidad de seis kilogramos de suelo. Posteriormente se ponen en la sombra de los

árboles, de preferencia en dónde existen condiciones favorables para su desarrollo. La propagación por injerto es el método más apropiado para reducir las variedades seleccionadas para cultivo comercial, ya que los árboles injertados son uniformes en cuanto a la calidad forma y tamaño del fruto (Flores León, 2022). En la práctica del injerto se utiliza el de yema de escudete y se realiza durante el otoño y finales de invierno para evitar la exposición de plantas a temperaturas altas. El trasplante se efectúa durante el periodo de octubre a febrero, cuando la altura promedio de las plantas es de 60 cm. Otro método es el injerto de corona, el cual se utiliza cuando se requiere cambiar la variedad o renovar los árboles que están en decadencia.

### 2.3.2 Evaluación del suelo

La evaluación de tierra es el proceso que permite identificar y valorar los usos específicos que se adaptan a las condiciones específicas de las tierras evaluadas (FAO, 2007). La evaluación de tierras al haber identificado los usos más idóneos se convierte en una herramienta importante para la planificación, siendo el objetivo principal de la evaluación de tierras, la gestión mejorada del uso sostenible de la tierra para beneficio del pueblo.

<p><b>Principios:</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>1. La aptitud de las tierras es evaluada y clasificada respecto a los tipos específicos de uso de la tierra</li><li>2. Una evaluación necesita una comparación de los beneficios obtenidos y los insumos necesarios para diferentes tipos de tierras para asesorar el potencial productivo.</li><li>3. El proceso de evaluación requiere un abordaje multidisciplinario.</li><li>4. Las evaluaciones deberían ser en términos del contexto biofísico, económico, social y político del área en cuestión.</li><li>5. La aptitud se refiere a un uso sobre una base sostenida</li><li>6. La evaluación contempla la comparación de más de un solo tipo de uso.</li></ol> <p><b>Principales grupos de actividades:</b></p> <ol style="list-style-type: none"><li>i. Consultas iniciales para identificar los objetivos de la evaluación y el establecimiento de los requerimientos.</li><li>ii. Descripción de los tipos de usos del suelo a ser considerados y establecimiento de los requerimientos.</li><li>iii. Descripción de las unidades de mapeo de la tierra y la derivación de sus cualidades.</li><li>iv. Comparación de tipos de uso de la tierra con los tipos de tierra presentes.</li><li>v. Análisis socioeconómico.</li><li>vi. Clasificación de la aptitud de la tierra (cualitativa o cuantitativa).</li><li>vii. Presentación de resultados de la evaluación.</li></ol>
--

Figura 6. Lineamientos básicos para la evaluación de tierras. Fuente: FAO (2007).

En la planificación del uso de la tierra con fines productivos se considera el tema de la sostenibilidad, que se entiende como la conjunción de las áreas del desarrollo sostenible, en donde se reconocen tres criterios que en ocasiones se contradicen: la eficiencia económica, la equidad social y la sostenibilidad ecológica; lo que se vuelve un reto en el proceso de planificación de tierras con fines agropecuarios (Hermanides & Nijkamp, 1998). La metodología planteada se fundamenta en el análisis de los tres componentes: físico, socioecosistémico y socioeconómico, que son evaluados por una serie de criterios conformados por unas variables que los caracterizan. Un criterio se define como «el conjunto de requisitos, parámetros o variables que definen decisiones de aptitud de uso específico de un territorio rural». Para efectos de la zonificación, los criterios pueden ser de cuatro tipos:

- Criterios de análisis jerárquico: factores para los cuales se definen los niveles de aptitud; un factor es un criterio que mejora o reduce la aptitud para el cultivo comercial de aguacate variedad Hass.
- Criterios de exclusión técnica: zonas en las cuales, por condiciones técnicas de tipo físico o socioecosistémico, no es factible el desarrollo del cultivo comercial de aguacate variedad Hass.
- Criterios de exclusión legal: zonas en las cuales, por mandato legal, no se permite el desarrollo de actividades agrícolas productivas.
- Criterios condicionantes: zonas con condicionante legal o técnico que, independientemente de la categoría de aptitud, requieren de un análisis complementario de tipo legal, social, cultural o ambiental para el desarrollo de actividades agropecuarias con fines comerciales.

Las variables son atributos de la tierra que pueden medirse o estimarse y que son utilizadas como un medio para describir las cualidades de la tierra. Con base en el esquema metodológico propuesto para la zonificación de plantaciones forestales con fines comerciales (Camacho, 2014), se muestra el esquema metodológico de la zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate variedad Hass.

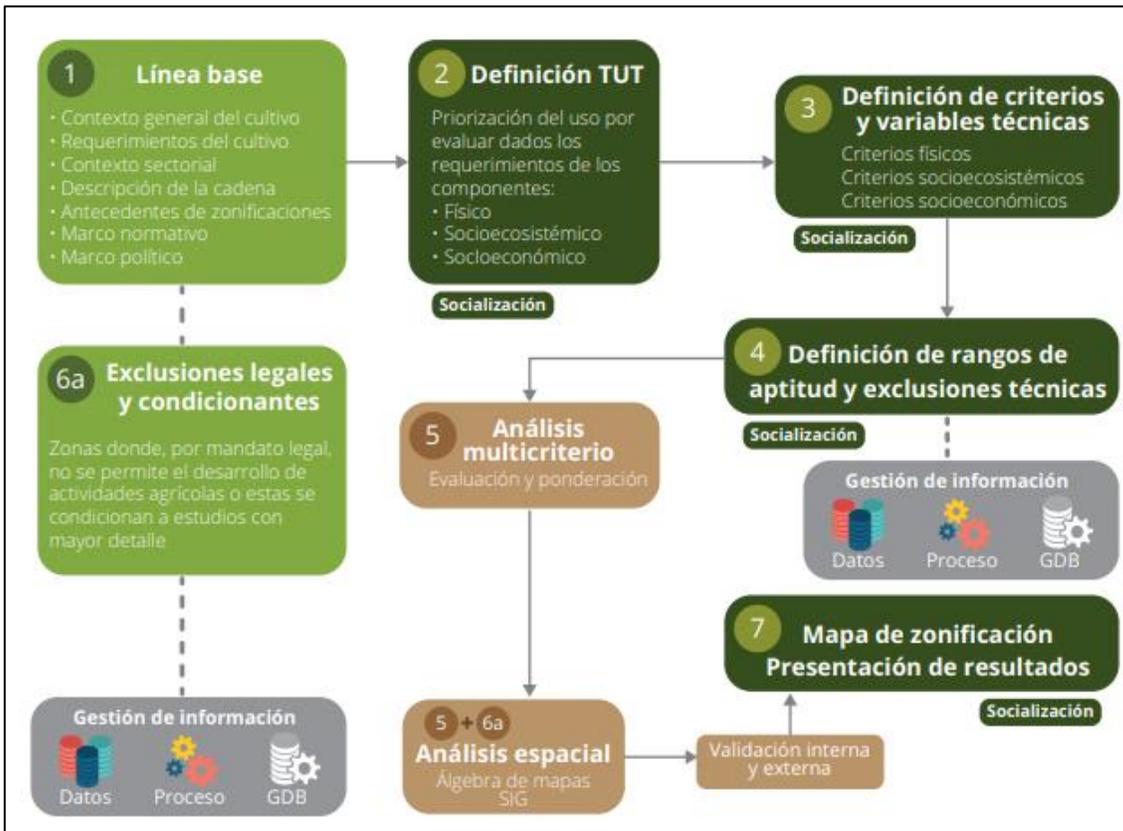


Figura 7. Criterios de evaluación para la planificación del uso de la tierra con fines productivos. Fuente: (Hermanides & Nijkamp, 1998).

### 2.3.3 Requerimientos del cultivo

La temperatura, precipitaciones, brillo solar, humedad relativa, la calidad del aire y los efectos posicionales son factores que determinan la respuesta del cultivo de aguacate Hass; a su vez, se identifica mayor incidencia de organismos fitopatógenos cuando se tienen condiciones de abundante lluvia, especialmente durante la floración (por ejemplo, la antracnosis) y la pérdida de fruta dañada por bajas temperaturas (Castrejón *et al.*, 2017).

El cultivo de variedades o de cultivares interraciales se puede establecer desde el nivel del mar hasta aproximadamente 2,400 metros sobre el nivel del mar. El éxito comercial de una plantación de aguacates depende de reducir al mínimo el estrés de las plantas y elegir cuidadosamente tanto el suelo como el clima adecuado. (Ligarreto *et al.*, 2012). La precipitación en el cultivo de aguacate tiene un rango óptimo menor a 2,200 mm al año bien distribuidos. (Ligarreto *et al.*, 2012). El aguacate presenta una amplia adaptación a la pluviosidad lo que permite ser cultivado sin riego en zonas con precipitaciones que varían

entre 665 y más de 2,000 mm/año (Galán-Sauco, 1990). El rango óptimo de precipitación para el aguacate variedad Hass se encuentra entre 1,000 y 2,000 mm distribuidos al año; el periodo crítico de necesidad hídrica comprende desde el cuajado hasta la recolección. A la vez la planta del aguacate es muy sensible al encharcamiento, lo que produce asfixia radical y propicia el desarrollo del hongo *P. cinnamomi* Rand., causante de la pudrición de las raíces; el exceso de precipitación durante la floración y la fructificación reduce la producción y provoca la caída del fruto (Castrejón *et al.*, 2017). Por otro lado, las sequías prolongadas provocan la caída de las hojas, lo que disminuye el rendimiento. El cultivo de aguacate variedad Hass se desarrolla muy bien a temperaturas promedio de 16 a 18 °C que se encuentran aproximadamente entre 1,600 y 2,200 m s.n.m. (Saavedra *et al.*, 2012). La fruta que crece a menor temperatura tiende a ser de forma redondeada mientras que la que crece bajo condiciones más cálidas tiende a ser alargada (Bárcenas, 2002). El clima también tiene un efecto marcado en el tiempo que tarda el árbol desde la floración a la cosecha. Bárcenas (2002), en México, encontró que este periodo fue de ocho meses en ambientes cálidos, entre 1,400 a 1,600 m s.n.m., mientras que, en ambientes más fríos, entre 2,000 y 2,500 m s.n.m., fue de 12 a 14 meses (Castrejón *et al.*, 2017). Las altas temperaturas pueden perjudicar en periodos críticos, como el de la polinización y cuajado de frutos, así como la presencia de vientos cálidos y secos, comunes en muchas zonas productoras, que pueden reducir considerablemente la producción de los árboles (Castrejón *et al.*, 2017). El aguacate es una planta altamente heliófila, por lo que los lotes para su producción comercial deben estar ubicados en áreas de alta luminosidad y el cultivo presenta óptimos resultados con más de 2,000 horas luz/año. El brillo solar óptimo se encuentra entre 4 y 5.5 horas/día. Un exceso de radiación produce quemaduras en las ramas y golpe de sol en el fruto (Ligarreto, 2012). La humedad relativa óptima para este cultivo está entre 50 y 80 %; el exceso de humedad relativa puede ocasionar el desarrollo de algas o líquenes sobre el tallo, ramas y hojas o enfermedades fúngicas. Un ambiente muy seco, menor de 50 %, provoca la muerte del polen por desecación (Ligarreto, 2012). El viento para el aguacate es un factor muy importante, ya que las ramas son muy frágiles y se quiebran fácilmente; de otra parte, la deshidratación impide la fecundación y la formación de los frutos (Avilán *et al.*, 2009). El aguacate requiere suelos muy bien drenados, ya que sus raíces son altamente susceptibles a enfermedades; es ideal que estos sean profundos y con un nivel freático superiores a 1 m con texturas livianas que favorezcan la formación de un sistema radicular denso y ramificado (Avilán *et al.*, 2009). La profundidad efectiva para el aguacate variedad Hass óptima es mayor o igual a 50 cm. Profundidades menores ocasionan crecimiento deficiente del sistema radical, atrofiamiento, dificultades de

anclaje y reducción del crecimiento del árbol (Ligarreto, 2012). La pendiente para este cultivo debe ser menor al 50 % como óptimo; el establecimiento en zonas con pendientes mayores al óptimo puede implicar prácticas de manejo de la erosión (Bernal, 2017). El régimen de humedad údico representa las mejores condiciones para el cultivo, ya que indirectamente indica buena distribución de las lluvias; el régimen ústico indica que, en alguna época del año, la humedad debe suministrarse por medio de algún sistema de riego (FAO, 1997). En general, el rango comprendido entre 5.5 y 6.5 se considera como un pH óptimo (Sánchez-Saavedra *et al.*, 2012).

Los suelos ideales para el crecimiento de la planta de aguacate demandan un contenido de materia orgánica igual o superior al 6 %, lo que le otorga ciertas propiedades como un excelente drenaje interno y alto contenido de aire para facilitar las cantidades óptimas de agua, nutrientes y oxígeno a las raíces de las plantas, encontrándose dificultades en suelos con materia orgánica inferior a 2 % (Bernal, 2017). Los requerimientos nutricionales del aguacate son mayores para nitrógeno y potasio, y menores en fósforo. El nitrógeno participa en la regulación del crecimiento de la planta y es un factor determinante del rendimiento. Para el cultivo de aguacate variedad Hass, es adecuado un suelo con un contenido de 0.3 % de nitrógeno, para facilitar el crecimiento y desarrollo del cultivo ((FAO, 1997). El fósforo tiene una demanda intermedia durante la vida de la planta, su óptimo está por los 25 a 30 mg/kg por año. Este elemento es necesario para el desarrollo de las raíces, la síntesis energética, el proceso de intercambio de iones, la síntesis de enzimas y otros. Las necesidades y concentración de potasio de esta planta tienen un rango óptimo de 0.3 me/100 g por año. El potasio actúa en las funciones metabólicas del crecimiento y la división celular de los tejidos jóvenes (Casas, 2019). La deficiencia de potasio produce frutos con malformaciones en la zona peduncular, arrugados y baja tolerancia de las plantas al ataque de insectos. En la relación Ca/Mg se considera como óptima para el cultivo 3:1. La saturación de aluminio debe ser baja, menor a 1.1 %. El cultivo de aguacate se considera poco tolerante a la salinidad, por lo que se requiere de suelos cuya presencia de sales sea inferior a 2,0 dS/m (Casas, 2019).

Variable	Aptitud Alta	Media	Baja	Unidad	Fuente
Temperatura	≥ 15 - < 18 15-22	≥ 18 - ≥ 20	≥ 13 - ≥ 15	°C/año	(Fonseca F; 2018) (Alcántar J, 1999)
Precipitación total	≥1000 –≤2000 800-1600	>2000-< 3000		mm/año mm	(Fonseca F; 2018) (Alcántar J, 1999)
Altitud	1400-2200			m	(Alcántar J, 1999)
Brillo solar medio diario anua	≥ 5	≥ 3 - < 5	≥ 3 - < 5	Horas sol/ día	(Fonseca F; 2018)
Pendiente de terreno	≤ 25 0-25	> 25 - ≤ 50	> 50 - ≤ 75	%	(Fonseca F; 2018) (Alcántar J, 1999)
Textura para labrar	F, FL, FA, FArA, FArL	FAr, ArA, ArL, L	A, AF, Ar	Cualitativa	(Fonseca F; 2018)
Pedregosidad	Sin exceso de pedregosidad		Con fase de pedregosidad	Cualitativa	(Fonseca F; 2018)
Profundidad de enraizamiento	> 100 >100	≥ 50 - ≤ 100		Cm	(Fonseca F; 2018) (Alcántar J, 1999)
Humedad	Údico	Ústico		Cualitativa	(Fonseca F; 2018)
Susceptibilidad a inundaciones	No hay	Ocasionales		Cualitativa	(Fonseca F; 2018)
Drenaje natural	Bueno y excesivo	Moderado	Imperfecto	Cualitativa	(Fonseca F; 2018)
Exceso hídrico	≤ 500	>500 - ≤ 1500	> 1500	mm	(Fonseca F; 2018)
Acidez	5,5-6,5	5,0-5,4 y 6,6-7,3	4,0-4,9 y 7,4-8,4	Escala pH	(Fonseca F; 2018)
Saturación de bases	>35	≥10- ≤35	<10	%	(Fonseca F; 2018)
Carbono orgánico	> 1,70 - ≤10; andisoles ≥1,7 - ≤15	≥ 0,50 - ≤ 1,70; > 10; andisoles >15	<0,50; histosoles	%	(Fonseca F; 2018)
Capacidad de intercambio catiónico	>20	≥ 10 - ≤ 20	< 10	cmol/kg de suelo	(Fonseca F; 2018)
Salinidad	≤2	>2-≤4	>4-≤8	dS/m	(Fonseca F; 2018)
PSI (de sodio intercambiable)	≤10	>10- ≤15		%	(Fonseca F; 2018)
Saturación de aluminio	≤30	>30-≤60	>60	%	(Fonseca F; 2018)
Erosión actual	No hay, ligera	Moderada		Cualitativo	(Fonseca F; 2018)
Susceptibilidad a movimientos de masa	Muy baja, baja	Media	Alta, muy alta	Cualitativo	(Fonseca F; 2018)

Tabla 2. Condiciones idóneas para el cultivo del aguacate Hass. Fuente: Elaboración propia (2023).

## 2.4 REGIONES DE MICHOACÁN DONDE SE CULTIVA AGUACATE HASS

Michoacán es por excelencia el estado con mayor representación en cuanto a plantaciones comerciales de aguacate Hass, en el año 2021, la superficie de cultivo de aguacate superó

las 150,000 hectáreas, que en términos comerciales se traduce a casi 33 mil 848 millones de pesos y un volumen de más de un 1.2 millones de toneladas (SIAP, 2018). Las condiciones ambientales son favorables para el desarrollo y la producción comercial del aguacate Hass, sin embargo, en un principio no se tomó en cuenta algunos requerimientos específicos lo que condujo a que algunos huertos se plantaran en lugares que no cumplen las necesidades fisiológicas de las plantas poniendo en riesgo la producción.

Para el éxito en un sistema productivo agropecuario o forestal, se debe tener la certeza que el ambiente en que se va a desarrollar el sistema cumple con un grado de adecuación suficiente para asegurar la rentabilidad de los insumos tecnológicos recomendados.

Mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), es posible agrupar los factores ambientales y sus interacciones, de esta manera se pueden definir las regiones donde se cumplen las condiciones para esperar resultados factibles, de aquellos sistema-producto que se requieran analizar para fines de desarrollo. Mediante este conocimiento se tienen bases más sólidas para el ordenamiento en el uso del suelo.

En Michoacán, con una superficie aproximada de seis millones de hectáreas, el 41% se utiliza como agostadero, 25% comprende áreas forestales, 20% tiene posibilidades para uso agrícola y el 14% restante está ocupado por asentamientos humanos, cuerpos de agua y superficies improductivas. Alcantar (1999) determinó la superficie potencial para los cultivos agrícolas: maíz, trigo, sorgo, ajonjolí, aguacate, durazno y veza; los pastos: buffel, rhodes, llanero, insurgentes y estrella de África; y las especies forestales: Pino Michoacana, Pino Montezumae, rosa morada, primavera, parota y cedro.

De acuerdo con Alcantar (1999) el estado de Michoacán tiene 25 municipios que cumplen con las condiciones aptas para la siembra de aguacate Hass. Tabla 3.

Municipio	Superficie (ha)	Municipio	Superficie (ha)
Uruapan	17,019	Ario de Rosales	12,393
San Juan Nuevo	6,237	Tacámbaro	8,758
Tancítaro	10,540	Tingüindín	11,016
Peribán	11,178	Chilchota	9,477
Ziracuaretiro	2,349	Tingambato	5,589
Salvador Escalante	12,231	Zitácuaro	9,811

Tabla 3. Municipios de Michoacán con potencial producción de aguacate. Fuente: Elaboración propia con datos de (Alcantar,1999).

En la Figura 8 se observan las zonas ideales para cultivo de aguacate Hass dentro del estado de Michoacán usando Sistemas de Información Geográfica que agrupa los sectores que cumplen con las condiciones ambientales propicias para una producción exitosa.

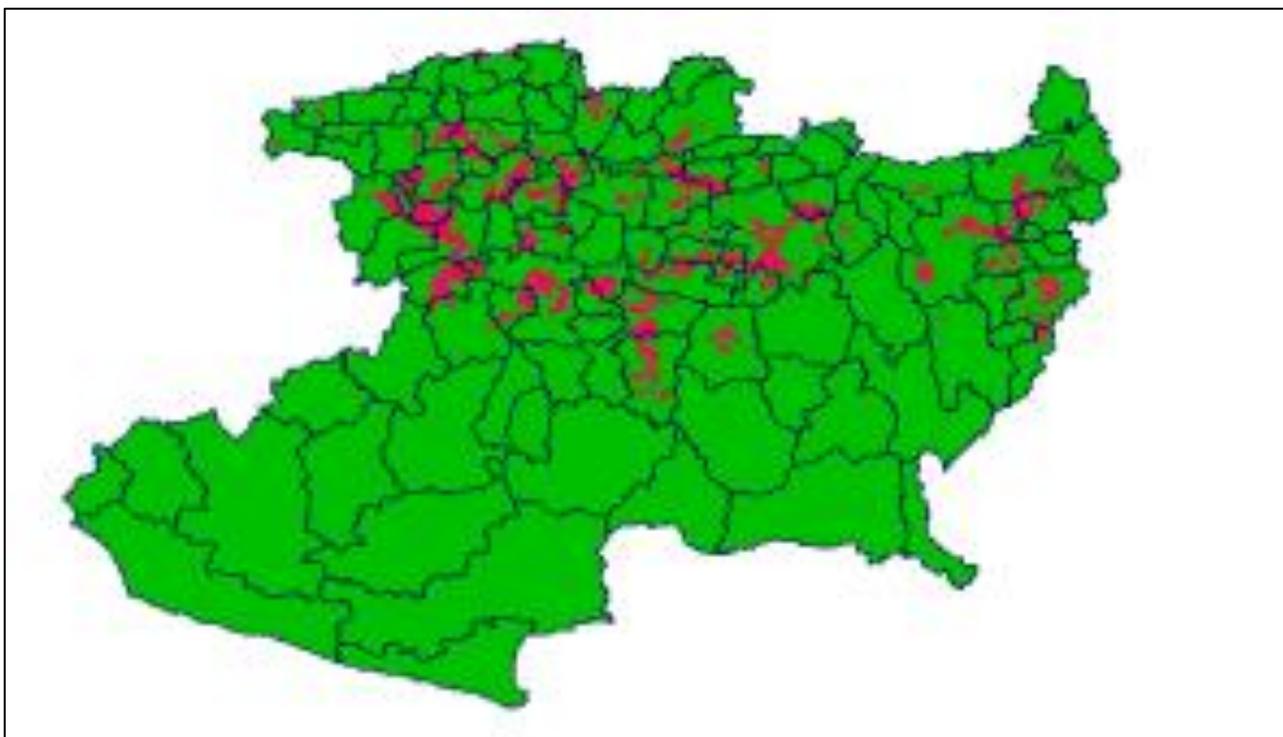


Figura 8. Áreas potenciales para el cultivo de aguacate Hass en Michoacán. Fuente: Alcantar (1999).

## 2.5 INDICADORES ECONÓMICOS Y COMERCIALES DE ACTIVIDADES AGROPECUARIAS

### 2.5.1 Costos de producción por hectárea

Tomando como referencia Franco *et al.* (2018), el artículo describe los costos variables y fijos de la producción del aguacate Hass. Los elementos básicos de estos costos son la materia prima directa, mano de obra y los costos indirectos de producción, como: renta de equipos, cuota del agua de riego, depreciación de maquinaria y equipos, entre otros. El presente estudio tuvo como objetivo estimar los costos, rentabilidad y competitividad de tres unidades representativas de producción de aguacate, ubicadas en el estado de Michoacán, dos de exportación y una orientada al mercado nacional, para proporcionar información que permita a los tomadores de decisiones incrementar la eficiencia económica de las unidades

de producción y mantener la presencia del aguacate michoacano en los mercados internacionales.

Costos variables	Nacional (\$ ha-1)	Exportación sin riego (\$ ha-1)	Exportación con riego (\$ ha-1)
Fertilizantes	12,272.70	10,482.80	9,975.00
Plaguicidas	21,961.00	28,126.00	26,891.00
Combustibles y lubricantes	4,280.00	3,234.00	5,041.70
Reposición de herramientas	2,333.30	650.00	375.00
Mantenimiento de instalaciones	2,333.30	1,399.20	499.80
Mano de obra contratada	6,700.00	4,650.00	4,080.00
<b>Total</b>	<b>49,880.30</b>	<b>48,542.00</b>	<b>46,861.50</b>

Tabla 4. Ejemplo de Costos variables de un huerto de Aguacate Hass. Fuente: Elaboración propia con datos de Franco et al. (2018).

Costos fijos	Nacional	Exportación sin riego	Exportación con riego
Depreciación	11,731.20	5,300.2	12,546.20
Seguros	3,000.00	900.00	925.00
Impuestos	166.70	50.00	25.00
Pago de servicios	4,566.70	1,428.70	5,571.50
Renta de la tierra	36,667.00	60,000.00	50,000.00
<b>Total</b>	<b>56,131.20</b>	<b>67,678.90</b>	<b>69,067.70</b>

Tabla 5. Ejemplo de Costos fijos de un huerto de Aguacate Hass. Fuente: Elaboración propia con datos de Franco et al. (2018).

	Nacional	Exportación sin riego	Exportación con riego
<b>Costos Totales</b>	<b>106,011.50</b>	<b>116,220.90</b>	<b>115,929.20</b>

Tabla 6. Ejemplo de Desagregación de costos de producción por hectárea de aguacate en Michoacán, México, 2013. Fuente: Elaboración propia con datos de Franco et al. (2018).

## 2.5.2 Indicadores económicos de la producción de aguacate Hass.

Ganancia extraordinaria privada (D). Es la ganancia o beneficio privado neto que obtiene el productor después de pagar los costos totales de producción (bienes comerciales, indirectamente comerciales y factores de la producción). Es igual a la diferencia entre el ingreso privado (A), menos el costo de los insumos comerciables e indirectamente comerciables (B) y los factores internos de la producción (C). Esta se estima con base en los precios privados o de mercado; es decir, los ingresos y costos enfrentados por el productor.

$$D=A-B- C \quad \text{Ec. (1)}$$

Razón de rentabilidad privada (RRP). De acuerdo con Morales-Hernández et al. (2011), este indicador representa el nivel de ganancia extraordinaria que obtiene el productor como

proporción de los costos totales; Es la relación entre la ganancia privada y los costos totales de producción. Para su determinación se emplea la siguiente fórmula:

$$RRP= D/B+C \quad \text{Ec. (2)}$$

Valor agregado a precios privados (VAP). Es el monto expresado en términos monetarios que permanece como ingreso neto después de liquidar el costo de los insumos comerciables e indirectamente comerciables (B), sin considerar el costo de los factores internos de la producción (C). El valor agregado es el ingreso neto que queda disponible para retribuir a los factores internos empleados en la producción y se obtiene de la siguiente con la siguiente fórmula de la ecuación 3.

$$VAP= A-B \quad \text{Ec. (3)}$$

Razón de costo privado (RCP). Este indicador permite comparar el costo privado de los factores de la producción contra el valor agregado generado a precios de mercado por la actividad productiva. El resultado indica si la tecnología es competitiva (capaz de generar ganancias) en el ambiente económico en que se aplica (resultado menor que 1).

$$RCP= C/ A-B \quad \text{Ec. (4)}$$

Consumo intermedio en el ingreso total (CIIT). Representa la fracción de los ingresos totales generados por la actividad que es destinada a la adquisición de los insumos necesarios para la producción generados por otros sectores de la economía local, regional, nacional o internacional; se le denomina también como Consumo intermedio de la actividad.

$$CIIT= B/ A \quad \text{Ec. (5)}$$

Valor agregado en el ingreso total (VAIT). Indica la fracción del ingreso total generado por la actividad que queda disponible después de cubrir los costos de producción para remunerar los factores internos de la producción, así como la ganancia extraordinaria del productor.

$$VAIT= A-B/ A \quad \text{Ec. (6)}$$

Concepto	Costo de producción (\$t <sup>-1</sup> )		Precio de Venta (\$t <sup>-1</sup> )		Ganancia Neta (\$t <sup>-1</sup> )	
	ET	IT	ET	IT	E	IT
Nacional	6,304.10	9,637.40	11,000.00	10,000.00	4,695.90	1,362.60
Exportación con riego	2,811.00	5,811.00	15,000.00	15,000.00	12,189.00	9,189.00
Exportación sin riego	3,488.30	6,133.80	15,000.00	15,000.00	11,511.70	8,866.20

Tabla 7. Ejemplo de costos de producción, precio de venta y ganancia neta por tonelada de aguacate. Fuente: Elaboración propia con datos de Franco et al. (2018).

Con relación a la ganancia neta excluyendo la tierra, se observó que las unidades de exportación sin riesgo y con riesgo obtuvieron ganancias similares, a diferencia de la unidad de mercado nacional, que registró una ganancia menor en \$7,493.10 t<sup>-1</sup> con respecto a la unidad de exportación sin riego y \$6,815.80 t<sup>-1</sup> menos comparado con la unidad de exportación con riego, lo cual indica mayor eficiencia en el uso de los factores de producción, aunado a la diferencia de precio que reciben la unidad de exportación sin riego y la unidad de exportación con riego.

La ganancia neta observada al incluir el costo de la renta de la tierra fue de \$9,189.00 t<sup>-1</sup> en la unidad de exportación sin riego, el cual fue \$322.80 t<sup>-1</sup> mayor con respecto de la unidad de exportación con riesgo, situación contraria a lo mostrado por la unidad nacional con riego, cuya ganancia neta fue \$7,503.60 t<sup>-1</sup> menor, comparado con la unidad de exportación con riego (Tabla 7). Los valores más altos de ganancia neta fueron las unidades de exportación con riego y sin riego, las cuales cumplen con los estándares de calidad e inocuidad del mercado estadounidense, se explican por sus costos de producción más bajos y precios de venta más altos, en comparación con la unidad para venta nacional. Dado que los beneficios se aumentan las ventas del producto, la capacidad de la empresa para retener a los clientes existentes, aumento de la capacidad de atraer nuevos clientes, aumento en los precios y reducción de los costos de producción.

Las tres unidades obtienen ganancia extraordinaria neta (D) positiva. Excluyendo el costo de la tierra, la unidad de exportación sin riego obtuvo la rentabilidad más alta, le siguió la unidad de exportación con riego y al final la unidad para mercado nacional. Al incluir el costo de la tierra, se observó una reducción en la rentabilidad de las tres Unidades de producción (Tabla 8).

Variable	Unidad Nacional		Unidad de exportación sin riego		Unidad de exportación con riego	
A (\$ha <sup>-1</sup> )	121,000.00	121,000.00	300,000.00	300,000.00	283,000.00	283,000.00
B (\$ha <sup>-1</sup> )	40,847.00	40,847.00	42,492.80	42,492.80	42,281.70	42,281.70
C (\$ha <sup>-1</sup> )	28,497.90	65,164.50	13,728.10	73,728.10	23,647.40	73,647.40
D (\$ha <sup>-1</sup> )	51,655.10	14,988.50	243,779.10	183,779.10	217,570.80	167,570.80
RRP (%)	74.50	14.10	433.60	158.10	330.00	144.50

RCP	0.36	0.81	0.05	0.29	0.10	0.10
VAP(\$ha <sup>1</sup> )	80,153.00	80,153.00	257,507.20	257,507.20	241,218.30	241,218.30
CIIT (%)	33.80	33.80	14.20	14.20	15.00	15.00
VAIT (%)	66.20	66.20	86.00	86.00	85.00	85.00

Tabla 8. Ejemplo de resumen del presupuesto a precios privados de mercado por hectárea de aguacate en Michoacán México 2013. Elaboración propia con base en Franco et al. (2018).

### 2.5.3 Indicadores Financieros en el Cultivo de Aguacate Hass

El Valor Actual Neto (VAN) es el método más conocido para la evaluación de proyectos de inversión, permite determinar si la inversión cumple con el objetivo de maximizar la inversión. La fórmula del Valor Actual Neto es:

$$VAN = -I + \frac{FNE}{(1+i)^n} \quad \text{Ec. (7)}$$

Donde:

$-I$ : Inversión inicial

$FNE$ : Flujos netos de efectivo

$(1 + i)^n$ : Tasa de descuento

Tasa de Interna de Retorno (TIR)

Es el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá una inversión.

Es la tasa que iguala la suma de flujos de efectivo descontando la inversión inicial.

La fórmula de la Tasa interna de Retorno es:

$$IR = i_1 + \frac{(i_2 - i_1)(VAN)}{|ABS(VAN_2 - VAN_1)|} \quad \text{Ec. (8)}$$

Donde:

$i_1$ : Tasa de interés con el VAN positivo

$i_2$ : Tasa de interés con el VAN negativo

$VAN_1$ : Valor actual neto positivo

$VAN_2$ : Valor actual neto positivo

$ABS$ : Valor absoluto de los VAN

Si  $TIR > 0$ , la inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida por lo que el proyecto puede aceptarse.

TIR < 0, la inversión produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida, el proyecto debería ser rechazado.

Cuando TIR = 0, la inversión no produciría ni pérdidas ni ganancias, en este caso el proyecto no agregaría ningún valor monetario, por lo que la decisión se basa en otros criterios.

Período de Recuperación (PRI)

Es el periodo de tiempo donde se cubre el costo de la inversión inicial (Baca, 2009).

$$PRI = (T - 1) + \left[ \frac{I - \sum_{t=1}^n FCt}{FCt} \right] \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

*T*: Periodo en donde se cubre los costos de inversión.

*I*: Costo de la inversión.

*FCi*: Flujo de efectivo del periodo donde se cubre la inversión.

*FCt*: Flujo de efectivo en el período en que se cubre completamente la inversión

Índice de Rentabilidad (IR)

Es la razón del valor presente de los flujos de efectivo y la inversión inicial. Es decir, cuantifica y mide la eficiencia de un proyecto de inversión

$$IR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{FCt}{(1+i)^t}}{I} \quad \text{Ec. (10)}$$

Donde:

*FCt*: Flujo de efectivo en periodo *t*

*i*: Costo de capital

*t*: número de periodos

*I*: costo de la inversión

## 2.6 ESTIMATIVO DE LA COSECHA

México ocupa una posición única caracterizada por contar con cuatro períodos de floración: flora, loca, avanzada, normal y marceña, que abarcan desde el verano hasta el invierno.

Estos periodos, combinados con los cambios de altitud de las principales zonas de producción, hacen posible la recolección y envasado a lo largo de todo el año. No obstante, esta particularidad implica que muchas empacadoras reciban frutas provenientes del mismo productor o de diversos productores, con niveles de madurez fisiológica distintos. Esta variabilidad complica la tarea de empacar un producto uniforme y de tomar decisiones respecto a las temperaturas idóneas de enfriamiento y transporte (Bowe, 1985).

Desde un punto de vista climático, la estación experimenta notables cambios a lo largo del año, destacando especialmente las variaciones en el régimen de lluvias. Estos cambios afectan la sensibilidad de la fruta a defectos postcosecha, como el daño de lenticelas y los perjuicios ocasionados por el frío. Los siguientes problemas se presentan como protocolos cruciales que inciden en la calidad y deben ser considerados de manera rigurosa:

### **2.6.1 Cosecha**

Para realizar la cosecha Debido a las condiciones cambiantes de madurez de la fruta, así como a las condiciones climáticas, se deben tener en cuenta una serie de factores relacionados con la calidad final de la fruta.

El primero factor es el de las maduraciones mixtas, especialmente notable cuando el fruto de un período de floración está llegando a su fin con madurez alta y el fruto del próximo período de floración con madurez baja se recogen al mismo tiempo, porque la fruta el tamaño es parecido. Si esta fruta se mezcla en la línea de empaque y se envasa, no solo la elección de la temperatura de enfriamiento probablemente sea incorrecta para algunas de las frutas, sino que es bien sabido que es probable que ocurra una maduración en tablero de ajedrez en el destino final. Esto es un problema particular para los maduradores de frutas. La mejor manera de separar esta fruta es, cuando sea posible, comenzar en el punto de cosecha. Los contratistas de recolección de frutas deben capacitar a los recolectores para que separen los diferentes grupos de frutas (como se puede ver cuando la fruta más madura comienza a cambiar de color mientras que la fruta menos madura aún está verde). El segundo problema se refiere a la recolección durante los períodos de clima frío y húmedo. Estas condiciones aumentan el potencial de daño de las lenticelas y, como resultado, una posible mayor sensibilidad al daño por frío. Donde sea posible, no recoja bajo la lluvia o cuando la fruta esté mojada. Si es posible, retrase la recolección hasta que la fruta esté seca, o si no es posible, retrase el transporte de la fruta a la planta de empaque por unas

horas para permitir que la fruta pierda algo de agua y se vuelva menos turgente y, por lo tanto, menos susceptible a daños durante el empaque.

El tercer factor se relaciona con el efecto de dejar frutos en los árboles por períodos prolongados. Es más probable que la fruta tenga un mayor daño cosmético, lo que posiblemente disminuya la calidad del empaque y el porcentaje de empaque.

## **2.6.2 Control calidad fruta post cosecha**

### **EMPAQUE**

Debido a las regulaciones fitosanitarias, la fruta debe entregarse a la planta de empaque e inmediatamente almacenarse en un área de espera rodeada y separada de la entrada de la planta de empaque por mallas a prueba de insectos. Estos deben ser revisados periódicamente para detectar daños. Es esencial que se siga estrictamente el plan de trabajo de México/USDA en relación con el artículo 82 del reglamento fitosanitario firmado el 17 de marzo de 2011.

Sí el clima está frío y/o húmedo, o si la fruta llega mojada debido a la lluvia, se debe dejar secar y reposar durante varias horas para que se vuelva menos turgente antes de empacar, para disminuir el riesgo de daño a las lenticelas.

El área de llegada de la fruta debe estar al menos sombreada para reducir la temperatura de la fruta, e idealmente debe estar fresca.

La temperatura adecuada para el enfriamiento es de aproximadamente 15 °C (59 °F).

Si se presenta fruta de diferente madurez se debe hacer el análisis de materia seca por separado para cada madurez con el fin de optimizar el manejo posterior, especialmente el enfriamiento. Es necesario realizar un muestreo suficiente para garantizar que los resultados sean representativos de la fruta que se envasa. El equipo portátil de infrarrojo cercano (NIR) puede permitir pruebas rápidas no destructivas.

Envasar fruta de madurez similar, de modo que no se mezclen en las mismas cajas frutas de baja y alta madurez. Si se ha realizado la separación en el momento de la recolección,

la fruta se puede descargar en la línea de empaque de acuerdo con la separación. En caso contrario, es deseable separar dicha fruta en la línea de envasado de manera que los diferentes vencimientos acaben en diferentes pallets que puedan enfriarse de forma diferente e incluso enviarse a diferentes mercados.

Siempre que sea posible, la fruta más madura debe enviarse a los mercados más cercanos del sur de los EE. UU., mientras que la fruta menos madura con una vida útil potencial más prolongada, a los mercados más distantes del norte de los EE. UU.

## EMBALAJE

Se recomienda separar la fruta de diferentes períodos de floración en la cosecha y el área de llegada de la fruta debe estar al menos sombreada y preferentemente refrigerada o en la línea de empaque.

Se recomienda evitar la recolección de fruta mojada, en caso de no ser posible, se recomienda esperar unas horas antes de transportarla a la planta de empaque.

Dejar secar la fruta fría y húmeda antes de ser empacada. No dejar pasar más de 24 horas antes de envasarla.

El área de llegada de la fruta debe estar al menos sombreada y preferentemente refrigerada.

Hay que asegurar que los mecanismos de producción fitosanitaria estén siempre en el mismo lugar

Evitar en la medida de lo posible los vencimientos mixtos tanto en cajas y en los mismos pallets.

Lo más recomendable es tratar la fruta de acuerdo con su madurez.

## **CAPÍTULO 3. LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA EXPERTO PARA APOYAR LA TOMA DE DECISIONES DE PRODUCTORES LOCALES DE AGUACATE HASS**

En el presente capítulo, se diseñó e implementó un sistema experto basado en simulación utilizando el software NETLOGO™, para apoyar la toma de decisiones de los productores locales de aguacate Hass en relación con la caracterización de la aptitud de la zona de cultivo en términos de variables físico-químicas y biológicas, socio-ecosistémicas y socio-económicas, y que les permita estimar de forma anticipatoria la cosecha y evaluar los indicadores comerciales y económicos para garantizar la viabilidad de su modelo de negocio.

Se seleccionó la metodología de simulación del sistema experto tomando en cuenta la complejidad del sistema, dado que el sistema está dividido en cuatro módulos interconectados entre sí. Así mismo los sistemas expertos son flexibles y adaptables a los cambios en el entorno, pueden modificarse sencillamente para mostrar las actualizaciones. Una de las ventajas del sistema experto es que el desarrollo puede irse modificando con el tiempo, se puede redefinir las reglas, y agregar conocimiento.

A partir de las condiciones de la finca se puede hacer una proyección de la viabilidad del modelo de negocio para determinar en el momento que se requieran los ajustes necesarios, ya sea nivel del cultivo tanto como a nivel económico financiero.

### **3.1 EL DISEÑO DEL SISTEMA EXPERTO**

#### **3.1.1 El modelo conceptual**

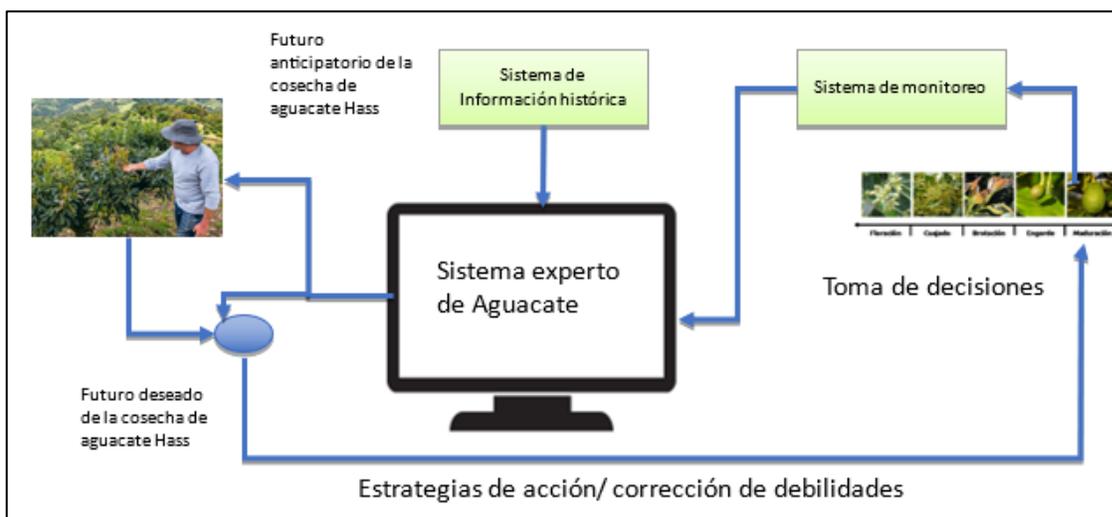


Figura 9. Modelo conceptual del Sistema experto para apoyar la toma de decisiones de los productores locales de aguacate Hass. Fuente: Elaboración propia (2023).

En el Sistema de Información Histórica: En este bloque se recopiló la base de datos histórica que contiene la información relevante sobre producción, manejo y condiciones del predio que son factores clave para el cultivo del aguacate Hass. La información se tomó de un taller participativo con la Universidad del Valle en Cali, Colombia, así como las fuentes literarias Fonseca et al (2018). «Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000». Bogotá: UPRA, J. J. Alcántar-Rocillo *et al.* (2018) Áreas Potenciales para cultivo del aguacate (Persea americana cv. Hass) en el estado de MICHOACÁN, MÉXICO y de mapas del INEGI.

Sistema de monitoreo: El Sistema de Monitoreo proporciona información en tiempo real sobre las condiciones actuales de los cultivos de aguacate Hass. Este sistema emplea tecnologías como sensores, drones, estaciones meteorológicas y otros dispositivos avanzados para recopilar datos continuamente. Se tomo de las fuentes bibliográficas Fonseca *et al.* (2018). «Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000». Bogotá: UPRA.

Esta información en tiempo real es esencial para tomar decisiones inmediatas, como riegos, fertilización y protección contra plagas y enfermedades.

Sistema de expertos: Integra el conocimiento y la experiencia acumulados por expertos en el cultivo de aguacate Hass. Este sistema utiliza técnicas de inteligencia artificial, como la lógica difusa para tomar decisiones basadas en el conocimiento experto.

Los expertos contribuyen definiendo reglas y criterios para la toma de decisiones en situaciones diversas, como el manejo de plagas, la programación de riegos y la cosecha óptima. El Sistema de Expertos utiliza esta base de conocimiento para brindar recomendaciones precisas y personalizadas a los agricultores, ayudándoles a maximizar la producción y la calidad de los aguacates Hass. El modelo se implementó en NETLOGO™.

### **3.1.2 El software de simulación**

Dentro de la biblioteca del software NETLOGO™, no existe un modelo que tenga la implementación del modelo de negocio conforme a las necesidades del usuario que se abordó en este proyecto de investigación.

Para crear el sistema experto se utilizó el software, un entorno de modelado programable que se utiliza la simulación basada en agentes para modelar sistemas complejos que se desarrollan a lo largo NETLOGO™ del tiempo. <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

Los modeladores dan instrucciones a los agentes que operan independientemente. Esto permite explorar la conexión entre el comportamiento a nivel micro de los individuos y los patrones de nivel macro que sale de su interacción.

Usar NETLOGO™ para modelar una situación como un cultivo permite experimentar con un sistema de una manera rápida y flexible que sería difícil de hacer en el mundo real. El modelado también brinda la oportunidad de observar una situación y examinar la dinámica subyacente de una situación. Puede encontrar que a medida que modela más y más, muchas de sus ideas preconcebidas sobre diversos fenómenos pueden ser completamente distintas a lo esperado.

El sistema experto cuenta con una base de conocimiento sólida, así como el motor de inferencia que utiliza reglas para tomar decisiones lógicas basadas en la base del conocimiento.

La interfaz del usuario de NETLOGO™ es flexible y amigable con el usuario debido a que es completamente personalizable. Los agricultores pueden introducir datos y obtener información de forma sencilla. El sistema se adapta a los requerimientos de las plantaciones de aguacate Hass.

NETLOGO™ permite simular el crecimiento del aguacate Hass en función a los parámetros y decisiones tomadas. Como consecuencia el usuario puede apreciar el resultado de la

cosecha como el rendimiento y anticipar o prevenir situaciones. De igual forma cuenta con un apartado para diagnosticar problemas y proporciona recomendaciones para abordarlos. El sistema cuenta con un manual para el usuario para disminuir la curva de aprendizaje y gráficos apoyen la presentación de resultados de la simulación la exportación de resultados, el sistema es escalable y modificable a lo largo del tiempo.

## 3.2 EL SISTEMA EXPERTO

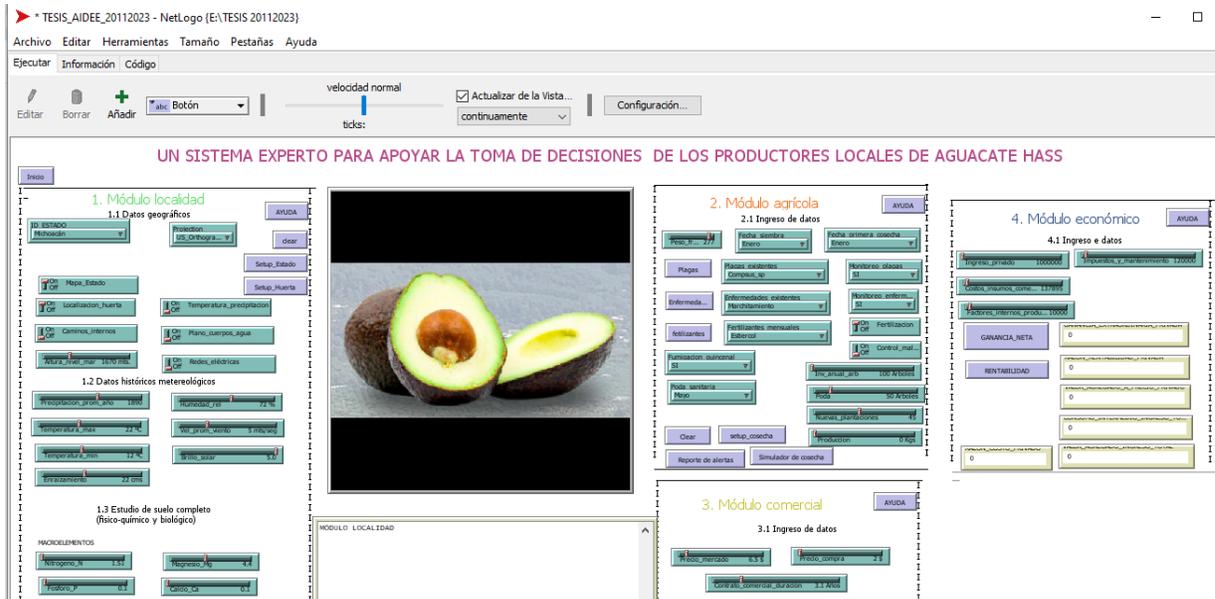


Figura 10. Captura de pantalla del Sistema Experto para apoyar la toma de decisiones de los productores de aguacate Hass. En Netlogo. Fuente: Elaboración propia (2023).

### 3.2.1 Módulo de localización

Coordenadas geográficas del predio.

Estado

Altura sobre el nivel del mar

Diseño campo

Sistema riego y fuentes de agua

Diseño caminos internos

Pendiente terreno

Datos históricos meteorológicos.

Temperatura máxima y mínima, precipitación, brillo solar, profundidad de enraizamiento, humedad, velocidad del viento.

Estudio suelos completo. (fisicoquímico y biológico)

Macroelementos

Microelementos

Macroelementos		
	Unidad	Rango de suficiencia
Nitrógeno	%	1.51-2.00
Fosforo	%	0.10-0.30
Potasio	%	0.80-1.00
Magnesio	%	>0.10
Calcio	%	>1.00
Sodio	%	
Microelementos		
Hierro	62 ppm	150-300
Manganeso	37 ppm	>20
Zinc	10 ppm	>4
Cobre	9 ppm	>10
Boro	29 ppm	20-150

Concesiones de aguas.  
Redes eléctricas.

The screenshot displays the '1. Módulo localidad' interface, divided into two main sections: '1.1 Datos geográficos' and '1.2 Datos históricos meteorológicos'.

**1.1 Datos geográficos:**

- ID\_ESTADO:** A dropdown menu currently showing 'Michoacán'.
- Projection:** A dropdown menu currently showing 'WGS\_84\_Geogr...'.
- Mapa\_Estado:** A toggle switch currently set to 'On'.
- Localizacion\_huerta:** A toggle switch currently set to 'On'.
- Caminos\_internos:** A toggle switch currently set to 'On'.
- Altura\_nivel\_mar:** A slider control set to '1670 mts.'.
- Temperatura\_precipitacion:** A toggle switch currently set to 'On'.
- Plano\_cuerpos\_agua:** A toggle switch currently set to 'On'.
- Redes\_eléctricas:** A toggle switch currently set to 'On'.

**1.2 Datos históricos meteorológicos:**

- Precipitacion\_prom\_año:** A slider control set to '1950'.
- Humedad\_rel:** A slider control set to '80 %'.
- Temperatura\_max:** A slider control set to '24 °C'.
- Vel\_prom\_viento:** A slider control set to '10 mts/seg'.
- Temperatura\_min:** A slider control set to '9 °C'.
- Brillo\_solar:** A slider control set to '1.5'.
- Enraizamiento:** A slider control set to '50 cms'.

Additional interface elements include 'AYUDA', 'clear', 'Setup\_estado', and 'Setup\_Huerta' buttons.

Figura 11. Captura de pantalla del Sistema Experto de Aguacate Hass, Módulo Localidad. Datos geográficos e históricos meteorológicos. Fuente: Elaboración propia (2023).

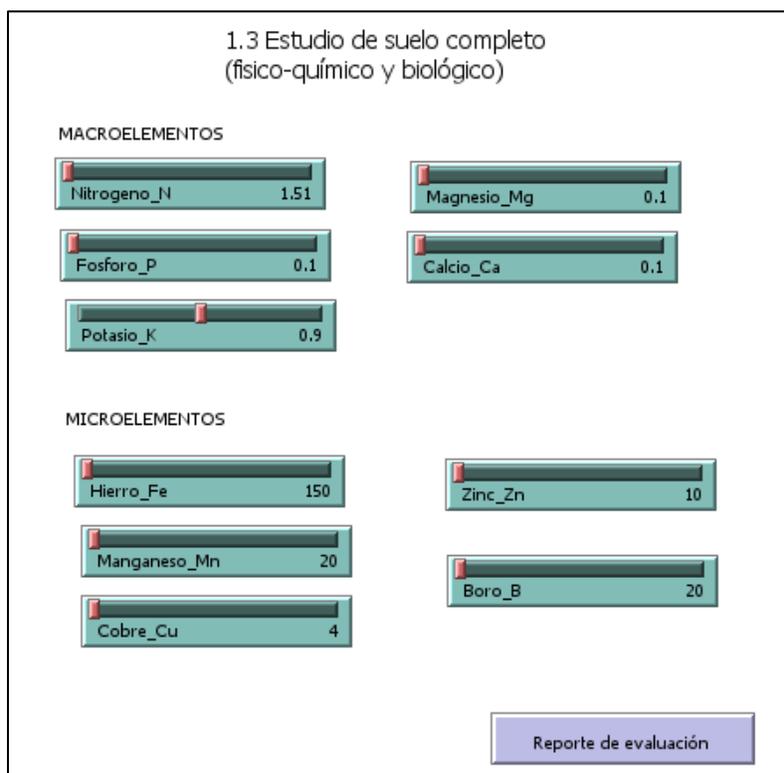


Figura 12. Captura de pantalla del Sistema Experto de Aguacate Hass. Módulo localidad. Estudio del Suelo. Fuente: Elaboración propia (2023).

### 3.2.2 Módulo agrícola

- Peso de fruto
- Fecha siembra
- Fecha primera cosecha (lista) loca, aventajada, normal y marceña
- Monitoreo de plagas
- Monitoreo enfermedades
- Labores agrícolas
- Fertilización si/no temporada
- Fumigación
- Control malezas sí/no
- Aplicación correctivos
- Inventario anual arboles
- Estimativo cosecha- floración
- Podas sanitarias

**2. Módulo agrícola**

**2.1 Ingreso de datos**

[AYUDA](#)

Peso\_fr... 277

Fecha siembra Enero

Fecha primera cosecha Enero

Plagas

Plagas existentes Compsus\_sp

Monitoreo plagas SI

Enfermedades...

Enfermedades existentes Marchitamiento

Monitoreo enferm... SI

fertilizantes

Fertilizantes mensuales Estiercol

On Fertilizacion

Off

On Control\_mal...

Off

Eumicacion quincenal SI

Inv\_anual\_arb 100 Arboles

Poda sanitaria Mayo

Poda 50 Arboles

Nuevas plantaciones 45

Produccion 0 Kgs

Clear

setup\_cosecha

Reporte de alertas

Simulador de cosecha

Figura 13. Captura de pantalla del Sistema Experto del Módulo del cultivo. Fuente: Elaboración propia. (2023).

### 3.2.3 Módulo comercial

Precios mercado  
 Precio compra (dato teórico)  
 Calidades negociadas (exportación, nacional)  
 Calibre fruta despachada  
 Costos venta  
 Volumen fruta despachada  
 Tipo empaque  
 Mano obra postcosecha

### 3. Módulo comercial

AYUDA

3.1 Ingreso de datos

Precio\_mercado 6.5 \$

Precio\_compra 2 \$

Contrato\_comercial\_duración 3.1 Años

Calidad\_negociada  
NACIONAL

Calibre\_fruta\_despachada  
TODAS

Tabla\_color\_calibre  
SI

Costo\_venta 1.0 \$US

Volumen\_fruta\_despachada 80 %

Tipo\_empaque  
CARTON

Mano\_obra\_poscosecha 4 Operarios

Reporte

Figura 14. Captura de pantalla del Módulo comercial del Sistema Experto de Aguacate Hass. Fuente: Elaboración propia. (2023).

### 3.2.4 Módulo económico

- Costos producción
- Factores internos de producción
- Impuestos y mantenimiento
- Ingreso
- Ganancia neta
- Rentabilidad
- Valor agregado a precio privado
- Consumo intermedio ingreso total
- Valor agregado ingreso total
- Razón costo privado

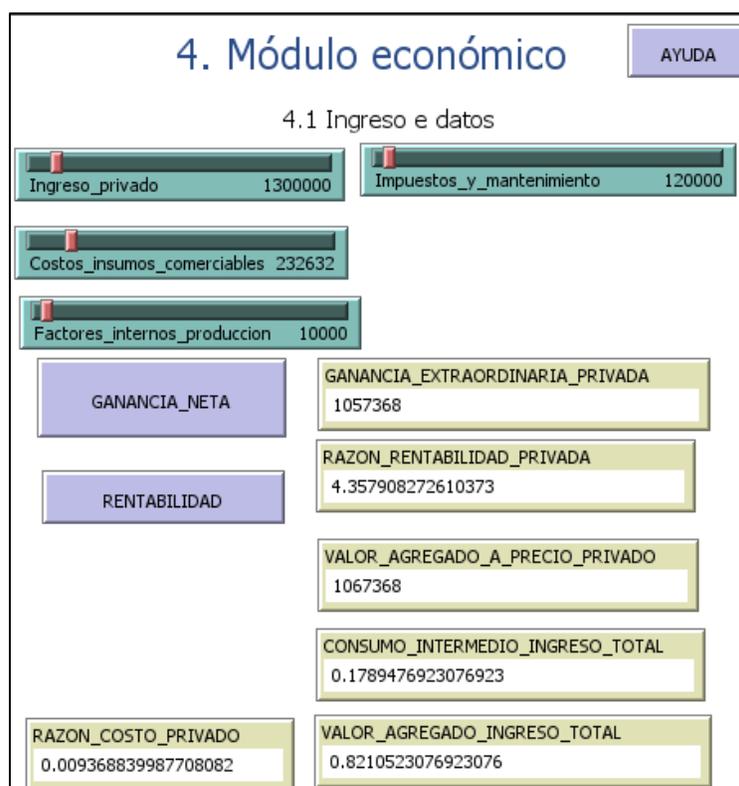


Figura 15. Captura de pantalla de Sistema Experto de Aguacate Hass. Módulo Económico. Fuente: Elaboración propia. (2023).

### 3.3 LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO

El código del modelo en NETLOGO™ se adjunta en el anexo A. Las librerías [extensions] utilizadas son las siguientes: csv, gis.

Los procedimientos que se implementaron son los siguientes:

- Inicio
- Clear
- Print-progress
- Setup\_localidad
- Setup\_Huerta
- Reporte\_gis
- Plagas
- Enfermedades
- Fertilizantes
- Estimación\_fechas\_Reparto
- Reporte
- Balance
- Ingreso\_Bruto
- Ganancia\_Neta

- Utilidad
- Rentabilidad
- Exportar\_Graficos
- Ayuda

## CAPÍTULO 4. VALIDACIÓN DEL SISTEMA EXPERTO

En el presente capítulo, se valida el sistema experto con información de una productora local de Michoacán, de la cual se omite el nombre para preservar la confidencialidad de datos proporcionados. Se utiliza el sistema experto en el cual se usan los datos de la productora. El caso consiste en una huerta localizada en el Municipio de Peribán, Michoacán.

### 4.1 MÓDULO DE LOCALIZACIÓN

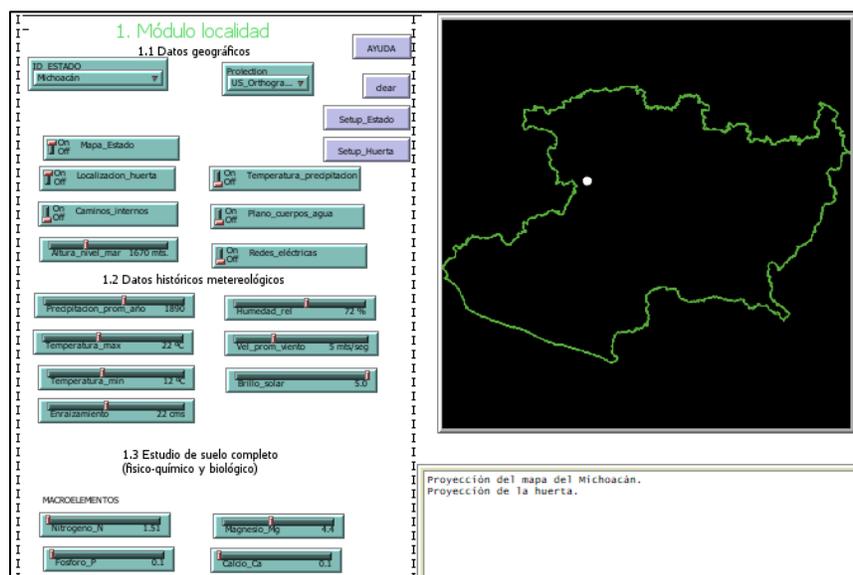


Figura 16. Localización de la huerta del caso de estudio ubicado en el estado de Michoacán. Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por la propietaria.(2023).

Coordenadas geográficas del predio: 19.530224, -102.448761.



Figura 17. Imagen del predio de la Huerta en Peribán, Michoacán. Fuente: Propietario de la huerta (2023).

Estado: Michoacán

Altura sobre el nivel del mar: 1,640 metros sobre el nivel del mar.

Diseño campo:

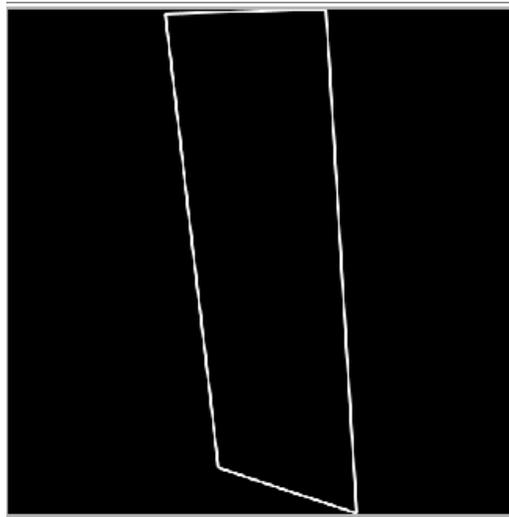


Figura 18. Polígono del predio generado en QGS y cargado en Netlogo. Fuente: Elaboración propia con la información proporcionada de la propietaria del predio (2023).

Sistema riego y fuentes de agua: El predio cuenta con un sistema de riego por goteo (Rociadores y Manguera).

Diseño caminos internos: sí.

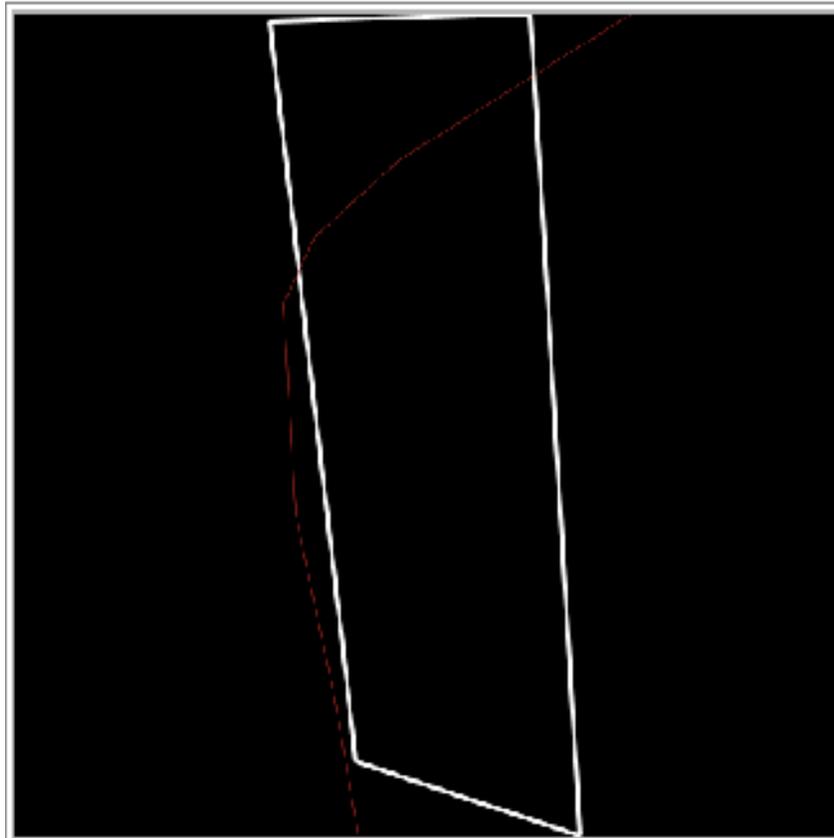


Figura 19. Polígono del predio con caminos internos. Fuente: Elaboración propia con mapas delcaminos INEGI. (2023).

Pendiente terreno: Si poca.

Datos históricos meteorológicos.

Temperatura máxima y mínima, precipitación, brillo solar, profundidad de enraizamiento, humedad, velocidad del viento.

Estudio de suelo:

Macroelementos		
Nitrógeno	1.47%	Normal
Fosforo	0.08%	Normal
Potasio	0.76%	Normal
Magnesio	0.27%	Normal
Calcio	1.41%	Normal
Sodio	Inapreciable	Normal
Microelementos		
Hierro	62 ppm	Bajo
Manganeso	37 ppm	Normal
Zinc	10 ppm	Normal
Cobre	9 ppm	Normal
Boro	29 ppm	Normal

Tabla 9 .Marco y microelementos analizados en el estudio de suelo.

Concesiones de aguas: sí.

Redes eléctricas: sí.

#### 4.2 MÓDULO AGRÍCOLA

Peso de fruto: En el rango de 100 a 300 gramos.



Figura 20. Peso del fruto. Fuente: Propietaria de la huerta (2023).

Fecha siembra: primeras lluvias en 2023 a mediados de julio.

Fecha primera cosecha (lista):

Loca-primera semana de julio

Aventajada-mediados de septiembre

Normal N/A

Marceña N/A

Monitoreo de plagas: los días 15 y 30 de cada mes.

Tipos de Plagas encontradas: Gusano falso medidor y gusano rosado.



Figura 21. Gusano falso medidor en planta. Fuente: Propietaria de la huerta (2023).



Figura 22. Gusano rosado en planta. Fuente: Propietaria de la huerta (2023).

Monitoreo enfermedades: Cada 15 días, fumigación 1 vez al mes.

Labores agrícolas: Fertilización 1 vez al mes.

Control malezas: sí, sobre todo en temporada de corte se mantiene limpio con guireada y desvada otras temporadas cada dos meses aproximadamente.

Aplicación correctivos: el monitoreo es para ser preventivas si es así se adelanta la fumigada.

Inventario anual: 1200 árboles.

Se podaron: 100 árboles

Se plantaron: 150 árboles

Estimativo de cosecha:

Total loca= 21470 kg.

Total aventajado= 43795 kg.

Podas sanitarias: cada 6 meses en noviembre y mayo.

Agosto -octubre: poda después del corte para mejor crecimiento del árbol.

#### 4.3 MÓDULO COMERCIAL

Precios mercado

PRECIOS DIFERENCIADOS		
ORGANICO		26/09/2023
CATEGORIA 1		
32s	330 grs >	\$ 58.00
36s	300 - 330 gr	\$ 58.00
40s	270 - 300 gr	\$ 56.00
48s	210 - 270 gr	\$ 52.00
60s	180 - 210 gr	\$ 31.00
70s	150 - 180 gr	\$ 15.00
84s	120 - 150 gr	\$ 14.00
CATEGORIA 2		
32s	330 grs >	\$ 40.00
36s	300 - 330 gr	\$ 40.00
40s	270 - 300 gr	\$ 40.00
48s	210 - 270 gr	\$ 35.00
60s	180 - 210 gr	\$ 19.00
70s	150 - 180 gr	\$ 14.00
84s	120 - 150 gr	\$ 14.00
PROCESO		\$ 14.00
CANICA, CUARTA Y DESECHO		\$ 3.00

Tabla 10. Precios de mercado por categoría. Fuente: Propietaria de la huerta (2023).

Precio compra: Depende de la calidad que se obtenga

		PRECIOS BANDA	
		B&M FRESH	
		LOCA	
		A Partir Del:	
		28/09/2023	
CAT 1	32' s	\$	50.00
	36' s	\$	50.00
	40' s	\$	40.00
	48' s	\$	32.00
	60' s	\$	24.00
	70' s	\$	14.00
	84' s	\$	8.00
CAT 2	32' s	\$	40.00
	36' s	\$	40.00
	40' s	\$	35.00
	48' s	\$	26.00
	60' s	\$	18.00
ORGANICO	32' s	\$	50.00
	36' s	\$	50.00
	40' s	\$	40.00
	48' s	\$	32.00
	60' s	\$	24.00
	70' s	\$	14.00
NACIONAL	Nac 84s	\$	6.00
	Nac 84s B	\$	3.00
	Mediano	\$	5.00
	Canica	\$	1.00
	Comercial	\$	1.00
	Desecho	\$	1.00
	Lacrado	\$	3.00
	Proc. Chico	\$	2.00
Proc. Mediano	\$	14.00	

Tabla 11 Precios de compra. Fuente: Propietaria de la huerta. (2023)

Calidades negociadas (exportación, nacional): Exportación orgánico

Calibre fruta despachada: 48.  
Precio de venta: \$ 32.00 m.n.  
Volumen fruta despachada: 65,265.00 kg  
Tipo empaque: Cajas de cartón.

#### 4.4 MÓDULO ECONÓMICO

Costos producción: \$840,000 anuales m.n  
Factores internos de producción: \$300,000 anuales m.n  
Impuestos y mantenimiento: \$12,000 anuales m.n  
Ingreso: \$2,088,480 anuales m.n.  
Ganancia neta: \$1,756,316 m.n.  
Rentabilidad: 1.6828  
Valor agregado a precio privado: 1956316  
Consumo intermedio ingreso total: 0.3013  
Valor agregado ingreso total: 0.6986  
Razón costo privado: 0.1022

## CAPÍTULO 5. TRANSFERENCIA DEL SISTEMA EXPERTO AL ÁREA USUARIA

En el presente capítulo, se presenta Manual de Usuario que permitirá transferir el sistema experto a los productores locales.

**Inicio (1):** Figura 20. Este procedimiento se encarga de imprimir un mensaje de introducción que describe el propósito general del sistema experto y sus módulos.

### 5.1 MÓDULO DE LOCALIZACIÓN

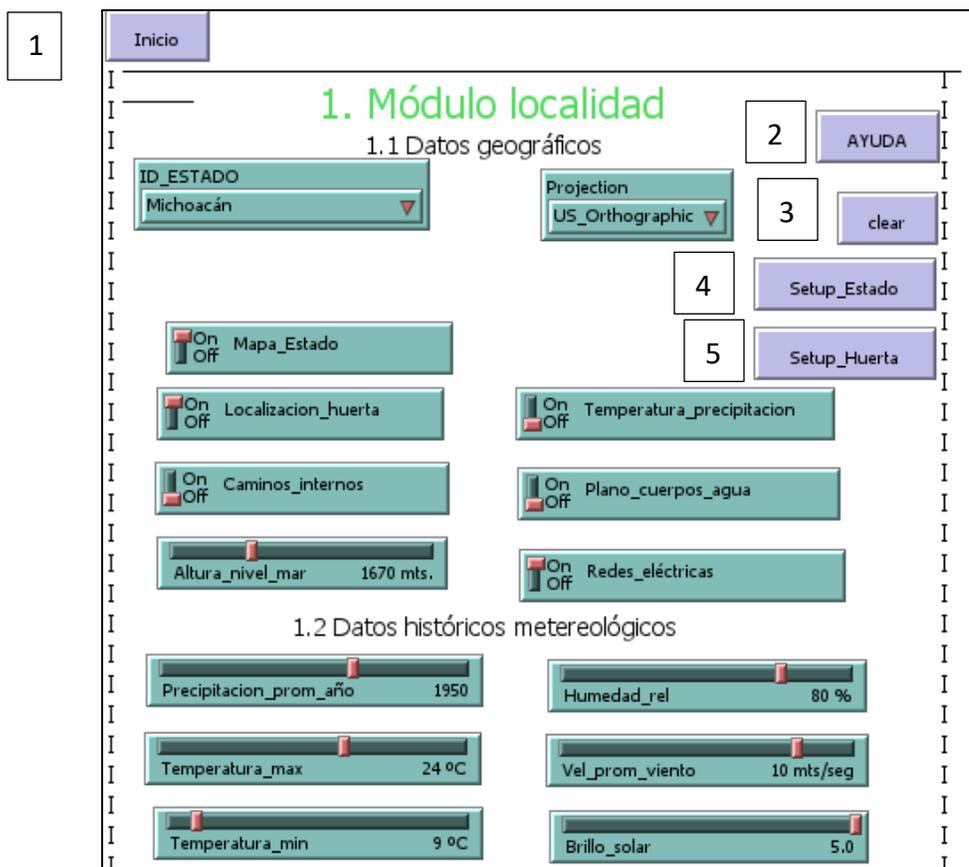


Figura 23. Guía de botones del módulo Localidad. Fuente: Elaboración propia (2023).

**AYUDA (2):** Figura 20. Proporciona información específica sobre el módulo de "Localidad".

**Clear (3):** Figura 20. Realiza una limpieza general del módulo localidad, eliminando la selección anterior de los elementos y reiniciando los valores del modelo.

**Setup\_estado (4):** Figura 20. Proyecta las configuraciones específicas relacionadas con la localidad en el mapa del estado, así como datos geoespaciales.

**Setup\_Huerta (5):** Figura 20. Proyecta las configuraciones específicas relacionadas con la localidad en el mapa de la huerta, así como datos geospaciales dentro del predio.

1.3 Estudio de suelo completo  
(físico-químico y biológico)

MACROELEMENTOS

Nitrogeno_N	1.51	Magnesio_Mg	4.4
Fosforo_P	0.1	Calcio_Ca	0.1
Potasio_K	0.9		

MICROELEMENTOS

Hierro_Fe	150	Zinc_Zn	10
Manganeso_Mn	20	Boro_B	20
Cobre_Cu	4		

6      Reporte de evaluación

Figura 24. Guía de botones del estudio del suelo módulo Localidad. Fuente: Elaboración propia (2023).

**Reporte de evaluación (6):** Figura 21. Entrega la evaluación de los elementos del suelo dependiendo de los valores que se ingresaron al sistema.

## 5.2 MÓDULO AGRÍCOLA

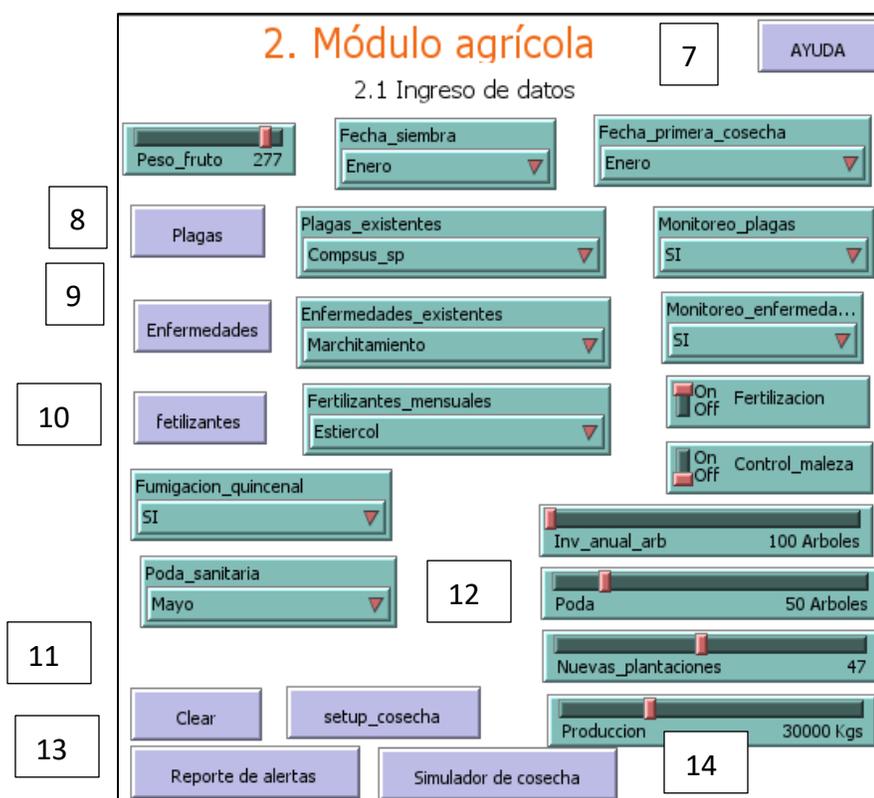


Figura 25. Guía de botones del módulo agrícola. Fuente: Elaboración propia (2023).

**Ayuda (7):** Figura 22. Proporciona información sobre el módulo agrícola.

**Plagas (8):** Figura 22. Está diseñado para desplegar información e imágenes de la plaga seleccionada del listado.

**Enfermedades (9).** Figura 22. Despliega información e imágenes sobre la enfermedad seleccionada del listado.

**Fertilizantes (10).** Figura 22. Despliega información e imágenes sobre el fertilizante seleccionada del listado.

**Clear (11).** Figura 22. Realiza una limpieza general del módulo localidad, eliminando la selección anterior de los elementos y reiniciando los valores del modelo.

**Setup\_cosecha (12).** Figura 22. Reinicia los valores del módulo cosecha.

**Reporte de alertas (13).** Figura 22. Muestra las fechas para aplicar fertilizantes.

**Simulación de cosecha (14).** Figura 22. Muestra la cantidad estimada de cosecha en kilogramos con los valores ingresados al sistema.

### 5.3 MÓDULO COMERCIAL

The screenshot displays a software interface for the '3. Módulo comercial'. At the top, the title '3. Módulo comercial' is shown in green, followed by a box containing the number '15' and a purple button labeled 'AYUDA'. Below this, the section '3.1 Ingreso de datos' is centered. The interface contains several data entry fields: 'Precio\_mercado' (6.5 \$), 'Precio\_compra' (2 \$), and 'Contrato\_comercial\_duración' (4.5 Años) are shown as sliders. Below these are three dropdown menus: 'Calidad\_negociada' (EXPORTACION), 'Calibre\_fruta\_despachada' (TODAS), and 'Tabla\_color\_calibre' (SI). Further down, 'Volumne\_fruta\_despachada' (80 %) is a slider, and 'Tipo\_empaque' (PLASTICO) is a dropdown menu. At the bottom, 'Mano\_obra\_poscosecha' (5 Operarios) is a slider. A box with the number '16' and a purple button labeled 'Reporte' are located at the bottom right of the interface.

Figura 26. Guía de botones del módulo comercial. Fuente: Elaboración propia (2023).

**Ayuda (15):** Figura 23. Proporciona información sobre el módulo comercial.

**Reporte (16):** Figura 23. Genera reporte de la información del módulo comercial.

## 5.4 MÓDULO ECONÓMICO

4. Módulo económico

AYUDA

17

4.1 Ingreso e datos

Ingreso\_privado 1300000

Impuestos\_y\_mantenimiento 120000

Costos\_insumos\_comerciables 232632

Factores\_internos\_produccion 10000

18

GANANCIA\_NETA

19

RENTABILIDAD

GANANCIA\_EXTRAORDINARIA\_PRIVADA  
0

RAZON\_RENTABILIDAD\_PRIVADA  
0

VALOR\_AGREGADO\_A\_PRECIO\_PRIVADO  
0

CONSUMO\_INTERMEDIO\_INGRESO\_TOTAL  
0

RAZON\_COSTO\_PRIVADO  
0

VALOR\_AGREGADO\_INGRESO\_TOTAL  
0

Figura 27. Guía de botones del estudio del suelo módulo económico. Fuente: Elaboración propia (2023).

**Ayuda (17):** Figura 24. Proporciona información sobre el módulo económico

**Ganancia\_Neta (18):** Figura 24. Entrega la cifra de la Ganancia Extraordinaria privada

**Rentabilidad (19):** Figura 24. Entrega la cifra de la Razón de Rentabilidad Privada

## **RECOMENDACIONES GENERALES**

Se recomienda la actualización de datos que alimentan el sistema, como condiciones del suelo, datos socioeconómicos y variables climáticas. La precisión y relevancia de los resultados del sistema dependerán en gran medida de la calidad y de la actualización de la información, así mismo se recomienda un proceso continuo de evaluación, calibración y mejora del sistema experto.

También es importante que exista retroalimentación de los productores locales, para identificar las áreas de mejora y oportunidades en el sistema experto e ir actualizándolo.

El sistema experto puede adaptarse a otras regiones e incluso a otro tipo de cultivo, también se puede considerar la inclusión de módulos o configuraciones que permitan a los usuarios personalizar ciertos parámetros según las particularidades de sus zonas de cultivo.

Se puede considerar a futuro conectar el software a hardware que alimenten en tiempo real al sistema, para convertirse en gemelo digital, con esto aumenta la precisión y la capacidad predictiva y analítica del sistema.

## **CONCLUSIONES GENERALES**

La presente tesis tuvo como objetivos el diseño, la implementación y la validación de un sistema experto basado en simulación utilizando el software NETLOGO™, con el propósito de respaldar la toma de decisiones de los productores locales de aguacate Hass. Para verificar el cumplimiento de los objetivos se revisa cada uno de ellos:

El objetivo general de la tesis consistió en diseñar, implementar y validar un sistema experto que permitiera a los productores locales de aguacate Hass estimar anticipadamente la cosecha y evaluar los indicadores comerciales y económicos para garantizar la viabilidad de su modelo de negocio. Este objetivo se logró a través del desarrollo del sistema experto, convirtiéndose en una herramienta de apoyo para la toma de decisiones de los productores locales de aguacate Hass.

### Revisión de la Literatura:

La revisión de la literatura relacionada con sistemas expertos en el contexto agroalimentario, así como, las metodologías para caracterizar la aptitud del suelo, la cadena de suministro del aguacate Hass, los indicadores económicos y comerciales de actividades agropecuarias fueron fundamentales para crear la base de conocimiento del sistema experto.

### Diseño e Implementación del Sistema Experto:

Se diseñó e implementó con éxito un sistema experto basado en simulación utilizando NETLOGO™. Este sistema proporciona a los productores locales de aguacate Hass una herramienta integral para la toma de decisiones, abordando la caracterización del suelo, anticipación de cosechas y el factor económico con la evaluación de indicadores.

### Validación del Sistema:

La validación del sistema experto se realizó utilizando datos proporcionados por una productora local en Michoacán. Los resultados obtenidos demostraron la eficacia del sistema en la toma de decisiones específicas para la realidad de los productores, confirmando su utilidad y aplicabilidad.

En el módulo de ubicación se localizaron las zonas ideales para producir aguacate Hass (Figura 28), así como los rangos de los elementos necesarios para un cultivo exitoso (Tabla 12).

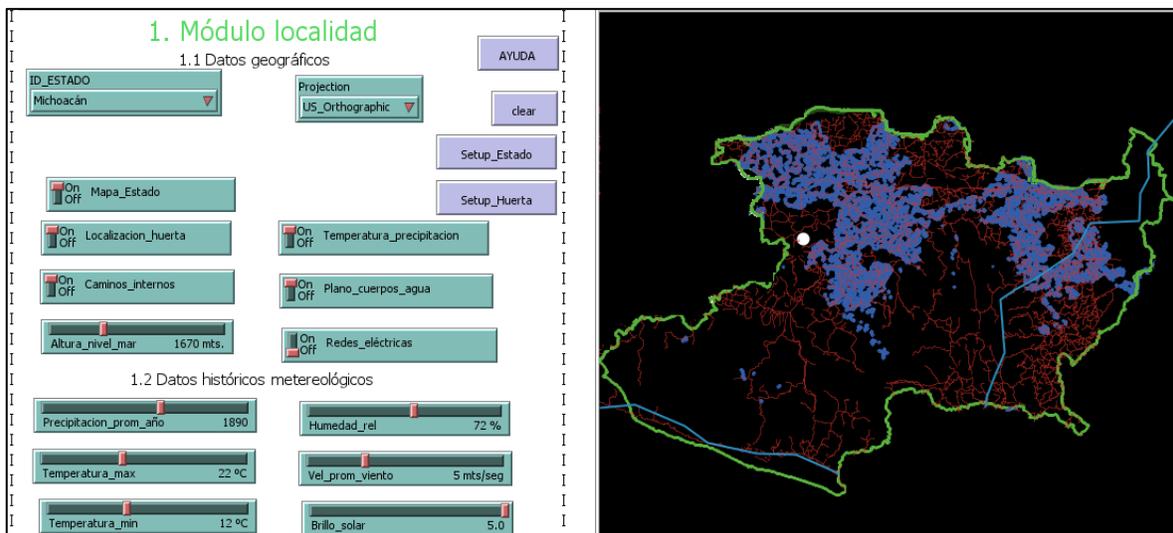


Figura 28. Zonas ideales para siembra de aguacate Hass en el estado de Michoacán en el modelo de NETLOGO™. Fuente: Elaboración propia (2024)

Macroelementos			
Nitrógeno	1.47%	1.51-2.00	Normal
Fosforo	0.08%	0.10-0.30	Normal
Potasio	0.76%	0.80-1.00	Normal
Magnesio	0.27%	>0.10	Normal
Calcio	1.41%	>1.0	Normal
Sodio	Inapreciable		Normal
Microelementos			
Hierro	62 ppm	150-300	Bajo
Manganeso	37 ppm	>20	Normal
Zinc	10 ppm	>4	Normal
Cobre	9 ppm	>10	Normal
Boro	29 ppm	20-150	Normal

Tabla 12. Tabla de resultados de análisis del suelo. Fuente: Elaboración propia 2024

Uno de los componentes más importantes del Sistema experto para apoyar la toma de decisiones a los productores de aguacate Hass, es el módulo financiero que está directamente relacionado al Módulo comercial, con ayuda de indicadores que se utilizan en agronegocios, muestra la viabilidad del modelo de negocio.

Indicadores de viabilidad del modelo de negocio	
Rentabilidad	1.6828
Valor agregado a precio privado	1956316
Consumo intermedio ingreso total	0.3013
Valor agregado ingreso total	0.6986
Razón costo privado	0.1022

Tabla 13 Indicadores de viabilidad del modelo de Negocio. Fuente: Elaboración propia (2024)

La rentabilidad indica la eficiencia económica y se calcula como la ganancia neta dividida por el capital invertido. En este caso, la rentabilidad es 1.6828, lo que significa que, por cada unidad de capital invertido, se obtuvo 1.6828 unidades de ganancia neta.

El Valor agregado a precio privado se refiere al valor que se agrega al precio privado del cultivo. En este caso, es de 1,956,316 m.n., indicando la contribución económica adicional al precio privado.

Consumo intermedio ingreso total sugiere que el 30.13% del ingreso total se destina al consumo intermedio, que son los gastos relacionados con la compra de bienes y servicios necesarios para la producción.

El valor agregado al ingreso total es del 69.86% indica la proporción del ingreso total que se ha agregado como valor durante el proceso productivo.

Razón costo privado que es del 10.22%, se refiere a la proporción de los costos privados con respecto a algún aspecto específico del cultivo, indicando la eficiencia en la gestión de estos costos.

Transferencia del Conocimiento:

Se hizo la transferencia del sistema experto a los productores a través de un Manual de Usuario que describe el funcionamiento de cada módulo del sistema para que los productores puedan introducir sus casos e ir estimando el valor de su cosecha en tiempo real.

## REFERENCIAS

Alcántar-Rocillo, J. J., Anguiano-Contreras, J., Coria-Avalos, V. M., Hernández-Ruiz, G., & Ruiz-Corral, J. A. (1999). Áreas potenciales para cultivo del aguacate (*Persea americana* cv. Hass) en el estado de Michoacán, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 151-154.

Analdex. (2019). Exportaciones de Aguacate colombianas 2018, Colombia.

Analdex. (2022). Informe: Exportaciones de aguacate Hass septiembre 2022. Asociación Nacional de Comercio Exterior. <https://www.analdex.org/2022/12/13/informe-exportaciones-de-aguacate-hass-septiembre-2022/>

Apeamac. (2017). El aguacate mexicano listo para remontar en mercados internacionales. Apeamac. <https://www.apeamac.com/2022/05/el-aguacate-mexicano-listo-para-remontar-en-mercados-internacionales/>

Avilán, L., Soto, E., Pérez, M., Marín, C., Rodríguez, M., & Ruiz, J. (2009). Comportamiento fenológico de la raza antillana de aguacate en la región centro-norte costera de Venezuela. *Agronomía Tropical*, 59(1), 5-14.

Arias, F., Montoya, C., y Velásquez, O. (2018). Dinámica del mercado mundial de aguacate. *Revista Virtual Universidad Católica del Norte*, (55), 22-35.

Badaró, S., Ibañez, L. J., & Agüero, M. J. (2013). Fundamentos, Metodologías y Aplicaciones. *Ciencia y tecnología*, (13), 349-364.

Ballesteros, F. Caldón, A. (2019). Evaluación de los principales instrumentos de caracterización empleados por parte de unas asociaciones de productores de aguacate (*Persea americana*) del municipio de El Tambo, a través del uso de técnicas estadísticas. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente Programa de Agronomía Popayán.

Bernal-Estrada, J., Vázquez-Gallo, L., Valenzuela, C., Salazar-García, S., & Barrientos-Priego, A. F. (2017). Fenología del aguacate cv. Hass plantado en diversos ambientes del departamento de Antioquia, Colombia. In *Memorias del V Congreso Latinoamericano del Aguacate* (pp. 04-07). Jalisco, México: Asociación de Productores Exportadores de Aguacate de Jalisco, AC.

Bolívar, A. Madero, R. y Castro -Zarcos, C. (2019). Comportamiento del mercado internacional sobre el consumo de aguacate. *Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (abril 2019). <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/04/mercado-internacional-aguacate.html> //hdl.handle.net/20.500.11763/oel1904mercado-internacional-aguacate

Bower, J. (1985). Manual de calidad del aguacate guía de mejores prácticas. Recuperado de <https://hassavocadoboard.com/wp-content/uploads/Hass-Avocado-Board-Quality-Manual-Spanish.pdf>

Bula, H. D., Aramendiz, H., Salas, D., Vergara, W. E., & Villadiego, A. L. (2013). Sistema Experto para el diagnóstico de plagas y enfermedades en los cultivos de berenjena (*Solanum Melongena* L.) en la región Caribe de Colombia. *Ingeniería e Innovación*, 1(1).

Camacho, Y. A., Sanabria, Y. R., Martínez, L. J., Restrepo, H., Mora-Motta, A., García, S., & Díaz, C. (2014). Este documento presenta el 100% de la consolidación de la metodología de evaluación de tierras con fines agropecuarios a escala semidetallada.

Casas, A. & Vallejo, M. (2019). Agroecología y agrobiodiversidad. Crisis ambiental en México, 103.

Castrejón-Antonio, J. E., Montesinos-Matías, R., Acevedo-Reyes, N., Tamez-Guerra, P., Ayala-Zermeño, M. Á., Berlanga-Padilla, A. M., & Arredondo-Bernal, H. C. (2017). Especies de *Xyleborus* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) asociados a huertos de aguacate en Colima, México. *Acta zoológica mexicana*, 33(1), 146-150.

Cho, K. (2020). Impactos ambientales de la cadena de suministro de aguacate entre Estados Unidos y México. Universidad de Michigan.

Cuevas, M. (2014). Momento óptimo de cosecha del aguacate (*Persea americana* Mill.) cv. 'Semil 34' en la República Dominicana. *Revista APF*, 3, 1.

De Oca, A. M., & Flores, G. (2021). The AgriQ: A low-cost unmanned aerial system for precision agriculture. *Expert Systems with Applications*, 182, 115163.

de Oliveira, M. D. S., & Schwartz, G. (2018). Açaí—*Euterpe oleracea*. In *Exotic fruits* (pp. 1-5). Academic Press.

El Economista. (2023). EU se consolidó como principal mercado para aguacate jalisciense. Recuperado de: <https://www.eleconomista.com.mx/estados/EU-se-consolido-como-principal-mercado-para-aguacate-jalisciense-20230801-0075.html>

Flores León, J. J. (2022). Labores agroecológicas y agrotécnicas en el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) (Bachelor's thesis, BABAHOYO: UTB, 2021).

Fonseca, F., Aguilar, D., Siachoque, R., Urbina, J., Otero, J., Páramo, G., García, E. & Lozano, J. (2018). Zonificación de aptitud para el cultivo comercial de aguacate Hass en Colombia, a escala 1:100.000. Bogotá: UPRA.

Franco Sánchez, M. A., Leos Rodríguez, J. A., Salas González, J. M., Acosta Ramos, M., & García Munguía, A. (2018). Análisis de costos y competitividad en la producción de aguacate en Michoacán, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(2), 391-403.

Galán, S. (1990). Tropical fruit crops in the subtropics. I. Avocado, mango, litchi and longan. *Tropical fruit crops in the subtropics. I. Avocado, mango, litchi and longan*.

Guha, A., & Guha, J. (1999). Diseño de un sistema experto de agricultura de plantaciones para palma de aceite. *Palmas*, 20(4), 31-44.

Hermanides, G. & Nijkamp, P. (1998). Multicriteria evaluation of sustainable agricultural land use: a case study of Lesvos. *Multicriteria Analysis for Land-Use Management*, 61-78.

- Hofshi, R. (2001). Hass cultivation in Mexico. *AvoResearch*, 1(3), 8-10.
- Holland, J. H. (1992). Genetic algorithms. *Scientific american*, 267(1), 66-73.
- Ligarreto, G., Fischer, G., Rodríguez, J. O., Miranda, D., Perea, M., Ramírez, F. & Flórez, A. (2012). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Particularidades de los frutales. *Produmedios*.
- Macías, A. (2011). México en el mercado internacional de aguacate. *Revista de Ciencias Sociales (RCS)* Vol. XVII, No. 3, Julio - Septiembre 2011, pp. 517 - 532. *FACES - LUZ* ISSN 1315-9518.
- Madero Romero, B. A., & Castro Zarcos, C. J. (2019). Comportamiento del mercado internacional sobre el consumo de aguacate. *Observatorio de la Economía Latinoamericana*, (abril).
- NETLOGO™ (2023) <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- Opportimes. (2022). Los 10 principales exportadores de aguacate. *Opportimes*. <https://www.opportimes.com/los-10-principales-exportadores-de-aguacate/>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2018). La producción de aguacate genera más de 54 mil empleos en el país. Recuperado de: <https://www.minagricultura.gov.co/noticias>
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), (2017), <https://www.fao.org/soils-portal/soil-assessment/es/>
- Peláez, V., Núñez, D. (2019). Potencial exportador de aguacate colombiano a Corea del Sur. *REVISTA MUNDO ASIA PACÍFICO*, 9(17).
- Revista APF. (2014). Volumen 3(1). Sociedad Dominicana de Investigadores Agropecuarios y Forestales (SODIAF).
- Sánchez-Saavedra, M. G., Cortez-Madrigal, H., & Ochoa-Estrada, S. (2012). Parasitismo de larvas de *Copturus aguacatae* (Coleoptera: Curculionidae) por *Heterorhabditis indica* (Rhabditida: Heterorhabditidae) en laboratorio. *Revista Colombiana de Entomología*, 38(2), 200-207.
- Schroeder, C. A., & Hofshi, R. (2006). Some aspects of Pollination and Fertilization in subtropical fruit species. *J. Amer. Soc. Hort. Sci*, 114(1), 289-292.
- SIAP (2018). Valor de la Producción del Aguacate en Michoacán Rebasa los 32 Mil Mdp | Representación AGRICULTURA Michoacán | Gobierno | [gob.mx](http://gob.mx) ([www.gob.mx](http://www.gob.mx)).
- SENASICA (2020). Aguacate michoacano igual a empleo y bienestar. Recuperado el 26 de julio de 2023, de <https://www.gob.mx/senasica/articulos/aguacate-michoacano-igual-a-empleo-y-bienestar?idiom=es>
- Toledo, L. O. & Valverde, N. K. (2009). Diseñ oy desarrollo de un sistema inteligente para el diagnóstico y monitoreo de plagas y enfermedades en frutas y hortalizas. In 8va Conferencia Iberoamericana en Sistemas, Cibernética e Informática (pp. 1-5).

Trade Map. 2019 Country Selection - Product Trade Flow. Trademap.  
<https://www.trademap.org/Country>

Valderrama Bahamóndez, G. I., & Cortes, L. (2021). Memoria 2019 de la Jornada de Iniciación Científica.

W Radio. (2018). El éxito del aguacate, un negocio que florece en Colombia  
W Radio. <https://www.wradio.com.co/noticias/actualidad/el-exito-del-aguacate-un-negocio-que-florece-en-colombia/20180801/nota/3781120.aspx>

## ANEXO A

```
;Extensions
```

```
extensions [  
    csv  
    gis  
]
```

```
;
```

```
-----  
; Variables globales
```

```
globals [  
MEXICO-dataset  
    ARCHIVO-dataset  
MICHUACAN-dataset ; para cargar mapa  
    MUNICIPIOS-dataset  
CARRETERAS-dataset  
    HUERTA-dataset  
    CUERPOSAGUA-dataset  
escritura; para escribir xls  
lectura; para leer csv  
GANANCIA_EXTRAORDINARIA_PRIVADA  
  
    RAZON_RENTABILIDAD_PRIVADA  
    VALOR_AGREGADO_A_PRECIO_PRIVADO  
    RAZON_COSTO_PRIVADO  
  
    CONSUMO_INTERMEDIO_INGRESO_TOTAL  
    VALOR_AGREGADO_INGRESO_TOTAL
```

```
TIR  
    VAM
```

```
]
```

```
;
```

```
-----  
to inicio  
clear-all  
    import-drawing "datasets/aguacate.png"
```

```
    output-print (word " Este sistema experto apoya la toma de decisiones de productores de  
aguacate hass. consiste de 4 módulos que permiten tener una visión amplia del modelo de  
negocio de los productores.")
```

```
end
```

```
;
```

```
-----  
TO ayuda1  
clear-all  
    import-drawing "datasets/aguacate.png"  
output-print (word "MÓDULO LOCALIDAD")
```

```
end
```

```

;-----
-----
to clear
  clear-all
end

;-----
-----
to print-progress [string]
  print (word "PROGRESS : " string)
end
;-----
-----

to setup_localidad

  print-progress "Cargando mapas"
  clear-all
  gis:load-coordinate-system (word "datasets/"projection".prj")

if Mapa_Estado [

  if ID_ESTADO = "Michoacán" [
    set ARCHIVO-dataset gis:load-dataset "datasets/michoacan_total.shp"
    gis:set-world-envelope gis:envelope-of ARCHIVO-dataset
    gis:set-drawing-color green
    gis:draw ARCHIVO-dataset 3
    output-print (word "Proyección del mapa del Michoacán.")

  ]

  if Localizacion_huerta
  [

    set HUERTA-dataset gis:load-dataset "datasets/HUERTA_PUNTO.shp"
    gis:set-drawing-color white
    gis:draw HUERTA-dataset 4
    gis:fill HUERTA-dataset 4
    output-print (word "Proyección de la huerta.")

  ]

if Temperatura_precipitacion[
  set MEXICO-dataset gis:load-dataset "datasets/archivo.shp"
  gis:set-world-envelope gis:envelope-of MEXICO-dataset

```

```
gis:set-drawing-color blue
gis:draw MEXICO-dataset 3
output-print (word "Proyección del mapa de temperatura, precipitación, altura de nivel
del mar.")
]
```

```
if Caminos_internos [
```

```
set CARRETERAS-dataset gis:load-dataset "datasets/Carreteras Michoacan.shp"
;gis:set-world-envelope gis:envelope-of CARRETERAS-dataset
gis:set-drawing-color red
gis:draw CARRETERAS-dataset 0.5
output-print (word "Proyección de carreteras de Michoacán.")
```

```
]
```

```
if Plano_cuerpos_agua [
```

```
set CUERPOSAGUA-dataset gis:load-dataset "datasets/cuerpos de agua.shp"
gis:set-world-envelope gis:envelope-of CUERPOSAGUA-dataset
gis:set-drawing-color sky
gis:draw CUERPOSAGUA-dataset 2
output-print (word "Proyección de cuerpos de agua de Michoacán.")
```

```
]
```

```
]
```

```
end
```

```
to Setup_Huerta
```

```
clear-all
```

```
if Localizacion_huerta
```

```
[
```

```
set HUERTA-dataset gis:load-dataset "datasets/Poligono.shp"
gis:set-world-envelope gis:envelope-of HUERTA-dataset
gis:set-drawing-color white
gis:draw HUERTA-dataset 3
gis:fill HUERTA-dataset 1
output-print (word "Proyección de la huerta.")
```

```
if Caminos_internos [
```

```
set CARRETERAS-dataset gis:load-dataset "datasets/Carreteras Michoacan.shp"
```

```
gis:set-drawing-color red
gis:draw CARRETERAS-dataset 0.5
```

```

output-print (word "Proyección de carreteras de Michoacán.")
]

if Plano_cuerpos_agua [

set CUERPOSAGUA-dataset gis:load-dataset "datasets/cuerpos de agua.shp"

gis:set-drawing-color sky
gis:draw CUERPOSAGUA-dataset 2
output-print (word "Proyección de cuerpos de agua de Michoacán.")

]

if Temperatura_precipitacion[
set MEXICO-dataset gis:load-dataset "datasets/archivo.shp"

gis:set-drawing-color blue
gis:draw MEXICO-dataset 3
output-print (word "Proyección del mapa de temperatura, precipitación, altura de nivel
del mar.")
]

]

reset-ticks

end

to reporte_gis
clear-all
export-view (word "Reporte GIS" ".png")

;MACROELEMENTOS

if (Potasio_K >= 0.80 AND Potasio_k <= 1) [ output-print (word "Valor de Potasio
NORMAL")]

if (Magnesio_Mg >= 0.1)[ output-print (word "Valor de Magnesio NORMAL")]

if (Calcio_Ca >= 1 ) [ output-print (word "Valor de Calcio NORMAL")]

;MICROELEMENTOS

if (Hierro_Fe >= 150 AND Hierro_Fe <= 300 ) [ output-print (word "Valor de Hierro
NORMAL")]

if (Manganeso_Mn >= 20 ) [ output-print (word "Valor de Manganeso NORMAL")]

```

```

if (Zinc_Zn >= 10 ) [ output-print (word "Valor de Zinc NORMAL")]

if (Cobre_Cu >= 4 ) [ output-print (word "Valor de Cobre NORMAL")]

if (Boro_B >= 20 AND Boro_B <= 150 ) [ output-print (word "Valor de Boro NORMAL")]

end

;_____
_____
;Módulo de CULTIVO

to ayuda2

  clear-all
  import-drawing "datasets/aguacate.png"

output-print (word "MÓDULO AGRÍCOLA")

end

;_____
_____
to plagas_imagen

  if ( Plagas_existentes = "Stenoma_catenifer_Walsingham") [
  clear-all
import-drawing "datasets/Polilla.png"
output-print ("Pasador del fruto o polilla de la semilla del aguacate (Stenoma catenifer
Walsingham).")
output-print (word "Polilla de extensión alar entre 25 y 28 mm.")
output-print (word "La larva entra en la fruta en todos los estados de desarrollo y hace
galerías que alcanzan la semilla; ")
output-print (word "las larvas de cuarto y quinto instar causan el mayor daño,
alimentándose de los cotiledones de la semilla.")
output-print (word "En frutos atacados, se observan exudados blanquecinos y acumulación
de excrementos en el orificio de entrada y pueden encontrarse varias larvas.")
output-print (word " Muchos frutos infestados con larvas de S. catenifer caen
prematuramente. Allí, las larvas siguen alimentándose de las semillas antes de salir del
fruto y empupan en el suelo.")
output-print (word "En periodos vegetativos y en floración, pueden llegar a afectar las
ramas laterales, donde construyen túneles longitudinales al punto incluso de ocasionar la
muerte de la rama.")

  ]

  if ( Plagas_existentes = "Coccus_viridis_Green") [
  clear-all
import-drawing "datasets/escama.png"
output-print ("Escama (Coccus viridis Green).")
output-print (word "Se alimentan de hojas, tallos y frutos.")

```

```
output-print (word "Cuando hay una gran cantidad, estas secretan un líquido pegajoso sobre el cual crece el Capnodium sp., .")
output-print (word "hongo causante de la fumagina que atrae hormigas")
output-print (word "En altas densidades, las escamas pueden causar defoliación.")
output-print (word "En Colombia se conocen alrededor de ciento ochenta especies de escamas en 13 familias.")
```

```
]
```

```
if ( Plagas_existentes = "Atta_cephalotes")[
  clear-all
  import-drawing "datasets/hormiga.png"
```

```
output-print ("Hormiga arriera (Atta cephalotes).")
output-print ("Se clasifican en tres castas diferentes: obreras, machos o zánganos, y reinas, las miden de 24 a 26 mm de largo.")
output-print ("Las hormigas pueden causar la defoliación total o parcial del árbol de aguacate y afectan especialmente hojas y ramas tiernas.")
output-print ("Son de gran importancia económica en trasplante y durante los primeros seis meses de establecimiento del cultivo.")
```

```
]
```

```
if ( Plagas_existentes = "Trips")[
  clear-all
  import-drawing "datasets/Trips.png"
```

```
output-print ("Trips (Frankliniella gardeniae Moulton; Heliothrips haemorrhoidalis Bouche; Selenothrips rubrocinctus Girad; Frankliniella occidentalis Pergante y Thrips palmi Karny).")
output-print ("Causan daños en hojas, flores y frutos de varias especies vegetales. Son insectos de 1 a 2 mm, delgados y con alas plumosas.")
output-print ("No son buenos voladores, pero pueden ser llevados a grandes distancias por el viento.")
output-print ("El ciclo biológico de algunos trips es de alrededor de 21 días; las hembras pueden ovipositar hasta 37 huevos.")
output-print ("Los inmaduros y el adulto raspan el tejido vegetal al alimentarse; la hembra hace daño con el ovipositor al perforar varios puntos")
output-print ("en el fruto antes de depositar los huevos.")
output-print ("La plaga se distribuye en focos y por esto es frecuente encontrar ramas y frutos atacados, mientras el resto del árbol o árboles vecinos están libres de ella.")
```

```
]
```

```
if ( Plagas_existentes = "Compsus_sp")[
  clear-all
  import-drawing "datasets/Compsus.png"
```

```
output-print ("Picudo del aguacate (Compsus sp.; Heilipus lauri Boheman).")
output-print ("El adulto es un gorgojo que mide entre 14 a 17 mm de largo, es de color negro o marrón oscuro brillante y tiene dos bandas amarillas incompletas.")
output-print ("Larvas y adultos se alimentan de tallos, ramas y frutos, destruyéndolos en su totalidad.")
output-print ("El daño del adulto es provocado por la perforación del fruto en la oviposición, mientras que la larva causa la pudrición de la pulpa")
output-print ("y destruye parcial o totalmente la semilla, lo que ocasiona la caída del fruto.")
```

```
]
end
```

```
to Enfermedades
```

```
  if ( Enfermedades_existentes = "Phytophthora_cinnamomi_Rands") [
    clear-all

    import-drawing "datasets/Phytophthora.png"

    output-print ("Pudrición de la raíz (Phytophthora cinnamomi Rands).")
    output-print ("La pudrición se presenta en cualquier etapa del cultivo, en vivero, las plantas pueden llegar a morir prematuramente antes")
    output-print ("del prendimiento del injerto, debido a la necrosis del cuello del patrón.")
    output-print ("Las plántulas presentan poco crecimiento, reducido desarrollo foliar y amarillamiento generalizado de las hojas")
    output-print ("muerte ascendente del patrón y descendente de la copa.")
    output-print ("A medida que avanza la infección, la parte basal del tallo del patrón se necrosa.")
    output-print ("En condiciones de campo, la enfermedad se presenta en focos, en las zonas más húmedas , manifestándose en detención del crecimiento de los árboles,")
    output-print ("reducción del tamaño de las hojas que pierden su color verde normal y son de apariencia pálida.")
    output-print ("En alta severidad, el hongo puede atacar la base del tallo y colonizarlo totalmente, hasta causar marchitamiento,")
    output-print ("secamiento y hasta la muerte de la planta ")
    output-print ("Puede ocurrir excesiva floración y fructificación, pero con frutos pequeños; los árboles mueren gradualmente de los extremos de las ramas, hacia abajo. ")

  ]

  if ( Enfermedades_existentes = "Marchitamiento") [
    clear-all

    import-drawing "datasets/Marchitamiento.png"

    output-print ("Marchitamiento de la planta de aguacate (Verticillium albo atrum Reinke & Berthier)")
    output-print ("Los árboles detienen parcialmente su crecimiento.")
    output-print ("El hongo invade los tallos y las ramas de un lado de la planta, produce marchitez repentina, parcial o total de las hojas.")
    output-print ("Toman una coloración café, permanecen adheridas a la planta por algún tiempo y luego caen.")
    output-print ("Los frutos se mantienen en el árbol, pero después caen y se presenta paloteo o muerte descendente de algunas ramas.")
    output-print ("En un corte longitudinal de la rama, se observa una necrosis color café claro que se extiende por un lado, a lo largo de la misma o puede abarcarla totalmente.")

  ]

  if ( Enfermedades_existentes = "Roña") [
```

```

clear-all

import-drawing "datasets/Roña.png"
output-print ("Roña (Sphaceloma perseae Jenkins).")
output-print ("En los frutos se presentan lesiones de apariencia corchosa, redondas o
irregulares, color pardo o café claro,")
output-print ("que pueden unirse y afectar parcial o totalmente el fruto.")
output-print ("Son superficiales sin afectar la calidad de la pulpa, aunque pueden
ocurrir grietas que favorecen ")
output-print ("el ingreso de otros organismos fitopatógenos.")
output-print ("En las hojas jóvenes y brotes tiernos se observan lesiones de 1 a 2 mm
de diámetro, de color café oscuro,")
output-print ("rodeadas de un leve halo clorótico en la hoja, lo que le da un
aspecto roñoso y arrugado a la lámina foliar.")

]

if ( Enfermedades_existentes = "Pudrición")[
clear-all

import-drawing "datasets/Pudricion.png"

output-print ("Pudrición del fruto por Rhizopus stolonifer (Ehrenb.: Fr.) Vuill.")
output-print ("Favorecido por humedad relativa alta o mal almacenamiento, por la
aparición de un moho grisáceo ")
output-print ("en el punto de inserción del pedúnculo con el fruto.")
output-print ("Es posible observar una pequeña lesión de color café o pudrición que
nvade parcialmente la cáscara y la pulpa de los frutos. ")
output-print ("La pulpa afectada presenta sabor desagradable por la pudrición.")

]

end

to fertilizantes
end

to Reporte2
end

;-----

to BALANCE
end

```

```

to INGRESO_BRUTO
end

to GANANCIA_NETA

set GANANCIA_EXTRAORDINARIA_PRIVADA (Ingreso_privado - Costos_insumos_comerciables -
Factores_internos_produccion)

end

to UTILIDAD
end

to RENTABILIDAD

  set RAZON_RENTABILIDAD_PRIVADA (GANANCIA_EXTRAORDINARIA_PRIVADA /
(Costos_insumos_comerciables + Factores_internos_produccion))
  set VALOR_AGREGADO_A_PRECIO_PRIVADO (Ingreso_privado - Costos_insumos_comerciables)

  set RAZON_COSTO_PRIVADO ( Factores_internos_produccion / (Ingreso_privado -
Costos_insumos_comerciables) )

  set CONSUMO_INTERMEDIO_INGRESO_TOTAL (Costos_insumos_comerciables / Ingreso_privado)

  set VALOR_AGREGADO_INGRESO_TOTAL ((Ingreso_privado - Costos_insumos_comerciables) /
Ingreso_privado )

end

to Reporte3
end

to clear2
  clear-all
  clear-all-plots

end

to setup2
end

to simulador
end

to exportar_graficos1

  export-all-plots "graficos_producción.csv"

```

```
file-close-all

end
;_____
_____

to ayuda3

clear-all
  import-drawing "datasets/aguacate.png"
  output-print (word "MÓDULO COMERCIAL")

end

to clear3
  clear-all

end

to report2
end

to Ayuda5
  clear-all
  import-drawing "datasets/aguacate.png"
  output-print (word "MÓDULO ECONÓMICO")

end
```

## ANEXO B



**Facultad de Ingeniería  
Secretaría de Posgrado e Investigación**

**Asunto:** Carta de confidencialidad de datos.

### **A QUIEN CORRESPONDA PRESENTE**

La que suscribe **Dra. Aida Huerta Barrientos, Secretaria de Posgrado e Investigación** de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, notifica que la alumna María Aidée Luz Bustos con número de cuenta 306162350 quien actualmente se encuentra finalizando su proyecto de tesis titulada: *Un sistema experto para apoyar la toma de decisiones de los productores locales de aguacate Hass*, en el marco del Programa de Maestría y Doctorado en Ingeniería de la UNAM, utilizará de forma confidencial y únicamente para propósitos de investigación, los datos proporcionados por usted C. Berenice León Arroyo acerca de su huerta de aguacate localizada en el estado de Michoacán.

Además, la sección de la tesis en donde se documenta el caso práctico con los datos de su huerta de aguacate no será de dominio público.

Sin más por el momento, agradezco la atención al presente, recibe un cordial saludo.

Atentamente  
"Por mi Raza hablará el Espíritu"  
3 de noviembre de 2023.

Dra. Aida Huerta Barrientos  
Secretaria de Posgrado e Investigación  
5533679724  
aida.huerta@comunidad.unam.mx