



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO
UNIDAD DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
Maestría en Competitividad y Sustentabilidad



**Diseño del establecimiento de una biofábrica
para la producción de plantas de café (Coffea
arabica variedad Oro Azteca)**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN COMPETITIVIDAD Y SUSTENTABILIDAD**

PRESENTA

Q.B.P. Javier Gallardo Ignacio

DIRECTOR

Dr. Ricardo Salazar López

CODIRECTOR

Dr. Pavel Sierra Martínez

ASESOR EXTERNO

Dra. María del Pilar Nicasio Torres

Acapulco de Juárez., Gro. México, julio de 2018



BECADO POR EL CONSEJO
NACIONAL DE CIENCIA Y
TECNOLOGÍA

“Diseño del establecimiento de una biofábrica para la producción de plantas de café (*Coffea arabica* variedad Oro Azteca)”



UAGro

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE GUERRERO
UNIDAD DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

Maestría en Competitividad y Sustentabilidad

ACTA DE APROBACIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Acapulco, Guerrero, siendo las doce horas del día 3 de julio del año dos mil dieciocho, se reunieron los miembros del comité tutorial designado por la academia de posgrado de la Maestría en Competitividad y Sustentabilidad para examinar la tesis titulada "DISEÑO DEL ESTABLECIMIENTO DE UNA BIOFÁBRICA PARA LA PRODUCCIÓN DE PLANTAS DE CAFÉ (*Coffea arabica* variedad Oro Azteca)", que presenta el estudiante **C. Javier Gallardo Ignacio**, para obtener el grado de MAESTRO EN COMPETITIVIDAD Y SUSTENTABILIDAD. Después de examinar el escrito y hacer el análisis correspondiente, los miembros del comité aprobaron la tesis y autorizan la impresión final de la misma. Una vez que el interesado satisfaga los requisitos señalados en el Reglamento General de Estudios de Posgrado e Investigación Vigente, procederá la presentación del examen de grado.

COMITÉ TUTORIAL

Dr. Ricardo Salazar López
Director de tesis

Dr. Pavel Sierra Martínez
Codirector de tesis

Dra. Yanik Ixchel Maldonado Astudillo
Asesora

Dra. María del Pilar Nicasio Torres
Asesora

Dr. Javier Jiménez Hernández
Asesor

Vo. Bo.

Dra. María Xóchitl Astudillo Miller
Coordinadora de posgrado

Dra. María Xóchitl Astudillo Miller
Directora de la UEPI

M.C. Octavio Oropeza Mariano
Responsable legal de la empresa Cafeticultores
Me'phaa de la Región Montaña SPR

<http://competitividad.uepi.mx>
Calle Pino S/N
Col. El Roble, C.P. 39640
Acapulco de Juárez, Guerrero, México
Correo electrónico: competitividad@uepi.mx
Tel. (744) 4 87 77 40 y (744) 4 69 04 30 ext. 4408



AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por haberme otorgado la beca de manutención para el desarrollo de este trabajo a través de una Beca Académica (745306).

A mi comité tutorial conformado por los investigadores: Dr. Ricardo Salazar López, Dr. Pavel Sierra Martínez, Dra. María del Pilar Nicasio Torres, Dr. Javier Jiménez Hernández y Dra. Yanik Ixchel Maldonado Astudillo por su contribución para el desarrollo de este trabajo.

Al Centro de Investigación Biomédica del Sur del Instituto Mexicano del Seguro Social, por el desarrollo del trabajo experimental en el laboratorio de Biotecnología bajo la asesoría de la Dra. María del Pilar Nicasio Torres.

Al laboratorio de Electrofisiología y Bioevaluación Farmacológica de la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, por realizar los estudios histológicos a cargo de la Dra. Janeth Téllez Román.

Al Dr. José Alberto Solís Navarrete investigador de la Unidad de Estudios de Posgrado e Investigación de la Universidad Autónoma de Guerrero, por su apoyo en el análisis económico para este proyecto.

A la Sociedad de Producción Rural Cafeticultores Mé'phaa de la Región Montaña y al Representante Legal MC. Octavio Oropeza Mariano, por permitirme desarrollar el trabajo para la implementación a su empresa.

DEDICATORIA

A mis seres queridos...

“Por su amor y cariño que comparten

en todo momento de mi vida”

AGRADECIMIENTOS PERSONALES

A Dios por dame fuerza para poder despertar cada mañana y soñar en poder triunfar en la vida, y sobre todo por el momento que estoy viviendo.

A mis seres queridos que amo mucho y han estado al pendiente de mí, acompañándome, compartiendo su amor y cariño para ser una persona soñadora que cuenta con el cariño de su familia.

A mi comité tutorial integrados por: Dr. Ricardo Salazar López, Dr. Pavel Sierra Martínez, Dr. Javier Jiménez Hernández y Dra. Yanik Ixchel Maldonado Astudillo, por compartir sus sabios conocimientos para el desarrollo y mejoramiento de este trabajo.

A la Dra. María del Pilar Nicasio Torres y los que forman parte del laboratorio de Biotecnología, porque en ellos he encontrado amigos y buenos compañeros en todo este tiempo que he desarrollado mi trabajo.

A mis amigos que han acompañado en este camino de mi formación, por compartir sus consejos y sobre todo su amistad que es incondicional.

¡GRACIAS!

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS PERSONALES	vi
ABREVIATURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
IMPACTO DEL PROYECTO EN EL SECTOR PRODUCTIVO	xv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Delimitación del problema.....	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general	4
1.3.2. Objetivos particulares.....	4
II. MARCO DE REFERENCIA.....	5
2.1. Descripción de la empresa	5
2.2. Filosofía	6
2.3. Infraestructura de la empresa	7
2.4. Mercado.....	8
2.5. Histórico de la producción de la empresa	8
2.6. Análisis FODA.....	9
2.6.1. Fortalezas.....	9
2.6.2. Debilidades	10
2.6.3. Oportunidades	10
2.6.4. Amenazas	11
III. MARCO TEÓRICO	13
3.1 Generalidades.....	13
3.2 Antecedentes.....	14
3.3 Clasificación	15
3.3.1. Variedades de café.....	16
3.4 Producción, resistencia a la roya y calidad de las variedades.....	20
3.5 Plagas y enfermedades	24
3.6 Micropropagación.....	25
3.7 Las biofábricas	27
IV. MARCO METODOLÓGICO	30

4.1	Diseño de una biofábrica para la producción de plantas de café (<i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca).....	30
4.1.1	Modelo de negocios para una biofábrica para la producción de plantas de café	30
4.1.2	Viabilidad económica.....	33
4.1.3	Diseño y organización de la biofábrica para producción de plantas de café <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca.....	33
4.1.4	Proceso biotecnológico para la obtención de embriones somáticos.....	33
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
5.1.	Modelo de Negocios para una biofábrica de producción de plantas de café <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca.	39
5.1.1	Segmento de mercado	40
5.1.2	Propuesta de valor	41
5.1.3	Canales	41
5.1.4	Relaciones con los clientes.....	42
5.1.5	Fuentes de ingresos	42
5.1.6	Recursos claves	43
5.1.7	Actividades claves.....	43
5.1.8	Asociaciones claves.....	44
5.1.9	Estructura de costos.....	44
5.2	Viabilidad económica.....	44
5.3	Diseño y organización de la biofábrica para producción de plantas de café <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca	47
5.3.1.	Establecimiento de la biofábrica	47
5.3.2	Ubicación.....	49
5.3.3	Almacén.....	49
5.3.4	Área de preparación de medios de cultivos.....	49
5.3.5	Área de lavado y secado.....	50
5.3.6	Área de esterilización	51
5.3.7	Área de siembra.....	51
5.3.8	Área de incubación.....	52
5.3.9.	Área de aclimatización	53
5.4.	Proceso biotecnológico para la obtención de embriones somáticos	53
5.4.1.	Cultivo aséptico.....	53
5.4.2.	Inducción a la callogénesis.....	54
5.4.3.	Histología	58
VI.	CONCLUSIONES	61
VII.	RECOMENDACIONES	62
	REFERENCIAS	64
	ANEXOS.....	68
	1. Componentes del medio de cultivo de Murashige y Skoog (MS)	68



2. Consideración de aplicación del paquete tecnológico para el cultivo de café <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca de acuerdo a la SAGARPA-INIFAP.	69
3. Costo de material, equipo, mobiliario e insumo necesarios para el funcionamiento de la biofábrica.....	72

ABREVIATURAS

2.4-D	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético
AMECAFE	Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café
BAP	Bencilaminopurina
CDI	Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
ha	Hectárea
ICO	Organización Internacional del Café
kg	Kilogramo
mg	Miligramo
PVPP	Polivinilpolipirrolidona
SAGARPA	Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
ton	Tonelada
qq	Quintales
PNC	Padrón Nacional Cafetalero
SPR	Sociedad de Producción Rural
SCAA	Asociación Americana de Cafés Especiales

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis FODA para Cafeticultores Me'phaa de la Región Montaña para el establecimiento de una biofábrica.	12
Tabla 2. Variedades evaluadas por sus características en café orgánico.....	22
Tabla 3. Plagas y enfermedades más importantes en el café.....	24
Tabla 4. Tratamientos empleados para inducir callogénesis en explantes de hoja de plantas de café especie <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca	35
Tabla 5. Procedimiento para la tinción de tejidos vegetales (SAFRANINA/VERDE RÁPIDO).....	37
Tabla 6. Descripción de la inversión inicial total en activos para el establecimiento de una biofábrica.....	45
Tabla 7. Flujo de caja y evaluación del proyecto para la biofábrica	46
Tabla 8. Respuesta a la callogénesis en explantes de hoja de <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca en 4 y 8 semanas en medio de cultivo MS.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variedades de café cultivados en 10 estados participantes.	17
Figura 2. Descripción de las características relevantes de la variedad Oro Azteca, según el programa World Coffe Research (WCR)	23
Figura 3. Diagrama de flujo de operaciones para el establecimiento de una biofábrica para la propagación in vitro de plantas de café <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca.....	32
Figura 4. Lienzo del Modelo de Negocios para el establecimiento de una biofábrica productora de plantas de café <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca.....	40
Figura 5. Diseño de plano del laboratorio por áreas para una biofábrica.....	48
Figura 6. Obtención del cultivo aséptico,.....	54
Figura 7. Formación de callo a las 4 (a), 8 (b) y 12 semanas 8 (c) en respuesta a las combinaciones hormonales de 2,4-D y BAP.....	54
Figura 8. Promedio de respuesta a explantes de hoja de <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca en formación de callo en medio de cultivo MS con mezcla de ácidos a las 4 semanas.	56
Figura 9. Promedio de respuesta a explantes de hoja de <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca en formación de callo en medio de cultivo MS con mezcla de ácidos a las 8 semanas.	56
Figura 10. Promedio de respuesta a explantes de hoja de <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca en formación de callo en medio de cultivo MS con PVPP a las 4 semanas. De acuerdo con la prueba de Tukey 0.05, promedios con letras iguales no son estadísticamente diferentes....	57
Figura 11. Promedio de respuesta a explantes de hoja de <i>Coffea arabica</i> variedad Oro Azteca en formación de callo en medio de cultivo MS con PVPP a las 8 semanas. De acuerdo con la prueba de Tukey 0.05, promedios con letras iguales no son estadísticamente diferentes....	57
Figura 12. Establecimiento de subcultivos de callos en medio MS en combinación de 0.5 mg/L de 2,4-D y 1.0 mg/L de BAP.	58
Figura 13. Observación histológica de explantes de <i>Coffea arabica</i> de la variedad Oro Azteca en diferentes tiempos de inducción a la callogénesis.	59

RESUMEN

El café es un producto agrícola de gran importancia en muchos países del mundo. En México en los últimos 10 años ha sufrido una drástica disminución de sus cafetales originada principalmente por plagas como la roya anaranjada, ocasionando grandes pérdidas económicas a nivel de empresa y nacional. En este trabajo se llevó a cabo el diseño de una biofábrica, para constituir un centro de producción de plantas café de la variedad Oro Azteca de manera masiva utilizando métodos biotecnológicos, para la empresa Cafeticultores Me'phaa de la Región Montaña. El objetivo es generar como propuesta de valor un paquete tecnológico que incluye plantas de café de la variedad Oro Azteca de 30 cm de altura en bolsas de polietileno, además, proporcionar asistencia para su desarrollo y crecimiento que necesita en campo. Para desarrollar el proyecto se realizó un modelo de negocios con la finalidad de crear, proporcionar y captar valor, el diseño de la biofábrica se elaboró un plano arquitectónico con la descripción de sus áreas, la inversión inicial requerida para el acondicionamiento y puesta en marcha del proyecto es de \$ 1 228 889.60, la viabilidad económica se determinó con los indicadores económicos de VAN de \$ \$144 833.97, TIR 17.41 % y PE \$ 1 016 402.64, logrando un proyecto viable de acuerdo a los indicadores calculados para la biofábrica. La generación del producto se estableció un protocolo biotecnológico que permita la obtención de embriones somáticas con la finalidad de poder micropropagar de manera masiva. Con los resultados obtenidos en este trabajo dan cimientos para buscar estrategias en el desarrollo técnico y económico para lograr establecer la biofábrica, además, permite el acceso a apoyos económicos de programas gubernamentales o de iniciativa privada, donde busca alcanzar su etapa consolidada con funcionamiento y operaciones interrumpidas, se espera una producción y ventas anuales de 120 000 plantas, acompañada de asesoría técnica para los productores, por lo que se espera tener ingresos por \$ 1 428 000.00 en el primer año con un crecimiento en la producción y ventas del 5 % en los años siguientes.

Palabras clave: *Biofábrica, Café, Oro Azteca, Modelo de negocios, Micropropagación*

ABSTRACT

The coffee is an agricultural product of great importance in many countries of the world. In Mexico over the past 10 years has suffered a drastic decline in their coffee plantations caused mainly by pests such as orange rust, causing great economic losses at the company and national level. In this work we carried out the design of a biofactory, where it seeks to establish a center for the production of coffee plants of the Oro Azteca variety in a massive way using biotechnological methods, which envisages the establishment for the company Cafeticultores Me'phaa de la Región Montaña. The objective is to generate value proposition as a technological package that includes coffee plants of the Oro Azteca variety 30 cm in height in polyethylene bags, in addition to provide assistance for their development and growth that you need in the field. To develop the project was carried out a business model with the purpose of create, deliver and capture value, the design of the biofactory developed an architectural drawing with the description of their areas, the initial investment required for the preparation and implementation of the project is \$1 228 889.60, economic viability was determined with the economic indicators of NPV \$ \$144 833.97, IRR 17.41 % and BEP \$ 1 016 402.64, achieving a viable project according to the indicators calculated for the biofactory. The generation of the product is established a biotechnology protocol that allows the obtaining of somatic embryos with the purpose to massively micropropagate. With the results obtained in this work give foundation to search for strategies in the technical and economic development to establish the biofactory, moreover, allows access to economic support of government programs or private initiative, where seeks to achieve its consolidated stage with functioning and disrupted operations, production is expected and annual sales of 120.000 plants, accompanied by technical advice for producers, it is expected to have revenues of \$ 1 428 000.00 in the first year with growth in production and sales of 5 % in the following years.

Keywords: *Biofactory, Coffee, Oro Azteca, Business Model, Micropropagation*

IMPACTO DEL PROYECTO EN EL SECTOR PRODUCTIVO

El café tiene una gran importancia económica para muchas personas en diversos países de Asia, África y América. Sin embargo, en años recientes los principales países productores de café han reportado bajas en su producción nacional. En México, gracias a la geografía nacional, es posible cultivar y producir variedades clasificadas entre las mejores del mundo. El café se produce en 15 estados de la república, en una superficie de 737 376.45 ha.

En los últimos 10 años, las afectaciones en la producción de café en México han sido significativas, siendo una de las causas principales, plagas como la roya y la broca del café. Debido a lo anterior, productores y organizaciones cafetaleras en conjunto con la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) han implementados programas de renovación para las huertas con variedades de café resistentes a las plagas antes mencionadas.

Para el ciclo 2017-2018 Guerrero produjo 41,582 toneladas de café cereza con un rendimiento 0.954 ton/ha. La SAGARPA señaló que el rendimiento por hectárea promedio durante este ciclo fue de 1.4 toneladas de café cereza a nivel nacional y corresponde a 5.86 qq/ha. El rendimiento reportado para la variedad Oro Azteca oscila alrededor de 20 qq/ha. Por lo tanto, su aplicación en el campo guerrerense permitirá de incrementar el rendimiento por hectáreas de café cultivado; además, la variedad proviene del cruzamiento del Híbrido Timor que le confiere la resistencia al hongo de la roya, con la variedad Caturra Rojo que le otorga las características de porte bajo, rendimiento y calidad.

El establecimiento de una biofábrica en la región cafetalera de la montaña de Guerrero dará paso a la innovación respecto a los métodos convencionales de producción de plantas, utilizando estudios de embriogénesis somática para poder micropropagar plantas de café Oro Azteca y dotar de grandes volúmenes a los productores. Además, la aplicación de esta tecnología posibilita la diversificación de nuevos productos, como plantas de Costa Rica 95, Pluma Hidalgo, Pacamara y Colombia todas pertenecientes a la especie arábica y con características sobresalientes que favorece la demanda de los productores.

Estas innovaciones tecnológicas se han desarrollado de forma continua en el tiempo, convirtiéndolo en un modelo muy competitivo al nivel nacional e internacional. De este modo se busca que las problemáticas reales y necesidades concretas de los productores sean resueltas considerando los beneficios socioeconómicos y ambientales para el bienestar de las sociedades cafetaleras; tales como el aumento de la producción y la sustentabilidad, la reducción del uso de agroquímicos y la mejora de la calidad del café con el objetivo de lograr la rentabilidad de los cultivos de café y la satisfacción del mercado.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Delimitación del problema

En los últimos años la cafecultura ha presentado bajos rendimientos en la producción y baja en la calidad del café a nivel nacional y local, así mismo la empresa Cafeticultores de la Montaña ha presentado disminución en su producción y reducción en sus hectáreas de cultivo, inhabilitando las posibilidades para la exportación y disminución en los precios de venta ante los comercializadores a nivel nacional.

Los principales factores que afectan a la cadena de valor incluyen las malas condiciones agronómicas en que se encuentran los cafetales (plantas de más 30 años de edad); las malas prácticas agrícolas realizadas por varias décadas que repercuten en toda la cadena productora del café; el cambio climático, ya que en la última década se han registrado sequías o lluvias abundantes a causa de huracanes creando condiciones favorables para el crecimiento de patógenos que afectan los cultivos (Del Pilar, 2015).

Las enfermedades y las plagas son el mayor problema para el cultivo y producción. Entre las principales plagas de mayor frecuencia y daño generado, sobresalen los hongos (la roya, el ojo de gallo), nemátodos (el minador de la hoja; y de la raíz; barrenador del tallo), e insectos como la broca del fruto, piojo harinoso del follaje y la araña roja (Marbán-Mendoza, 2009).

En el estado de Guerrero, a pesar de ser una entidad con una importante producción de café, se carece de instituciones especializadas y programas para investigación, y desarrollo de tecnologías cafetaleras para la mejora regulatoria de la cadena productora del café. Además, de la participación, articulación y el compromiso de las organizaciones regionales con los pequeños productores, la presencia de compradores e industriales del ramo es escaso (AMECAFE, 2011a).

En otros lugares se han buscado nuevas alternativas que permitan desarrollar un plan estratégico de renovación mediante la investigación y desarrollo de tecnologías cafetaleras,

como la introducción de técnicas de propagación de manera biotecnológica, que permita la multiplicación de cultivos de importancia agroeconómica a un ritmo acelerado.

Las biofábricas utilizan técnicas biotecnológicas que han demostrado ser una ventaja importante en comparación del método tradicional de propagación por semilla del café, el cual es laborioso y requiere mucho tiempo para una producción a gran escala (Kumar *et al.*, 2006). En este sentido, la micropropagación a través de embriogénesis somática permite la producción de híbridos de cierto tipo a gran escala dentro de un corto período de tiempo (Etienne *et al.*, 2006). Por ello, en este trabajo se propone el diseño del establecimiento de una biofábrica que permita la propagación *in vitro* de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca, cimentando la idea en el desarrollo de una metodología hasta ahora no descrita para la variedad mediada por embriogénesis somática.

1.2. Justificación

La falta de plantas de café para la renovación de las huertas cafeticultoras, propone la búsqueda de variedades de café resistentes a la roya, de alto rendimiento y de buena calidad en taza. En este sentido, la variedad Oro Azteca posee características agronómicas superiores a las antes mencionadas que favorecen el incremento de su demanda por parte de los productores.

Los métodos convencionales de propagación dificultan el mejoramiento de las plantas. Sin embargo, las innovaciones tecnológicas que aprovechan las técnicas biotecnológicas dan origen al concepto de biofábrica. De acuerdo con el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT, 2016) una biofábrica se define como un centro para la producción a gran escala de plantas y semillas mejoradas para obtener ejemplares con novedosas técnicas científicas que garantizan la calidad de los ejemplares obtenidos.

Las biofábricas pueden ser la alternativa a las demandas del café en la actualidad, ya que permiten el establecimiento de protocolos para la producción a gran escala de cultivos que tienen alta demanda en el mercado nacional e internacional. En este estudio se propuso el diseño de una biofábrica para el establecimiento de una biofábrica que busca producir plantas

de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca, en cual fue abordado desde la parte económica y técnica, en el que considera un modelo de negocios, el diseño arquitectónico y el procedimiento biotecnológico.

Para el proceso técnico (biotecnológico) se abordó la primera etapa de evaluar la metodología para la obtención de cultivos de callos y callos embriogénicos. No obstante, todavía se requieren diversos estudios para la proliferación y germinación de embriones, posteriormente realizar el proceso de aclimatización de plántulas buscando las mejores condiciones para realizar la micropropagación de la variedad Oro Azteca.

Actualmente la SPR trabaja con 100 pequeños productores, que cuentan en promedio con 3 hectáreas de 6,100 plantas, dando un total de 610 000 plantas aproximadamente. De acuerdo con los estudios realizados por la AMECAFE y NESCAFE 40 % de los plantíos requieren ser sustituidos, por lo cual la SPR necesita sustituir 244,000 plantas. Esto sin contar que de acuerdo con el Padrón Nacional Cafetalero (PNC), en Guerrero existe un aproximado de 22 mil 224 productores que presentan las mismas necesidades y esto posibilita la oportunidad de expandir el mercado a nivel regional y estatal en futuros años.

Con la implementación de este trabajo se considera impactar positivamente en lo siguiente:

- Impacto científico: Emplear técnicas basadas en el cultivo *in vitro* como la embriogénesis somática para la producción a escala comercial de especies vegetales que un plazo corto sean llevado campo para su validación.
- Impacto tecnológico: Promover tecnología novedosa para realizar investigación básica, aplicada y de innovación para dotar de plantas a los productores de la SPR, y obtener una mayor producción de café y una mejor calidad del producto.
- Impacto social: Fortalecimiento en la cadena productora del café, desde productores, jornaleros, operadores de beneficios, obreros de industrias, empleados de cafeterías y participantes en la comercialización, además de sus familias.
- Impacto económico: Menor gasto para el control de plagas, utilizando cultivos resistentes a la roya. Mejoramiento de la rentabilidad y competitividad del cultivo de

café en la SPR. Generar mayor producción de café de excelencia y por ende generar mayor ingreso a los participantes de la cadena del café.

- Impacto ambiental: Conservación de suelos, agua sin perturbación de la biodiversidad existente en las zonas cafetaleras del municipio de Malinaltepec. Diminución del uso de agroquímicos para el control de plagas promoviendo la agricultura orgánica y conservación de los árboles nativos.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Diseñar una biofábrica para la producción masiva de plantas de café (*Coffea arabica* variedad Oro Azteca).

1.3.2. Objetivos particulares

- 1) Establecer un modelo de negocios y su viabilidad económica para una biofábrica productora de plantas de café.
- 2) Diseñar la biofábrica de café a edificar en las instalaciones de la empresa Cafeticultores Me'phaa de la Región Montaña.
- 3) Generar un protocolo biotecnológico para la producción de embriones somáticos de café (*Coffea arabica* variedad Oro Azteca).

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Descripción de la empresa

La ubicación de la empresa es con domicilio conocido en la localidad de Paraje Montero del municipio de Malinaltepec en la región de la Montaña en el estado de Guerrero, con las coordenadas de: longitud: -98.704167 y latitud: 17.164167 a una altura de 1980 msnm.

Cafeticultores Me'phaa de la Región Montaña es una Sociedad de Producción Rural integrada por un grupo de productores indígenas Me'phaa que agrupa a cinco localidades circunvecinas de los municipios de Malinaltepec y Tlacoapa: Paraje Montero, Cocoyul, Colombia de Guadalupe, La Soledad y Tlacotepec. La empresa se dedicada a la producción, procesamiento y comercialización de café de verde y tostado, en miras de la certificación de café de especialidad por la Asociación Americana de Cafés Especiales (SCAA). Los miembros de la SPR provienen de una tercera generación de hijos de productores que decidió conformar un equipo de trabajo para mejorar la calidad del café que producen, así como la búsqueda de nuevos mercados y mejores precios para el producto que laboran.

Dado a las condiciones geográficas y climáticas de la región es posible producir café a través del método tradicional. Una vez cosechadas, las cerezas son secadas al sol cuidadosamente en zarandas, evitando el contacto con el suelo. La SPR se ha preocupado por mejorar los procesos en el cuidado de los granos de café cereza para producir y garantizar la calidad de los lotes de café ofrecidos al mercado.

En sus huertas cafetaleras se cultivan variedades de la especie arábica como: Typica, Caturra Rojo, Caturra Amarillo y Bourbon, distribuidas en altitudes de 1400 hasta 2100 metros sobre el nivel del mar. Las características geográficas y climáticas, las variedades cultivadas y al tipo de proceso natural de las cerezas permiten producir un café natural de estricta altura con cualidades de acidez, aroma y dulzura en taza muy apreciados en los mercados emergentes.

El sistema de producción predominante en las huertas cafetaleras es el policultivo, en el cual, los cafetos están asociados con otros cultivos como el plátano, la piña, la guanábana, el limón,

la naranja, etc. El sistema de policultivo permite diversificar la producción, evitar la erosión del suelo y favorecer la diversidad de la fauna nativa en las zonas productoras de café. El compromiso como empresa es preservar los ecosistemas, por tal razón en la zona donde tiene influencia se fomenta la concientización para evitar el uso de pesticidas y herbicidas en las parcelas. Además, se evita la tala excesiva de árboles por lo que toda su producción es bajo sombra.

Durante la cosecha se seleccionan las mejores cerezas de las huertas cafetaleras, los granos de café cereza con defectos son eliminados para favorecer la presencia de acidez, dulzura y aroma en la taza de café elaborada a partir de nuestro producto. A dos años seis meses de su constitución, la empresa ha logrado posicionarse como el principal grupo que comercializa café de calidad en nuestra región y la satisfacción de quienes consumen el café que produce va en aumento. Actualmente, es una de las empresas en el Estado que integra estándares de calidad en huerta y proceso industrial de café. Se cuenta con un laboratorio de análisis de calidad mediante el protocolo de catación Q. Además, se ha mejorado su infraestructura y adquirido equipo y maquinaria para su operación. Actualmente cuenta con 6 socios, agrupando a 100 pequeños productores del municipio de Malinaltepec con una producción anual aproximada de 80 toneladas por ciclo de café cereza.

2.2. Filosofía

Misión: Nuestra misión es la pasión y obsesión en la búsqueda del mejor café que la naturaleza puede proporcionar, con la ayuda de las tecnologías disponibles que nos permite innovar en todo lo que hacemos.

Visión: Ser una empresa innovadora para crear y ofrecer los mejores productos en nuestro mercado, al mismo tiempo garantizar la sustentabilidad para los próximos 20 años.

Valores:

- Incluyente. Escuchamos a todo los que participan en nuestra empresa, para siempre estar mejorando.

- Cooperativista. Apoyo mutuo entre los que formamos la empresa para ser un gran equipo de trabajo.
- Innovación. Búsqueda de nuevas ideas para aplicarse en la ejecución de los productos y procesos para que el cliente siempre tenga lo mejor.
- Calidad: Este punto radica desde la perfección en la siembra del café, la cosecha, la selección, el tueste y el empaque, de modo que garanticemos la satisfacción del cliente.

Su estructura organizacional es la siguiente:

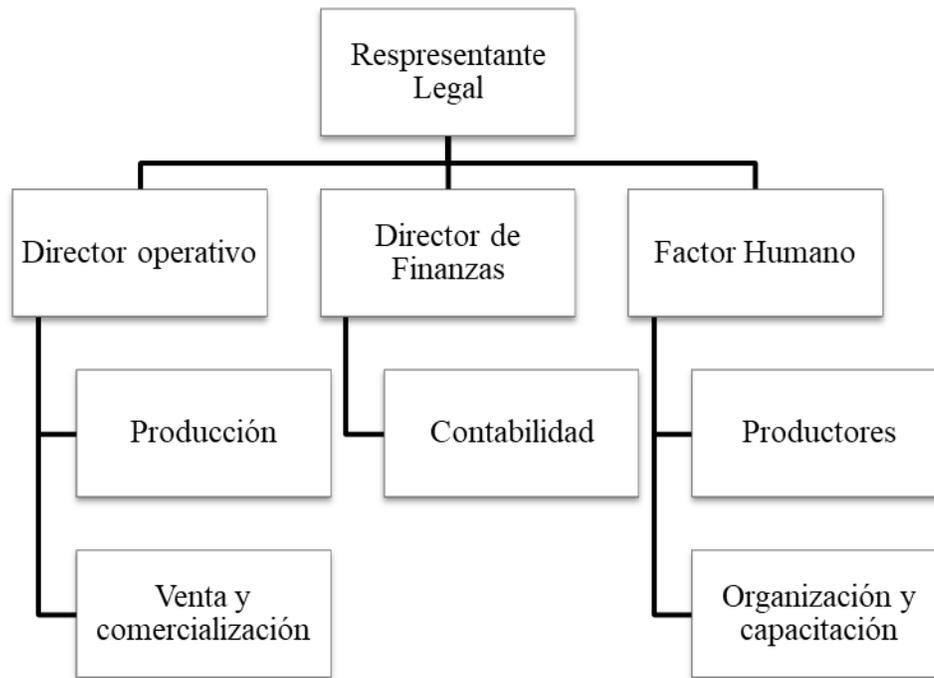


Figura 1. Organigrama de la empresa

2.3. Infraestructura de la empresa

La empresa cuenta con una superficie de terreno de 400 m² construidas con cemento y block de tabicón. La edificación cuenta con diferentes áreas: de carga y de descarga, una bodega con capacidad de almacén de 100 toneladas, área de morteo, un área de análisis de calidad, un área de tostado y molienda, un área de empaquetado y un área de secado.

Asimismo, se cuenta con las herramientas y maquinarias siguientes:

1. Un laboratorio móvil para análisis de Catación Q
2. Una tostadora para 10 kg
3. Un molino
4. Una morteadora
5. Una selladora
6. Un despulpador
7. Un vivero con capacidad para 500 mil plantas

2.4. Mercado

La empresa Cafeticultores Me´phaa de la Región Montaña se ha destacado por producir café de especialidad, cuidando los procesos de producción e implementando sistemas de calidad que permiten obtener café con altos estándares de calidad.

Su principal mercado es el diferenciado, sus ventas se centran en su mayor parte (75 %) de café verde y un 25 % café tostado y molido. Los principales estados y ciudades a los que se distribuye el café verde son: Ciudad de México, Toluca, Morelia, Puebla, Baja California, Querétaro entre otros; mientras que el café tostado se distribuye en Irapuato, Morelia, Ciudad de México, Puebla y el estado de Guerrero donde se opera.

2.5. Histórico de la producción de la empresa

Cafeticultores Me´phaa de la Región Montaña inició en la informalidad y con muchas dificultades en el 2012 como una empresa sin registro denominada Jóvenes Cafeticultores procesando café de forma artesanal. En el año 2014 se adquirió maquinaria como tostadores, un molino y una morteadora. En el 2015, realizó un convenio con la asociación Red de Agricultores Sustentables Autogestivos (RASA) organización de la Costa Grande de Guerrero, dando origen a la marca café *paraiso montaña*, además de adquirir una selladora. Para el año 2016 se implementaron sistemas de control de calidad para clasificar los granos de café por tamaño y eliminar defectos de forma manual. En ese mismo año de se registró como persona moral ante Secretaria de Economía como *Sociedad de Producción Rural*.

En el 2017, los productores buscaron consolidarse como una empresa productora de café de calidad con tendencia a la especialidad en la Región Montaña de Guerrero. Se implementaron zarandas africanas para seleccionar semillas y obtener un café diferenciado. En la actualidad, la empresa se caracteriza por la innovación en los procesos de producción y procesamiento, dando capacitaciones a sus productores sobre la cadena de valor para conocer el proceso de producción de café con miras de mejora constantemente.

Para el año 2018 se tiene programado hacer una producción en conjunto con el Centro de Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI) mediante una inversión mixta para la adquisición de secadores solares para café, así como asesoría dirigida a los productores pertenecientes a la empresa.

2.6. Análisis FODA

Se realizó un diagnóstico sobre la situación actual de la empresa buscando minimizar los problemas y obtener el mayor beneficio posible de las oportunidades. El análisis FODA permitirá el desarrollo e implementación de una estrategia empresarial adecuada para el establecimiento de una biofábrica. El análisis FODA para la empresa Cafeticultores Me'phaa de la Región Montaña se muestra en la Tabla 1.

2.6.1. Fortalezas

La empresa se ubica en la región cafetalera de la Montaña alta de Guerrero, donde cuenta con una instalación con capacidad para el establecimiento una biofábrica; además, cuenta con material biológico como semilla y plantas certificadas por la SAGARPA, para iniciar la investigación y el desarrollo de los procesos mediante métodos biotecnológicos que permitan la propagación masiva de las plantas *in vitro*.

Las alianzas estratégicas realizadas con las instituciones contribuyen en el diseño y el establecimiento de la biofábrica donde se busca generar un paquete tecnológico con capacidad de resolver los problemas actuales de los productores. Los daños en la actualidad

han devastado por completo huerta de los productores. Estos hechos favorecen la demanda de híbridos de café resistentes a roya y con buen rendimiento como la variedad Oro Azteca.

2.6.2. Debilidades

La mayoría de sus cultivos son de edad avanzada, con presencia de roya que ocasiona grandes pérdidas en la producción y disminución en las hectáreas de los plantíos. La falta de organización con los productores por contrarrestar los daños ocasionados por la roya, empleando un sistema de control de plagas y un plan de renovación se muestra insuficiente o escaso que no ha dado resultados favorables.

Algunos productores han buscado otras alternativas como sembrar o sustituir los huertos con plantas con características sobresalientes como la variedad Oro Azteca. En las huertas la presencia de esta variedad sigue siendo baja por la falta de obtenerlas de manera masiva, no hay lugares donde puedan dotarse de ellas o las organizaciones no son capaz de proporcionar grandes volúmenes de estas plántulas.

2.6.3. Oportunidades

Una de las principales oportunidades de la empresa, es la capacidad de tener una biofábrica como una estrategia de negocio innovador y sustentable, que pueda proporcionar un paquete tecnológico para el productor, que incluya plantas de la variedad Oro Azteca acompañado de asistencia técnica para la implementación de esta, esto permitiría ser la primer biofábrica establecida en la región de la Montaña en el estado de Guerrero.

Además, con los resultados obtenidos en este trabajo permitirá tener acceso a financiamiento de instituciones gubernamentales o privadas, para realizar investigación, innovación, búsqueda de expansión territorial y la diversificación del mercado con otras variedades de café o algunos frutales con demanda en la región.

2.6.4. Amenazas

La baja rentabilidad de los huertos cafetaleros ocasiona el abandono de los mismos, originando la sustitución del café por otros frutales o el cambio de actividad económica, como la ganadería.

La utilización de la técnica de cultivo de tejidos vegetales aún sigue siendo costoso en la actualidad, para establecer una biofábrica requiere de una inversión alta para construir e iniciar operaciones; además, considerar el cambio de divisas como el dólar sigue siendo inestable lo que puede aumentar los costos de producción. Ante esto el productor puede buscar mejores opciones de adquisición de plantas otras organizaciones como La luz de la Montaña, Cafeco Agroindustrial del Pacífico y la SAGARPA empleando programas de estrategia de renovación de plantíos a menor costo u otros programas de apoyo al productor para dotarse de plantas.

Tabla 1. Análisis FODA para Cafeticultores Me'phaa de la Región Montaña para el establecimiento de una biofábrica.

Fortalezas	Oportunidades
<p>Infraestructura necesaria para establecer la biofábrica Material biológico certificado y a la disponibilidad Conocimientos básicos en micropropagación Alianza estratégica con UEPI, CIBIS-IMSS, CONACYT, SAGARPA, CDI y grupo de productores Establecimiento de un programa de renovación constante de plantas</p>	<p>Generar un modelo de negocios innovador y sustentable Introducción de la variedad Oro Azteca como solución a las demandas del café Ser la primera biofábrica en establecerse en la Región de la Montaña del estado de Guerrero Introducción de nuevas tecnologías al campo cafetalero Capacidad de diversidad el mercado ofreciendo servicios y productos diferentes al café Acceso a fondos de investigación gubernamentales o privados</p>
Debilidades	Amenazas
<p>Plantaciones viejas y con problemas de roya y broca Falta de acciones de organización con más productores Daños severos por las plagas y enfermedades en el café, como la roya y la broca del café Baja capacidad de introducción de la variedad Oro Azteca Producción masiva de plantas idóneas a los productores</p>	<p>Inversión alta para operaciones Abandono total de las huertas de café por la sustitución de los cafetales por otros frutales El incremento en los costos de producción por el alza al dólar. Posible entrada de nuevos competidores Mejora de oferta por otros competidores</p>

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Generalidades

El café es una de las materias primas de exportación más valioso del mundo, ocupando el segundo lugar en el mercado mundial después de los productos del petróleo con ingreso de 250 mil millones de dólares anuales. Muchas familias de América Latina, África y Asia dependen económicamente de este producto (Etienne, 2005). La producción comercial se basa en dos especies, arábica (*Coffea arabica* L) y robusta (*Coffea canephora* Pierre). La calidad en taza por su bajo contenido de cafeína y fino aroma de *C. arabica* lo hace la especie más importante, que representa el 70% de la producción mundial (Philippe *et al.*, 2009).

El café es la bebida más popular que se consume caliente o frío por un tercio de las personas en el mundo. Su popularidad se puede atribuir a su efecto estimulante, que es producida por la cafeína, un alcaloide presente en el café verde entre un 0.8 a 1.4% para las variedades arábica y 1.7 a 4.0% en las robusta. Según la Organización Internacional del Café (ICO) alrededor de 1.4 mil millones de tazas de café se consume cada día en todo el mundo (Landey, 2013).

La producción total de café para el ciclo de cosecha 2017-2018 fue de 158.9 millones de sacos de 60 kg, siendo Brasil el principal productor con 51.5 millones de sacos, seguido por Vietnam, Colombia, Indonesia con 28.5, 14 y 10.8 millones de sacos de 60 kg respectivamente (ICO, 2018). México es el onceavo productor a nivel mundial, el café se genera en 15 estados de la república mexicana, los estados principales son: Chiapas, Veracruz, Puebla, Oaxaca y Guerrero que generan el 80% de la producción nacional. En el 2017 se registró una producción de 838,997 toneladas de café cereza en el país (SAGARPA, 2018; SIAP, 2018; SAGARPA, 2017).

La producción cafetalera posee un alto valor económico y social, además la actividad desempeña un papel ambiental importante, ya que su producción se da bajo sistemas que mantienen una cubierta vegetal casi permanente sobre el suelo, reduciendo así los problemas de erosión. La combinación de los beneficios económicos, sociales y ambientales que genera

el cultivo del café hace necesario que los agentes involucrados en el sector promuevan los incentivos para apoyar la competitividad y crecimiento económico del grano (AMECAFE, 2011b).

En México, la cadena productiva del café constituye uno de los rubros más importantes del sector agroindustrial, no sólo por su importancia económica, sino también por el impacto social y ambiental que genera al ser el sustento de más de 3 millones de familias y por el uso de tecnologías que, en su mayoría, promueven la protección de la biodiversidad. Por ello, el posicionamiento del Café de México tanto en el ámbito del mercado internacional como en el mercado nacional representa una oportunidad estratégica para todos los involucrados en este sistema producto (AMECAFE, 2012).

3.2 Antecedentes

El café (plantas del género *Coffea*) es uno de los principales cultivos originario del sudoeste de Etiopía con poblaciones alrededores en el sur de Sudán (Boma Plateau) y el norte de Kenia (Monte Marsabit). Los cultivos de *C. arabica* en todo el mundo son derivado de las variedades de la Typica o Bourbon. La especie *C. canephora* tiene una amplia distribución geográfica, que se extiende desde el oeste hasta el trópico central y regiones subtropicales del continente africano, desde Guinea y Liberia a Sudán y Uganda, con una alta diversidad genética en la República Democrática del Congo (Mishra y Slater, 2012).

La aparición de la roya del cafeto (*Hemileia vastatrix* Berk y Br) en la escala de la epidemia en el sudeste asiático entre 1870 y 1900, tuvo un efecto devastador en el cultivo de café arábica en varios países de cultivo de café. Enfocándose actualmente a nivel mundial en la búsqueda de plantas resistentes de la enfermedad, el cual se busca implementando innovaciones biotecnológicas para mejoramiento y obtención plantas con buenos rendimientos y resistentes a plagas (Mishra y Slater, 2012).

Tradicionalmente, la propagación de cultivos se consigue por medio de estacas, estratificación, división, injertos y así sucesivamente. Sin embargo, estos métodos son

complicados para llevar a cabo por el productor y requieren la inversión de una gran cantidad de tiempo (Yam y Arditti, 2009).

A principios de 1960, cuando se inició con el estudio de la totipotencialidad de las células vegetales, se encontró la capacidad de generar un gran número de plantas a partir de pequeños trozos de tejidos somáticos (explantes). El cultivo de tejidos se proyectó como un método alternativo potencial para la rápida propagación clonal de plantas, dando paso a los estudios de micropropagación de especies vegetales de importancia (Murashige, 1974).

La micropropagación en plantas de café se puede realizar por embriogénesis somática y microcorte, ambas metodologías tienen sus ventajas y desventajas. El primer intento exitoso de micropropagación para *C. arabica* por proliferación de yemas axilares se llevó a cabo por Custers, (1980). Estos autores utilizaron medio MS suplementado con 6,64 μM BA (6-bencilaminopurina), en un segundo intento usaron 13.29 μM de BA y 1.445 μM de ácido giberélico. Al igual que con muchas otras especies, el uso de altas concentraciones de BA rompe el letargo de las yemas axilares y aumenta el porcentaje de explantes productores de brotes (Santana-Buzzy *et al.*, 2007).

3.3 Clasificación

El café pertenece a la familia Rubiaceae dividida en tres subfamilias: Cinchonoideae, Ixoroideae y Rubioideae. La subfamilia Ixoroideae comprende aproximadamente una quinta parte de los géneros de la familia, tiene 15 tribus reconocidas, entre ellas la tribu Coffeae DC, que comprende 11 géneros incluyendo el género *Coffea* y *Psilanthus* (Davis *et al.*, 2007).

Los géneros, *Coffea* y *Psilanthus* están divididos en dos subgéneros. El subgénero *Coffea* abarca más de 80 taxones identificados hasta el momento, incluyendo las dos especies de importancia económica: *C. arabica* L. y *C. canephora* Pierre. Las especies de *Coffea* son diploides ($2n = 2x = 22$), con excepción de *C. arabica* ($2n = 4x = 44$), que es autofértil y alotetraploide (Landey, 2013).

3.3.1. Variedades de café

En México la introducción de nuevas variedades de café mejoradas en las regiones y estados es un indicador de la adopción tecnológica que se refleja en los últimos años del desarrollo de la cafecultura. Sin embargo, el proceso de expansión de estas en las no sigue un patrón uniforme, hay preferencias y alta dominancia de algunas (AMECAFE, 2011b).

Los diagnósticos estatales, realizados por la AMECAFE en el 2011, encontraron que la variedad Typica sigue siendo la de mayor predominancia con un 42% de participación nacional, seguida de las variedades Bourbon y Caturra rojo con el 22 y 16%; en un tercer grupo se encuentran las variedades Mundo Novo y Garnica, con el 8% y 7 % de participación, respectivamente (Figura 1).

La nueva generación de variedades pertenecientes a los híbridos resistentes a roya como Colombia, Costa Rica 95, Oro Azteca y otros Catimores, así como la variedad Pluma Hidalgo, y Pacamara, tienen una muy baja participación nacional con apenas el 1%. La composición porcentual de las variedades presentes tiene un alto grado de influencia en los rendimientos, ya que aquellas que pueden detonar el aumento de éstos, no figuran en la participación de manera significativa.

A partir del 2013, las variedades Typica, Bourbon, Caturra, Garnica, Mundo Novo, Catuai, Pluma Hidalgo y Pacamara variedades reconocidas por su alta calidad, están siendo sustituidas y se ha incrementado la presencia de variedades con resistencia a la roya, como son las denominadas: Colombia, Oro Azteca, Costa Rica 95 y los Sarchimores (Escamilla y Díaz, 2018). Las variedades como Colombia solo tienen presencia en Veracruz, Costa Rica 95 en Puebla y Veracruz, Oro Azteca en Chiapas y Puebla, el resto de Catimores, sólo se reportan en el estado de Chiapas.

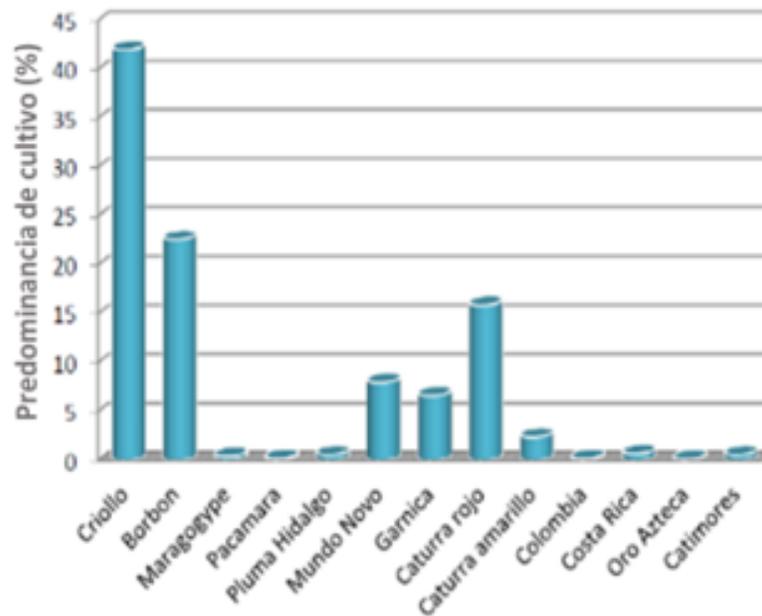


Figura 1. Variedades de café cultivados en 10 estados participantes.
Fuente: SGS-AMECAFE; Estrategia de Innovación, 2011.

Las variedades de café cultivadas a nivel nacional son (International Coffee Organization [ICO], 2018):

Typica. Esta variedad es la predominante entre la arábica y también el ascendente de muchos cultivares modernos, lo que ha originado a muchas otras variedades de cafés. La forma que puede tener es cónica con un tronco vertical principal y varios troncos secundarios, puede alcanzar una altura de 3.5 a 4 metros, y sus ramas laterales forman un ángulo de aproximadamente 50-70° con el eje vertical. Su producción es muy limitada, proporciona una taza de excelente calidad. Es cultivada en lugares de altura, su sabor es generalmente dulce, claro y completo. La acidez del *Typica* es clara y se hace más intensa en mayores alturas, también comúnmente conocido como criollo.

Bourbon. Sus hojas son anchas, con bordes ondulados; el fruto es relativamente pequeño y muy grueso. Las cerezas maduran rápidamente, y están en constante riesgo de caer durante las fuertes ráfagas de viento o lluvias muy intensas. En alturas de más de 1,000 msnm produce una taza de excelente calidad, comparable a la *Typica*. *Bourbon* es una mutación natural de *Typica*, originada en la isla Bourbon. Sus frutos también pueden ser de color rojo, amarillo

o rosa, de acuerdo con la subvariedad, bourbon rojo, amarillo y rosa son variedades con mutaciones naturales de un gen recesivo. Se consigue la mejor calidad del café cuando se encuentra en 1050-2000 msnm y es caracterizado por su acidez y equilibrio complejo maravilloso.

Caturra. Es una mutación de Bourbon que se encuentra en Brasil, es un cultivo con un rendimiento de alta producción y buena calidad, aunque requiere mucho cuidado y fertilización. Es un árbol de porte bajo, con un grueso tronco y muchas ramas secundarias, hojas largas con bordes ondulados, similares a las de los Borbones. Se adapta a casi cualquier ambiente, con precipitaciones anuales entre 2,500 y 3,500 mm, a una altura de entre 600 y 1600 m de altitud.

Catuai. Descubierta por primera vez en Brasil, como resultado de un cruce entre Mundo Novo y Caturra; se trata de un híbrido desarrollado por el Instituto Agronómico de Campiñas (IAC) en Brasil en 1949 para un interés específico. Tiene un alto rendimiento, la planta es relativamente pequeña y sus ramas secundarias tienden a formar ángulos cortos con el tronco principal, la fruta normalmente no se desprende fácilmente de las ramas. Por lo tanto, es una excelente variedad de climas muy ventosos y lluviosos. El Catuai requiere también una gran cantidad de fertilización y cuidado.

Pacamara. Se trata de un híbrido de la planta del café Arábica desarrollado por el Instituto Salvadoreño de Investigación del Café (ISIC) a finales de los años 50. Es un cruce del famoso “Maragogype” arábica y el “Pacas”, una mutación salvadoreña altamente productiva del arábica. Su aspecto grueso y compacto hace que sea resistente al viento y tolerante a los problemas de sequía. El fruto es grande y de color rojo, con una calidad excepcional en taza. Dado el tamaño del grano y la calidad en taza tiene gran aceptación en los mercados de cafés especiales.

Geisha. Se conocen por sus frutos alargados, y el café procedente de dichas cerezas se distingue por su cuerpo con miel y sabores cítricos y una taza exquisita. Exhibe un intenso aroma a floral como jazmín, aunque delicada acidez, equilibrada con reflejos de vino blanco

y notas tenues de frutas, mango, papaya, mandarinas La variedad Geisha fue descubierta por primera vez en Abisinia, en el sudoeste de Etiopía en 1931.

Maragogipe. Es una variedad de Arábica, se descubrió por primera vez en la ciudad de Maragogipe en Bahía, Brasil. Es una variedad muy bien definida, con muy grandes semillas. Es un café mate-azulado, que lo diferencia de los demás y hace que este café sea uno de los más valoradas en el mundo. Es suave en el paladar con sabores de frutos secos similar, y una acidez equilibrada, suave y perfumada.

Mundo Novo. Se encontró por primera vez en Brasil, un híbrido natural entre Typica y Bourbon, tiene una altura de 3 metros. Las ramas secundarias forman un ángulo de 45 ° con el tallo principal, y los entrenudos son cortos. Es una variedad altamente productiva, pero baja resistencia al viento.

Pluma Hidalgo. Esta variedad Typica se introdujo en la zona conocida como "Pluma" a través de San Agustín Loxicha, Oaxaca en el año 1854, y poco a poco se dispersa en las regiones vecinas de la Costa y Sierra Sur. Se adaptó a las condiciones agroecológicas y climáticas que llevaron a la adaptación de la variedad Pluma Hidalgo, llamado así por el lugar "Cerro de la Pluma".

Garnica. Una cruce de Mundo Novo y Caturra criado en México. Este cultivo fue desarrollado por el Instituto Mexicano del Café (INMECAFÉ) en 1960. Se trata de una planta de alto rendimiento y semilla de tamaño mediano, representa el 5% de la producción en el estado de Veracruz.

Oro Azteca. El INIFAP (Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias) creó una nueva variedad de café llamado "Oro Azteca", que se obtuvo por primera vez en México después de 15 años de investigación. Se originó a partir de los Catimores y produce un promedio de 32 a 45 quintales de café cereza por hectárea., tiene buena aceptación por su resistencia a la roya naranja, su buena calidad en taza.

Catimor. Un híbrido de HDT-1 y caturra, es una planta de café de tamaño pequeño, la distancia entre los nodos es corta. La fruta es de color rojo y su tamaño es relativamente grande, resistente a la corrosión, y su producción de grano es muy alta. En taza se destaca por sus notas herbáceas que viene del ácido clorogénico, característico de la variedad robusta.

Sarchimor. Esta es una variedad de café del tipo arábica que pertenece al grupo de los Sarchimores derivados del cruce entre la variedad Villa Sarchí y el Híbrido de Timor. Esta variedad en general presenta resistencia o alta tolerancia a la roya del café, lo mismo que características agronómicas y productivas muy sobresalientes.

3.4 Producción, resistencia a la roya y calidad de las variedades

Los lugares de climas cálidos son los adecuados para la producción del café. La Organización Internacional del Café publica anualmente un listado con los países productores de café del mundo para el 2017 Brasil, Colombia y Vietnam encabezan la lista. México es el 11° productor mundial actualmente, el café representa el 0.66% del PIB agrícola nacional y el 1.34% de la producción de bienes agroindustriales.

La importancia socioeconómica del café en el mundo es de interés para muchas familias, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), cerca de 20 millones de personas de áreas rurales en todo el mundo depende de la producción de café para su sustento, sin considerar aquellos que participan en el resto de la cadena productora.

México produce cafés de excelente calidad, ya que su topografía, altura, climas y suelos le permiten cultivar variedades clasificadas dentro de las mejores del mundo. La variedad que se produce en nuestro país es la arábica y su producción se realiza por lo regular en las zonas tropicales. Hay 15 estados productores de café; al sur del país, Chiapas es el principal estado productor, aporta 41.0 % del volumen nacional, seguido por Veracruz (24.0 %) y Puebla (15.3 %). Con base en el registro del Padrón Nacional Cafetalero (PNC) del 2012, el cultivo del café en México se desarrolla en 12 estados, 404 municipios, 4 mil 572 localidades, por 510 mil 544 productores y en 675 mil 258 hectáreas; en la actualidad han emergido mas

estado que empiezan a incursionar en la producción de café como el Estado de México, Morelos y Michoacán (SIAP, 2017).

La producción de café se agrupa en cuatro regiones (SIAP, 2017):

- Vertiente del Golfo: comprende los estados de San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, México y Veracruz.
- Vertiente del Océano Pacífico: a esta pertenecen los estados de Colima, Guerrero, Jalisco, Nayarit y parte de Oaxaca.
- Región Soconusco: integrada por una gran proporción del estado de Chiapas, destacando la producción de café orgánico, el cual es altamente demandado en los mercados norteamericanos y europeos.
- Región Centro Norte de Chiapas

Los productores buscan introducir otras variedades de plantas con altos rendimientos, buena calidad y resistencias a plagas para obtener mayores ingresos. Los estudios realizados por Escamilla y colaboradores en el 2015, sobre la calidad en variedades de café orgánico en tres regiones de México, establecidas en los estados de Veracruz, Oaxaca y Puebla, de 16 variedades de café cultivadas con manejo orgánico con poca participación en el país, (Tabla 2). Donde busca impulsar estas variedades como posibles alternativas para superar la crisis del sector cafetalero, en la producción de café orgánico y el mejoramiento de la calidad.

Con la aparición de la roya del café, se comprobó que todas las variedades comerciales cultivadas en América son susceptibles a este patógeno. La resistencia genética es la principal forma de control de dicha enfermedad. Esta resistencia se ha transferido a variedades comerciales a través del cruce natural de las variedades comerciales susceptibles con el Híbrido de Timor que posee los genes de resistencia genética a la roya. De estas cruces se generaron variedades resistentes a roya de gran interés como la Costa Rica 95, los Sarchimores, la variedad Colombia y Oro Azteca (Ovando *et al.*, 2018).

La variedad Oro Azteca fue liberada por el INIFAP en 1995, proviene del cruzamiento del Híbrido Timor que le confiere la resistencia a diferentes razas de roya presentes en México,

con la variedad Caturra Rojo que le otorga las características de porte bajo, rendimiento y calidad.

Otras propiedades como acidez, cuerpo, aroma y sabor son similares al de las variedades Catuai, Caturra y Garnica. (Zamarripa *et al.*, 2013). El rendimiento promedio de esta variedad en 27 ambientes en que se evaluó en el país fue de 40 Qq/ha, superando en 37 % a la variedad mejorada Caturra Rojo. Hasta el 2013, el INIFAP produjo alrededor de 500 000 plantas, con las cuales se establecieron 150 ha de esta variedad: además, tiene buena adaptación a las regiones cafetaleras de Chiapas, Oaxaca, Veracruz y otras similares, con temperaturas medias de 18 a 24° C, precipitación promedio superior a 1200 mm y altitudes desde 600 a 1300 msnm. (Zamarripa, 1998).

Tabla 2. Variedades evaluadas por sus características en café orgánico

Variedad	Origen	Origen parental	Porte de la planta ¹	Relevancia
Pluma Hidalgo	Oaxaca, México	Selección de Típica	Alto	Calidad ²
Típica Xhantocarpa	Brasil	Mutación de Típica	Alto	Calidad
Colombia brote café (bc)	Colombia	Catimores	Bajo	Resistencia a la roya
Colombia brote verde (bv)	Colombia	Catimores	Bajo	Resistencia a la roya
Blue Mountain	Jamaica	Selección de Típica	Alto	Calidad
Oro Azteca	México (INIFAP)	Catimores	Bajo	Resistencia a la roya
Batie	Etiopía	Material silvestre	Alto	Productividad
Dessie	Etiopía	Material silvestre	Alto	Productividad
Catuai Amarillo	Brasil	Mundo Novo X Caturra	Bajo	Productividad
Costa Rica 95	Costa Rica	Catimores	Bajo	Resistencia a la roya
Caturra Rojo	Brasil	Mutación de Borbón	Bajo	Productividad
Típica 947	México (INMECAFE)	Selección de Típica	Alto	Calidad
Borbón Salvadoreño	El Salvador	Selección de Borbón	Alto	Calidad
Garnica Iquimite	Veracruz, México	Selección de Garnica	Bajo	Productividad
Caturra Amarillo	Brasil	Mutación de Caturra Rojo	Bajo	Productividad
Garnica F5	México (INMECAFE)	Mundo Novo X Caturra Amarillo	Bajo	Resistencia a la roya
Pacamara	El Salvador	Pacas X Maragogipe	Medio	Calidad

¹Altura de la planta: porte alto (> 3 m), porte medio (2-3 m) y porte bajo (< 2 m).

²Calidad = Alta calidad física y sensorial del grano o la bebida; Productividad = Alto rendimiento de café por hectárea; Resistencia a la roya = Variedades con resistencia a enfermedad fungosa causada por *Hemileia vastatrix* Berk. and Br.

Además de presentar características relevantes, se adaptada a zonas cálidas y suelos ácidos, considerada una variedad de alto producción bajo condiciones ideales (Figura 2). Los factores como el medio ambiente, la altitud, la nutrición del suelo, el clima, la edad del cafeto, y las prácticas de manejo pueden afectar de forma significativa el rendimiento, la calidad y la fisiología de una variedad de café. Para la descripción de la calidad de taza o de rendimiento y otros aspectos de comportamiento, se utiliza la variedad Caturra en Centroamérica y SL28 en África como referencia en la descripción de las variables relevantes (WCR, 2016).

APARIENCIA		
ALTURA Enana/Compacta 	COLOR DEL BROTE DE LAS HOJAS Verde 	TAMAÑO DEL FRUTO Promedio 
INFORMACIÓN AGRONÓMICA		
LA ALTITUD ÓPTIMA 5°N to 5°S: 1000-1600m 5-15°N and 5-15°S: 700-1300m >15°N and >15°S: 400-1000m	POTENCIAL DE CALIDAD MOSTRADO EN ALTURA Bueno 	POTENCIAL DE RENDIMIENTO Alta 
ROYA DEL CAFETO Resistente 	ANTRACNOSIS DE LA CEREZA (CBD) Susceptible 	NEMATODOS Susceptible 
AÑOS PARA LA PRIMERA COSECHA	Año 3	
REQUERIMIENTOS NUTRICIONALES	Alta	
MADURACIÓN DE LA FRUTA	Promedio	
RENDIMIENTO DE CEREZAS A GRANO VERDE	Promedio	
DENSIDAD DE LA SIEMBRA	5000/6000 por Ha (Similar al Caturra)	
INFORMACIÓN AGRONÓMICA ADICIONAL	Susceptible al Ojo de Gallo; recomendada para suelos ácidos, suelos ricos en aluminio y para zonas cálidas.	

Figura 2. Descripción de las características relevantes de la variedad Oro Azteca, según el programa World Coffe Research (WCR)

En el caso de las variedades resistentes a roya y las nuevas variedades, se considera que los productores y sus organizaciones realicen los perfiles de calidad, debido a la naturaleza multifactorial del café y a las diversas condiciones agroecológicas del cultivo, esto permitirá determinar con objetividad la calidad que pueden alcanzar esto. La tendencia del consumo mundial del aromático hacia los cafés de mejor calidad constituye una excelente oportunidad

para la cafeticultura mexicana y representa una vía para obtener mejores precios (Escamilla y Díaz, 2018).

3.5 Plagas y enfermedades

En búsqueda de introducir plantas resistentes a plagas en muchos países, hasta ahora, *C. canephora* ha sido la principal la principal especie con resistencia a enfermedades y plagas: tales como la roya, enfermedad del fruto del café (*Colletotrichum kahawae*) y el nematodo de nudo de raíz (*Meloidogyne spp*). Esta especie al igual que otros diploides tales como *C. liberica* se ha utilizado como fuente de resistencia a la roya y *C. racemosa* para dar resistencia a las hojas de café contra plagas de menor importancia (Mishra y Slater, 2012).

Las enfermedades representan uno de los factores que limitan y reducen la producción de las plantaciones de café. Los patógenos más importantes, por su frecuencia y el daño que causan, son los hongos y los nematodos. Entre las enfermedades de importancia en el café son causadas por hongos como *Hemileia vastatrix* tizón, *Corticium koleroga*, *Mycena citricolor*, antracnosis *Colletotrichum coffeanum*, la mancha de óxido *Cercospora coffeicola*, la podredumbre de la raíz negro *Rossellinia bunodes*, *Phoma costarricensis* (Marbán-Mendoza, 2009). A continuación, se describen las enfermedades y plagas más comunes en los cafetos (Tabla 3).

Tabla 3. Plagas y enfermedades más importantes en el café.

	Nombre común	Acción
Plagas	Broca del fruto	Es ocasionada por un insecto pequeño en forma de escarabajo, el insecto perfora los granos que aún se encuentran tiernos, provocando su caída al suelo o la pudrición de estos.
	Minador de las hojas	Es un insecto fitófago del orden lepidóptero que provoca la caída de las hojas en los cafetos
	Cochinilla de la raíz	La cochinilla vive en simbiosis con las hormigas y atacan las raíces de los cafetos; en suelos húmedos puede ocasionar la muerte de las plantas.
Enfermedad	Roya del cafeto	El agente causal de la roya del café es el hongo <i>Hemileia vastatrix</i> Berk. & Br. Las mayores incidencias de roya ocurren en cafetales excesivamente sombreados y con deficiente aireación interna

Mal de hilachas	El agente causal del mal de hilachas (arañera, koleroga o quemazón) es el hongo <i>Pellicularia koleroga</i> Cook Von. Hoehnee (<i>Corticium koleroga</i>). Esta enfermedad foliar de los cafetos se inicia desde el tallo, ramas y ramillas hacia los brotes, envés de las hojas y frutos tiernos, en forma de un tejido blanquecino y sedoso que invade progresiva y rápidamente los tejidos, en condiciones ambientales predisponentes
Ojo de gallo	El agente causal del ojo de gallo o gotera es el hongo: <i>Mycena citricolor</i> . El ojo de gallo es una enfermedad fungosa que afecta a las hojas, brotes tiernos y frutos en todos sus estados de desarrollo.
Mancha de hierro	El agente causal de la Mancha de hierro o cercosporiosis es el hongo <i>Cercospora coffeicola</i> Berk & Cook. La Mancha de hierro es una enfermedad fungosa que afecta los brotes, hojas tiernas y cerezas de los cafetos, provocando defoliaciones prematuras, deteriorando las plantas y calidad del grano.

Fuente: Elaboración propia con datos de la Organización de Productores Agroecológicos de Café de la Microrregión Agua Azul, Subregión Ocosingo, Chiapas, México.

3.6 Micropropagación

La micropropagación es una forma de reproducción *in vitro*, que emplea pequeñas partes de la planta madre para generar organismos completos. El uso de esta técnica permite la producción a escala comercial de diferentes especies de plantas, presentando uniformidad genética e idénticas a la planta madre, así como reproducción en periodos cortos de tiempo y en espacios reducidos (Hassan y Zayed, 2018).

Las dos especies principales de café cultivadas en el mundo presentan dificultad para ser mejoradas a través de la reproducción convencional, lo cual tomaría al menos 20 años para producir nuevos cultivos. Las herramientas biotecnológicas como la transformación genética, y la micropropagación vía embriogénesis somática (SE), son ampliamente estudiados para proporcionar resultados prácticos para la mejora del café (Campos *et al.*, 2017).

Existen varios métodos de multiplicación *in vitro*, y se ha reportado el uso de diferentes tipos de tejido en diversas especies de café, tales como la embriogénesis somática, los cultivos de meristemas y de yemas axilares, y la inducción de brotes adventicios (Kumar, *et al.*, 2006).

La siembra de los híbridos como Híbridos F1, requiere la propagación o multiplicación por embriogénesis somática, es decir, con cultivo *in vitro* o de tejidos, un método desconocido y de difícil acceso para los pequeños productores (Escamilla y Díaz, 2018).

Las principales ventajas de la micropropagación a los métodos convencionales de propagación clonal son los siguientes:

- a) Obtención de resultados en un tiempo relativamente corto y se pueden producir un gran número de plantas a partir de un solo individuo.
- b) Se requieren unas pequeñas piezas de tejidos de la planta para iniciar cultivos asépticos.
- c) La tasa de multiplicación *in vitro* es a menudo mucho más rápida que la *in vivo* con métodos de propagación vegetativa, porque en cultivos *in vitro* es posible manipular el contenido de nutrientes y los niveles de regulador de crecimiento, temperatura, y la luz de manera más eficaz.
- d) Se aplica a muchos genotipos para los cuales en estado vegetativo *in vivo* la propagación es difícil o imposible.
- e) Se puede realizar durante todo el año.
- f) Si las plantas son derivadas de un stock libre de virus y permanecen protegidas de la reinfección, las plantas pueden exportarse sin muchos problemas a cuarentena.
- g) Las plantas están relativamente libres de infestación por microorganismos.
- h) La producción *in vitro* puede planearse en la temporada de baja demanda del mercado, los cultivos pueden ser almacenados a bajas temperaturas (Bhojwani y Dantu, 2013).

La técnica de micropropagación consiste en un procedimiento de múltiples etapas bien definidas. Se compone de cinco pasos, cada uno con sus necesidades y problemas específicos.

- Etapa 1: Preparación del explante
- Etapa 2: Inicio de cultivos asépticos.
- Etapa 3: Multiplicación.

- Etapa 4: El enraizamiento de brotes formados *in vitro*.
- Etapa 5: Transferencia de plantas de invernadero o en condiciones de campo (trasplante).

La embriogénesis somática es una herramienta valiosa para la propagación clonal de las especies de café y para el mejoramiento de la resistencia a enfermedades, la tolerancia al estrés, el bajo contenido de cafeína, etc. Los primeros estudios han demostrado que la presencia de una auxina es crítica para el inicio del embrión y la disminución de la concentración de auxina o su ausencia completa promueve la maduración (De los Santos y Hernández, 2006).

En la embriogénesis somática ocurren varios cambios en los procesos bioquímicos y fisiológicos para obtener embriones somáticos listos para ser micropagados, se puede producir entre 10 000 a 30 000 plántulas por gramo de callo embriogénico y ser multiplicado, tomando en consideración que se puede optimizar los nutrientes en el medio de las diversas etapas del proceso, reducir o eliminar compuestos con baja movilización y aumentar los niveles de los compuestos de interés para las fases específicas de cultivo. Teniendo como resultado que los costos de producción pueden reducirse y la eficiencia de la metodología puede aumentar, aun metodología es costosa en la actualidad, pero con beneficios sobresalientes (Bartos, 2018).

3.7 Las biofábricas

El origen de las biofábricas se dio ante la demanda de producir más alimentos para la población. Se inició con el mejoramiento a la agricultura para obtener cultivos con mejores rendimientos, resistentes a plagas o enfermedades y productos de mejor calidad. Las biofábricas utilizan el progreso científico-técnico de la biotecnología, para fomentar el desarrollo de nuevas tecnologías que eleven la productividad de los trabajos a bajos costos y no deterioren el medio ambiente (Orellana, 2008).

El mercado mundial genera cada vez mayores fuentes de negocios comerciales. Los nuevos avances en ciencia y tecnología han permitido la optimización de los mercados existentes y

la generación de nuevas oportunidades comerciales (CONACYT, 2016). Esto permite la creación de biofábricas atendiendo necesidades prioritarias de la población para contribuir al desarrollo económico de los países.

Las biofábricas han buscado mejorar en su diseño constructivo y tecnológico, una disminución de los costos de producción, mejor eficiencia en los procesos y mayor calidad sanitaria y genética de las plantas. A partir del año 2000, en el proceso de investigación de este sector en Cuba y otros países, se han hecho nuevos proyectos de instalaciones, que incluyen mejoras en el diseño y la calidad de la edificación, nuevo equipamiento y novedosas tecnologías de micropropagación, como en Colombia, Argentina, México, Brasil y Etiopía (Orellana *et al.*, 2007).

Las funciones que se desempeñan abarcan las actividades desde la selección de los genotipos que serán propagados, hasta la entrega al agricultor de plantas o propágulos con un estado de desarrollo adecuado para su plantación en campo, ya sea como material genético para bancos de semilla, o para la siembra directa en áreas comerciales (Orellana *et al.*, 2008). Las biofábricas se pueden definir como un centro para la producción a gran escala de plantas y semillas mejoradas para obtener ejemplares con novedosas técnicas científicas que garantizan su calidad (CONACYT, 2016).

Para el café, los costos de producción son mucho más altos, principalmente debido a las demandas más estrictas de las condiciones del suelo y el clima, gestión de cultivos, procesamiento primario y control de varias plagas y enfermedades, incluyendo la roya de la hoja del café potencialmente muy destructiva y enfermedades del fruto (Wintgens *et al.*, 2009).

La creación de las biofábricas para producir plantas de café con características sobresaliente para el campo debe tomar en cuenta la eficiencia productiva de la biofábrica, no sólo por la cantidad de plantas que produce, su calidad y costo, sino aquellos factores relacionados con la infraestructura tecnológica. Además de la selección de los mejores genotipos, calidad y preparación del recurso humano, disponibilidad de los recursos materiales e insumos para el proceso productivo, sistema organizativo para la planificación y control de la producción, así

como un eficiente sistema de aseguramiento y control de la calidad, como aspectos fundamentales (Suarez *et al.*, 2009).

Las biofábricas operan como una empresa productiva, por lo que su desarrollo se basa en los resultados económicos de sus ventas. Por ello, la influencia del escenario comercial, tanto nacional como internacional, en que se desarrollan, sus cambios, sus tendencias, puede implicar cambios en sus metas, en sus estrategias y en la organización interna de sus procesos. Precisamente esta situación tiene un peso destacado en la definición de la política de calidad de las biofábricas, la cual establece la posición de la dirección ante la calidad que genera y la satisfacción de los clientes por ésta (Suarez *et al.*, 2009).

IV. MARCO METODOLÓGICO

4.1 Diseño de una biofábrica para la producción de plantas de café (*Coffea arabica* variedad Oro Azteca)

La SPR Cafeticultores Mé'phaa de la Región Montaña se dedica a la producción y comercialización de café verde, tostado y molido a nivel nacional, siguiendo los estándares de calidad que establece la SCAA, en busca de la certificación para acceder a mercados de café de especialidades. Con el diseño de la biofábrica se busca establecer un centro de producción continua de plantas de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca, que permita a la SPR un proceso de renovación constante de las plantas en campo, con esto los productores pertenecientes a la empresa buscaran mejorar su producción anual.

La presente propuesta se aborda desde 2 diferentes aspectos o estrategias para lograr su construcción y operación. En el diagrama de flujo de operaciones (Figura 2) se describe las actividades que con llevan para disponer del producto en el mercado. Para el diseño de la biofábrica se abordaron los siguientes aspectos: a) un plano arquitectónico para la construcción de la biofábrica, b) un modelo de negocios, c) la viabilidad económica del proyecto y, d) obtención del producto se estableció un protocolo biotecnológico mediante vía embriogénesis somática indirecta para la obtención de embriones somáticos.

4.1.1 Modelo de negocios para una biofábrica para la producción de plantas de café

Para el establecimiento de una biofábrica se utilizó el modelo de negocios describe las bases sobre las que una empresa crea, proporciona y capta valor, cual fue planteado por Alexander Osterwalder e Yves Pigneur (2011), que consta de nueve bloques.

1. Segmento de mercado
2. Propuesta de valor
3. Canales de distribución y comunicación
4. Relación con el cliente

5. Flujos de ingreso
6. Recursos clave
7. Actividades clave
8. Asociaciones clave
9. Estructura de costos

Se utilizó el lienzo propuesto por este modelo de negocios para identificar los nuevos elementos claves de la empresa. Se concluyó en una propuesta de valor que consiste en un paquete tecnológico que incluye plantas de café de la variedad Oro Azteca acompañada de su asistencia técnica para su cuidado y adaptación en el campo. El establecimiento tendrá ubicación en la comunidad de Paraje Montero municipio de Malinaltepec, donde se utilizarán instalaciones de la misma empresa en una edificación de 3 niveles. En el nivel 1 se encuentra el almacén, en el nivel 2 se realiza el procesamiento del café y el nivel 3 se adaptará para la operación de la biofábrica.

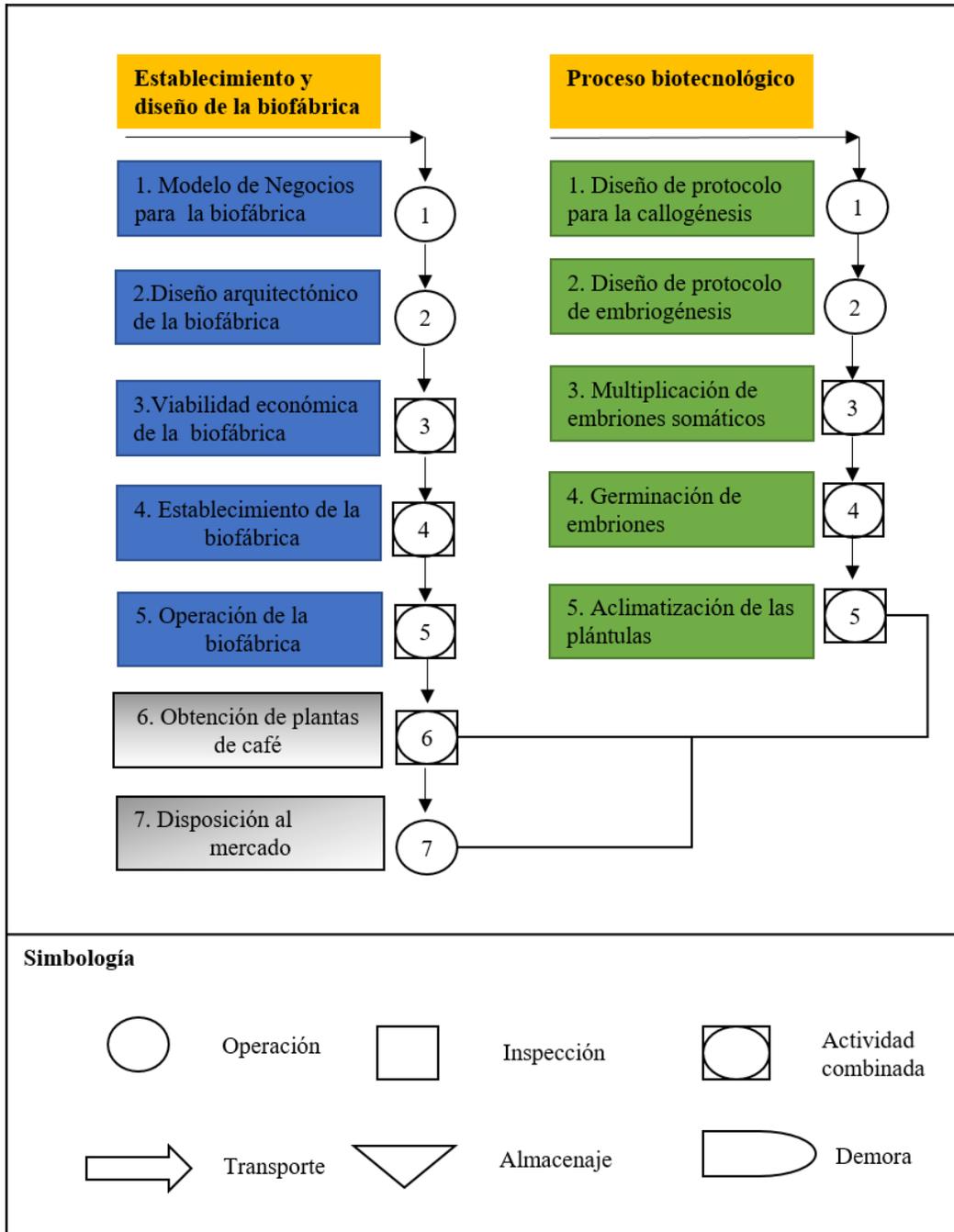


Figura 3. Diagrama de flujo de operaciones para el establecimiento de una biofábrica para la propagación *in vitro* de plantas de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca.

4.1.2 Viabilidad económica

Se realizó un estudio de inversión para la operación de la biofábrica en el cual se consideró las adaptaciones para el laboratorio, equipamiento y mobiliario de laboratorio, material y reactivos para laboratorio, costo de producción y costo operativo para 9 meses. En el Anexo 3 se describe el material y/o equipo con las características necesarias para la operación. Para la determinación de la viabilidad del proyecto se realizó un flujo del proyecto con una proyección a 5 años, para determinar los indicadores el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el punto de equilibrio (PE).

4.1.3 Diseño y organización de la biofábrica para producción de plantas de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca

El diseño de la biofábrica dirigida a la producción de café, comenzó con la elaboración de un plano con las áreas necesarias para su operación. Se indicaron las funciones de cada área y el material y/o equipo que debe contener cada una de ellas. La empresa designará 108 m² para el establecimiento y acondicionamiento del laboratorio con base a las sugerencias de Bhojwani, (2013), Orellana, (2008) y Merino, (1987), para el diseño de un laboratorio de cultivo de tejidos vegetales para una biofábrica.

4.1.4 Proceso biotecnológico para la obtención de embriones somáticos.

En este trabajo se propone utilizar la vía de embriogénesis somática para la micropropagación del café especie *Coffea arabica* variedad Oro Azteca, con base a los protocolos desarrollados para embriogénesis somática de *Coffea arabica*, proceso a implementar por el personal de Cafeticultores Me'phaa de la Región Montaña (Etienne, 2005; López *et al.*, 2010; Ahmed *et al.*, 2013).

4.1.4.1 Material vegetal

El material biológico utilizado para establecer los cultivos *in vitro* fue una planta de *Coffea arabica* variedad Oro Azteca (planta madre) de un año de edad, con características sobresalientes como buen rendimiento y resistencia a la roya anaranjada proporcionada por

la empresa. La planta se trasladó al Centro de investigación Biomédicas del Sur del Instituto Mexicano del Seguro Social (CIBIS-IMSS), y se mantuvo aislada del medio exterior, a una temperatura de 26 ± 2 °C con riego constante y un fotoperiodo de 16/8 h (luz/obscuridad) para su aclimatación.

4.1.4.2. Cultivo aséptico

De la planta madre se tomó el primer par de hojas jóvenes sanas sin algún daño físico y libre de contaminantes a simple vista. Cada hoja se trató a través de un proceso de desinfección. Primero se lavó suavemente con las manos empleando una solución jabonosa (detergente en polvo al 3.0 %) sin maltratar el tejido y se enjuagó con agua corriente para quitar totalmente los restos del detergente. En una campana de flujo laminar y en condiciones de esterilidad, se sumergió la hoja en una solución al 1 % (V/V) de Cloralex® (0.54 % de NaClO) durante 10 minutos con agitación constante. Por último, se enjuagó el tejido varias veces con agua destilada estéril para remover el NaClO.

Una vez desinfectado el material biológico, se removió el margen y el nervio central de cada hoja, el tejido restante se seccionó en segmentos de 1.0 cm^2 para utilizarse como explantes. Los explantes obtenidos fueron inmersos inmediatamente en una solución antioxidante compuesta de 50 % de las sales inorgánicas de Murashige y Skoog (1962) y 200 mg/L de cisteína previamente esterilizada. Posteriormente, se eliminó el exceso de la solución antioxidante de los explantes con papel filtro. Se colocaron asépticamente 4 explantes por frasco, en un medio de cultivo MS complementado con 30g/L de sacarosa, ajustado a un pH 5.7 y 4 g/L de phytagel previamente esterilizados. La esterilización de los medios se realizó en autoclave a 1.0 kg cm^{-2} y 120 °C por 20 minutos; posteriormente se adicionaron los antibióticos cloranfenicol (50 mg/L) y de amfotericina B (1.25 mg/L) esterilizados por filtración. Los explantes en los frascos se incubaron por una semana a 26 ± 2 °C con fotoperiodo de 16/8 h (luz/obscuridad) para descartar la presencia de bacterias u hongos; transcurrido el tiempo, se evaluó el porcentaje de explantes no contaminados.

4.1.4.3. Inducción a la callogénesis

Los explantes libres de agentes contaminantes se colocaron en frascos nuevos con medio de cultivo MS suplementado con los fitorreguladores ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) en combinación con una concentración de bencilaminopurina (BAP), complementados con 30 g/L de sacarosa y 4 g/L de phytigel como agente gelificante ajustado a un pH de 5.7 (Tabla 4).

Tabla 4. Tratamientos empleados para inducir callogénesis en explantes de hoja de plantas de café especie *Coffea arabica* variedad Oro Azteca

Tratamiento	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (mg/L)	Bencilaminopurina (mg/L)	Antioxidantes
Control	0	0	0
1	0.5	0.5	
2	1.0	0.5	
3	2.0	0.5	Mezcla de ácidos
4	0.5	1.0	
5	1.0	1.0	
6	2.0	1.0	
7	0.5	0.5	
8	1.0	0.5	
9	2.0	0.5	PVPP
10	0.5	1.0	
11	1.0	1.0	
12	2.0	1.0	

Para evitar el daño de los explantes por la liberación de compuestos fenólicos provocado por el corte de la hoja, a los medios de cultivo se les adicionó una mezcla de antioxidantes (100 mg/L de ácido ascórbico y 150 mg/L de ácido cítrico) y/o 1 g/L de polivinilpolipirrolidona (PVPP) para capturar los compuestos fenólicos liberados.

Se establecieron como repeticiones 12 frascos por tratamiento, cada frasco con cuatro explantes. Los frascos con los explantes se incubaron a 26 ± 2 °C y oscuridad y se cambiaron a medio fresco con las mismas características cada 4 semanas, paralelamente en cada subcultivo se evaluaron las respuestas de inducción a callo en cada tratamiento, registrando el número de explantes que responden y las características de los mismos. Una vez formado

el callo, los frascos fueron incubados a 26 ± 2 °C bajo fotoperiodo de 16 horas luz por 8 h de oscuridad.

4.1.4.4. Inducción a la embriogénesis somática

De los callos generados previamente, en condiciones asépticas se pesó 2 g de peso fresco del callo y se transfirieron en frascos con medio de cultivo MS complementado con 30 g/L de sacarosa y 4 mg/L de BAP ajustado a un pH de 5.7, 4 g/L de phytigel y 1 g/L de PVPP previamente esterilizado. Los frascos con el callo se incubaron a 26 ± 2 °C bajo fotoperiodo de 16 horas luz por 8 h de oscuridad.

4.1.4.5. Proceso histológico

Se seleccionaron tejidos provenientes de hoja a las 0, 4, 8 y 12 semanas de incubación en el medio de cultivo MS complementado con los reguladores del crecimiento 2,4-D en combinación con BAP (Tabla 4). Los tejidos se colocaron en cassettes y se sumergieron en una solución FAA (10 mL de formol, 5 mL de ácido acético glacial, 50 mL de alcohol etílico y 35 mL de agua destilada); posteriormente, los tejidos se transfirieron a etanol grado reactivo (Merck, México).

Los tejidos se trasladaron al Laboratorio de Electrofisiología y Bioevaluación Farmacológica de la Facultad de Medicina-UAEM, para obtener los cortes histológicos.

Se procedió a realizar los cortes histológicos de la siguiente manera:

1. Fijación de las muestras. En un histoquineto (procesador automático de tejido LEICA TP1020) se realizó la deshidratación del material vegetal en un gradiente ascendente de etanol (70, 80, 96 y 100 %); la aclaración del tejido se realizó utilizando xilol:etanol (1:1) y xilol (100 %), realizando cambios cada 30 minutos
2. Inclusión en parafina. Los explantes se colocaron en pequeñas cajas de papel (6 x 6 cm) rellenas con parafina (PARAMEX, parafina refinada para histología®) fundida a 58 ± 1 °C por 2 h en un centro de inclusión (Leica EG1150H cera líquida).

3. Corte. Con un micrótopo se cortaron láminas (12 μm) de los cubos de parafina obtenidos en el paso anterior, las láminas se pusieron a baño maría, para después colocarlos sobre el portaobjetos y colocarlas sobre una plancha caliente. Las muestras fueron introducidas en una canastilla y puesta en un horno con el propósito de derretir por completo la parafina.
4. Tinción. Las muestras se tiñeron con safranina/verde rápido. El proceso de la tinción se realizó sumergiendo la canastilla con las muestras en los compuestos y tiempos señalados en la Tabla 5.

Tabla 5. Procedimiento para la tinción de tejidos vegetales (SAFRANINA/VERDE RÁPIDO).

Pasos y soluciones	Tiempo/baños	Pasos y soluciones	Tiempo/baños
1. Xilol 1	5 minutos	15. Alcohol 50°	10 baños
2. Xilol 2	10 baños	16. Alcohol 70°	10 baños
3. Xilol 3	10 baños	17. Verde rápido	5 minuto
4. Alcohol-xilol	10 baños	18. Alcohol 50°	10 baños
5. Alcohol absoluto	10 baños	19. Alcohol 70°	10 baños
6. Alcohol absoluto	10 baños	20. Alcohol 96°	10 baños
7. Alcohol 96°	10 baños	21. Alcohol 96°	10 baños
8. Alcohol 96°	10 baños	22. Alcohol absoluto	10 baños
9. Alcohol 70°	10 baños	23. Alcohol absoluto	10 baños
10. Alcohol 50°	10 baños	24. Alcohol-xilol	10 baños
11. Agua	10 baños	25. Xilol 3	10 baños
12. Agua	10 baños	26. Xilol 2	10 baños
13. Safranina	20 minutos	27. Xilol 1	10 baños
14. Agua	10 baños		

Después de la tinción las muestras fueron fijadas con una gota de entellan[®], y se dejaron secar con el fijador por completo, posteriormente las muestras se observaron en un microscopio óptico (CX31 Olympus).

4.1.4.6. Análisis estadístico

El efecto de los tratamientos hormonales sobre el número de explantes que respondieron al proceso de callogénesis se comparó a través de un Análisis de Varianza (ANOVA) factorial (A x B; 2, 4-D x BAP) a las 4 y 8 semanas de cultivo, seguido de una prueba de Tukey con un nivel de confianza del 95 % ($p < 0.05$) empleando el software The SAS System for Windows 9.0. Las comparaciones se realizaron de manera independiente en el grupo que se utilizó la mezcla de ácidos y en aquellos que se agregó PVPP.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diseño de la biofábrica se consideró los aspectos económico y técnico o biotecnológico que son necesarios para su establecimiento, en un primer aspecto se requirió de la generación de un modelo de negocios para obtener una propuesta de valor, innovadora con capacidad de solucionar la problemática que será ofrecida al mercado. Se diseñó un plano arquitectónico de la biofábrica con áreas específicas para operaciones, además se determinó la viabilidad económica de la biofábrica. En la parte técnica para la generación de la propuesta de valor se diseñó un protocolo biotecnológico para la obtención de embriones somáticos mediante la vía de embriogénesis somática.

Para que la biofábrica alcance el funcionamiento interrumpido de sus operaciones, debe considerar el capital para adaptaciones, acondicionamiento de los espacios, compra de equipamiento y procesos operativos. Además, es necesario tomar en cuenta la parte técnica, en el que consiste en el desarrollo total de los protocolos hasta lograr alcanzar la etapa de aclimatización, que permita propagar de manera masiva las plantas de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca.

En este trabajo se abordó como primera etapa del procedimiento biotecnológico, la metodología para la obtención de cultivos de callos y callos embriogénicos. No obstante, aún se requiere de diversos estudios para la proliferación de embriones, la germinación de los embriones y el proceso de aclimatización de plántulas. La obtención de estos resultados obtenidos generará las bases para el desarrollo de una metodología que no se ha descrito aún en la literatura para la variedad Oro Azteca.

5.1. Modelo de Negocios para una biofábrica de producción de plantas de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca.

Establecer una biofábrica para la SPR, surge ante la falta de plantas de café con características sobresalientes y la necesidad de los productores de implementar un sistema de renovación constante y periódica. La empresa tiene el objetivo introducir nuevas tecnologías mediante herramientas biotecnológicas para la generación de cultivos homogéneos, de esta

manera poder aumentar su competitividad en el sector del café con una mayor calidad en sus productos dando como origen a un paquete tecnológico.

<p>Asociaciones claves </p> <p>Alianzas estratégicas con:</p> <p>Colaborativas: RASA y productores Instituciones educativas: UAGro, CONACYT, CIBIS-IMSS Instituciones gubernamentales: CDI, SAGARPA Proveedores</p>	<p>Actividades clave </p> <p>Producción de cultivos por herramientas biotecnológicas. Asistencia técnica personalizada</p>	<p>Propuesta de valor </p> <p>Generación de un paquete tecnológico y asistencia técnica personalizada Resolución de problema, comodidad y utilidad.</p>	<p>Relaciones con los clientes </p> <p>Asistencia personal Asistencia personal exclusiva Creación colectiva</p>	<p>Segmento de mercado </p> <p>Grupo de productores de café internos y externos que presentan necesidades homogéneas. Posibilidad de atender a nivel regional y estatal</p>
<p>Estructura de costos </p> <p>Aquellos costos que incurran para generar la propuesta de valor y mantenerla:</p> <p>Inversión fija total Costos fijos Costos variables Recursos inherentes</p>		<p>Fuentes de ingresos </p> <p>Aportación inicial de la empresa Financiamiento gubernamental inicial para operaciones Ingreso por la venta del paquete tecnológico Ingreso por el asesoramiento</p>		

Figura 4. Lienzo del Modelo de Negocios para el establecimiento de una biofábrica productora de plantas de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca

5.1.1 Segmento de mercado

El nicho de mercado serán los productores de café pertenecientes a la Sociedad de Producción Rural que desean plantas de café de la variedad Oro Azteca resistente a la roya, en la región cafetalera del municipio de Malinaltepec y busquen adquirir plantas generada en la biofábrica. Considerando que el mercado se puede expandir como una oportunidad de ofrecer el producto a productores de la región y del estado.

5.1.2 Propuesta de valor

Se considera generar un paquete tecnológico en el que consiste en producir plantas de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca con características de rendimientos de 8.0 qq/ha de café cereza, resistencia a la roya anaranjada, porte bajo y adecuada para la condición geográfica y climática de la región cafetalera de la Montaña de Guerrero, además acompañada de una asistencia técnica (ver Anexo 2). Se prestará servicios de asistencia técnica dirigida en el manejo del cultivo, que será otorgado por personal de la biofábrica. Las plantas estarán disponibles todo el año, el suministro del producto será de manera directa y cercana,

Con esta estrategia se busca dar solución ante la falta de plantas con características sobresalientes y homogéneas, en el cual se emplearán herramientas biotecnológicas como la embriogénesis somática, para la obtención de plántulas café de la variedad Oro Azteca, esto permitirá tener plantas disponibles durante todo el año para mantener una renovación constante de los huertos y disminuir los daños por la roya.

El producto que se genere en esta biofábrica será de acuerdo con las demandas y las necesidades de los productores. Se le dará seguimiento al cuidado y desarrollo de las plantas tomando las consideraciones de la SAGARPA-INIFAP para la aplicación del paquete tecnológico descrita en el anexo 2.

5.1.3 Canales

La propuesta de valor se dará a conocer de manera directa sin intermediarios a los productores de café mediante pláticas, talleres y redes sociales, sobre los beneficios, manejo y uso de este paquete tecnológico. Se espera obtener una evaluación de satisfacción a sus necesidades para una retroalimentación y cubrir sus necesidades específicas.

Se entregarán de manera directa al productor plantas de café de 30 cm en bolsa de polipropileno lista para plantarse, que estarán disponibles a los productores pertenecientes y no pertenecientes a la SPR con la intención de cubrir las necesidades regionales del Estado.

5.1.4 Relaciones con los clientes

Se busca estar lo más cercano al cliente donde el trato será de manera personal por personal de la biofábrica que dará a conocer las características del producto, condiciones de compra, beneficios, el funcionamiento y aplicación del paquete tecnológico.

Se les brindará una asistencia técnica personalizada exclusiva a los productores pertenecientes y no pertenecientes a la SPR, para formar una relación entre empresa y cliente otorgándole acompañamiento hacia las necesidades específicas de un cliente en particular. Así mismo, buscar una creación colectiva para el mejoramiento constante del producto de acuerdo con sus necesidades, crear valor que ellos mismos identifiquen y se garantice la sustentabilidad del producto.

5.1.5 Fuentes de ingresos

Para el establecimiento e inicio de operaciones de la biofábrica es necesario una inversión inicial, el cual se obtendrán recursos económicos mediante proyectos ante instituciones gubernamentales, como los programas de innovación, investigación y desarrollo tecnológico para el campo que son emitidos anualmente por la SAGARPA y la CDI, como:

- Programa de productividad y competitividad agroalimentaria del componente de desarrollo productivo del sur sureste y zonas económicas especiales (SAGARPA).
- Programa de fomento a la agricultura incentivo de la infraestructura y equipamiento para instalaciones productivas (SAGARPA).
- Programa para el mejoramiento de la producción y productividad indígena (CDI).

Una vez consolidado y en operaciones la biofábrica aportará ingresos recurrentes de pagos periódicos por la venta del paquete tecnológico. Además, se esperan ingresos por servicios de asesoramiento y asistencias a los productores no pertenecientes a la empresa.

5.1.6 Recursos claves

Físicos: Terreno para la edificación de la biofábrica e infraestructura adecuada para su operación, equipo y/o material de laboratorio y reactivos para realizar los trabajos biotecnológicos, bolsas de polietileno, charolas y vehículos para el traslado de los insumos y productos finales.

Biológicos: Plantas de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca y semillas para obtención de células para iniciar el proceso biotecnológico.

Intelectuales: Se diseñarán protocolos para embriogénesis somáticas con base a los protocolos ya existentes de Etienne, (2005), López, *et al.*, (2010) y Ahmed, *et al.*, (2013). Además, se consultarán fuentes recientes de los avances y desarrollo en el área.

Humanos: Personal capacitado con conocimiento en biotecnología vegetal para el desarrollo del producto y un ingeniero agrónomo para el asesoramiento del cultivo en campo, personal de limpieza y empleadores para distribución y venta final al productor.

Económicos: La fuente de ingreso será de un proyecto de innovación, investigación y desarrollo tecnológico para el campo, que son emitidos anualmente por la CDI, SAGARPA y el monto restante será cubierto por la empresa.

5.1.7 Actividades claves

Producción de plantas de café de la variedad Oro Azteca conservando sus características sobresalientes, mediante herramientas biotecnológicas, como la embriogénesis somática que permitan obtener de forma homogénea de manera masiva las plantas, con el objetivo de iniciar y mantener un sistema de renovación periódica o aumentar las hectáreas de producción.

Se proporcionará asistencia técnica personalizada y acompañamiento al productor para el desarrollo de la planta, proporcionando las condiciones óptimas para garantizar los beneficios del cultivo en campo.

5.1.8 Asociaciones claves

Cafeticultores Me'phaa de la Región Montaña realiza alianzas estratégicas con la RASA y productores para la gestión de proyectos e incorporación de programas de apoyos al café. Para el desarrollo del producto se contará con la contribución del CIBIS-IMSS, este centro cuenta con la experiencia en técnicas de cultivos vegetales que permitirá iniciar el proceso biotecnológico.

Para el desarrollo del proyecto de la biofábrica se cuenta con el asesoramiento de profesores investigadores pertenecientes a la UAGro. Durante el desarrollo se contó con una beca de manutención otorgada por el CONACYT. La estrategia de alianza se realiza entre empresas no competidoras que permitan reducir el riesgo y la incertidumbre, generando vínculos en áreas estratégicas y competencias en otras.

5.1.9 Estructura de costos

Costo del proyecto total con operaciones a 9 meses, en el que se incluirá gasto de adaptaciones para el establecimiento de la biofábrica, compra de material, equipo y reactivos, el costo de operaciones y costo de producción de las plántulas.

Costos fijos, aquellos gastos en los que incurra la biofábrica independiente de la producción que se tenga, como, sueldo de los empleados fijos, renta, agua, luz, etc.

Costos variables, aquellos que tienen relación directa con los volúmenes de producción, como, materia prima, combustibles, etc.

5.2 Viabilidad económica

La inversión inicial del proyecto es de \$ 1 228 889.60 y contempla la adquisición de material de laboratorio, equipo de laboratorio, mobiliario, lámparas de luz blanca con regulación, estantes, insumos y materia prima, además, contempla adaptaciones de las áreas, y distribución de cada espacio de trabajo de acuerdo lo planificado en el diseño de la biofábrica (Tabla 6).

Tabla 6. Descripción de la inversión inicial total en activos para el establecimiento de una biofábrica.

ACTIVO FIJO		
Concepto	Precio	Total
Equipos	\$ 328 059.60	\$ 328 059.60
Materiales	\$ 228 814.16	\$ 228 814.16
Mobiliario diverso	\$ 27 900.00	\$ 27 900.00
Subtotal		\$ 584 773.76
ACTIVO DIFERIDO		
Concepto	Precio	Total
Instalación y montaje	\$ 150 000.00	\$ 150 000.00
Puesta en marcha a 9 meses	\$ 374 000.00	\$ 374 000.00
Subtotal		\$ 605 117.24
ACTIVO CIRCULANTE		
Concepto	Precio	Total
Inventarios de materiales e insumos	\$ 38 998.60	\$ 38 998.60
Otros activos	\$ 81 117.24	\$ 81 117.24
Subtotal		\$ 120 115.84
INVERSIÓN FIJA TOTAL		\$ 1 228 889.60

La biofábrica empleará un laboratorio de biotecnología donde se contempla la compra de activos fijos que se describe detalladamente en el anexo 3, marca, modelo, unidades y costos por unidad, necesarios para el funcionamiento de la biofábrica, la inversión para la compra de activos fijos es de \$ 584 773.76 (Anexo 3).

Los costos de producción, gastos operativos, gastos generales y de administración se calcularon de forma mensual donde se contemplan producir 10 000 plantas mensuales en la etapa consolidada y con operaciones constantes de la biofábrica, por lo que es necesario un encargado de laboratorio con conocimiento en el área, un auxiliar de laboratorio, un personal de apoyo y mantenimiento de los servicios, y un personal por honorarios para la parte contable que considera un costo total mensual de \$ 90 290.00.

Se pretende que la producción y ventas anuales sean 120 000 plantas, el precio de venta inicialmente será \$ 11.00 pesos por planta, además, por ventas de asesoría será \$ 200.00 pesos por la asistencia. Por lo cual se espera tener ingresos por \$ 1 428 000.00 en el primer año con un crecimiento en la producción y ventas del 5 % en los siguientes años. Para determinar el

valor de rescate se calculó: valor de la compra - depreciación: \$ 633 944.10, que es el valor de mercado en que se puedan vender o liquidar los activos del proyecto después de los 5 años que opero la biofábrica.

Para la determinación de la viabilidad del proyecto se calcularon los indicadores económicos como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el punto de equilibrio (PE). Tras medir los flujos de los futuros ingresos y egresos, con una tasa descontada de 13.54 % que corresponde al doble de la inflación anualizada a diciembre de 2017 de 6.77 %, proyectada a 5 años y con impuesto del 30 % para este proyecto. La VAN para el proyecto es de \$ 144 833.97 con valor positivo lo que nos indica un proyecto viable al no presentar valor igual o menor a cero, además de una TIR de 17.41 % que es mayor a la tasa descontada (Tabla 7).

Tabla 7. Flujo de caja y evaluación del proyecto para la biofábrica

	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos		\$ 1 428 000.00	\$ 1 499 400.00	\$ 1 574 370.00	\$ 1 653 088.50	\$ 1 735 742.93
Egresos		\$ 1 202 469.10	\$ 1 256 643.10	\$ 1 313 525.80	\$ 1 373 252.63	\$ 1 435 965.81
Costo de Ventas		\$ 728 280.00	\$ 764 694.00	\$ 802 928.70	\$ 843 075.14	\$ 885 228.89
Gastos de Administración		\$ 235 200.00	\$ 246 960.00	\$ 259 308.00	\$ 272 273.40	\$ 285 887.07
Gastos de Ventas		\$ 120 000.00	\$ 126 000.00	\$ 132 300.00	\$ 138 915.00	\$ 145 860.75
Depreciación		\$ 118 989.10	\$ 118 989.10	\$ 118 989.10	\$ 118 989.10	\$ 118 989.10
Utilidad antes de Impuestos		\$ 225 530.90	\$ 242 756.90	\$ 260 844.20	\$ 279 835.87	\$ 299 777.11
Impuesto (30%)		\$ 67 659.27	\$ 72 827.07	\$ 78 253.26	\$ 83 950.76	\$ 89 933.13
Utilidad Neta		\$ 157 871.63	\$ 169 929.83	\$ 182 590.94	\$ 195 885.11	\$ 209 843.98
Depreciación		\$ 118 989.10	\$ 118 989.10	\$ 118 989.10	\$ 118 989.10	\$ 118 989.10
Inversión	\$ 1 228 889.60					
Valor de rescate						\$ 633 944.10
Flujo del Proyecto	-\$ 1 228 889.60	\$ 276 860.73	\$ 288 918.93	\$ 301 580.04	\$ 314 874.21	\$ 962 777.18
Tasa descontada	13.54 %					
VAN	\$ 144 833.97					
TIR	17.41 %					
Punto de equilibrio		\$ 1 016 402.64	\$ 1 013 676.58	\$ 1 012 398.92	\$ 1 012 642.07	\$ 1 014 482.08

El PE que se puede definir como aquel punto de actividad (volumen de ventas) en donde los ingresos son iguales a los costos, es decir, es el punto de actividad en donde no existe utilidad ni pérdida. Para esto proyecto en el año uno por lo menos se deberá vender al menos \$ 1 016 402.64, ingresos menores a la cifra antes mencionada se traducirán en pérdidas en caso el contrario, ingresos mayores esta cifra se generan utilidades para la biofábrica.

5.3 Diseño y organización de la biofábrica para producción de plantas de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca

El laboratorio de cultivo de tejido vegetal es un espacio físico que necesita contar con áreas para realizar actividades subsecuentes, el espacio destinado para el laboratorio será de 9.0 m x 12.0 m. Algunas de las áreas serán independientes considerando que los equipos y materiales pueden ser utilizados por varios trabajadores al mismo tiempo. Así mismo, se realizarán divisiones con paredes de tabla-roca buscando generar las condiciones de inocuidad necesarias para la construcción en muros, piso y ventanales asépticos de grado quirúrgicos para evitar la contaminación del material vegetativo. Las áreas con las debe contar la biofábrica con buena iluminación, temperatura, humedad adecuada y controlada (Figura 5).

5.3.1. Establecimiento de la biofábrica

Para el establecimiento es necesario considerar los elementos básicos para el buen funcionamiento de la biofábrica que comienza con un diseño y una construcción, acompañado de un estudio de factibilidad económica. Los elementos básicos que se deben considerar:

1. Funcionabilidad del diseño constructivo y calidad de la infraestructura de la instalación.
2. Estado técnico del equipamiento tecnológico y del específico de cada área de trabajo, determinando el potencial productivo de cada uno.
3. Disponibilidad de los recursos materiales e insumos necesarios para todas las fases del proceso productivo y garantía de financiamiento y de suministradores estables.
4. Contar con los protocolos de propagación de cada especie. Incluyendo indicadores biológicos de desarrollo para cada una de las etapas o fases por las que se efectúa en la biofábrica.
5. Disponer o tener acceso a bancos genéticos certificados de las especies de plantas que se van a producir.

Estos son algunos de los elementos que permiten una buena planificación y organización del trabajo en una biofábrica (Orellana, 2008).

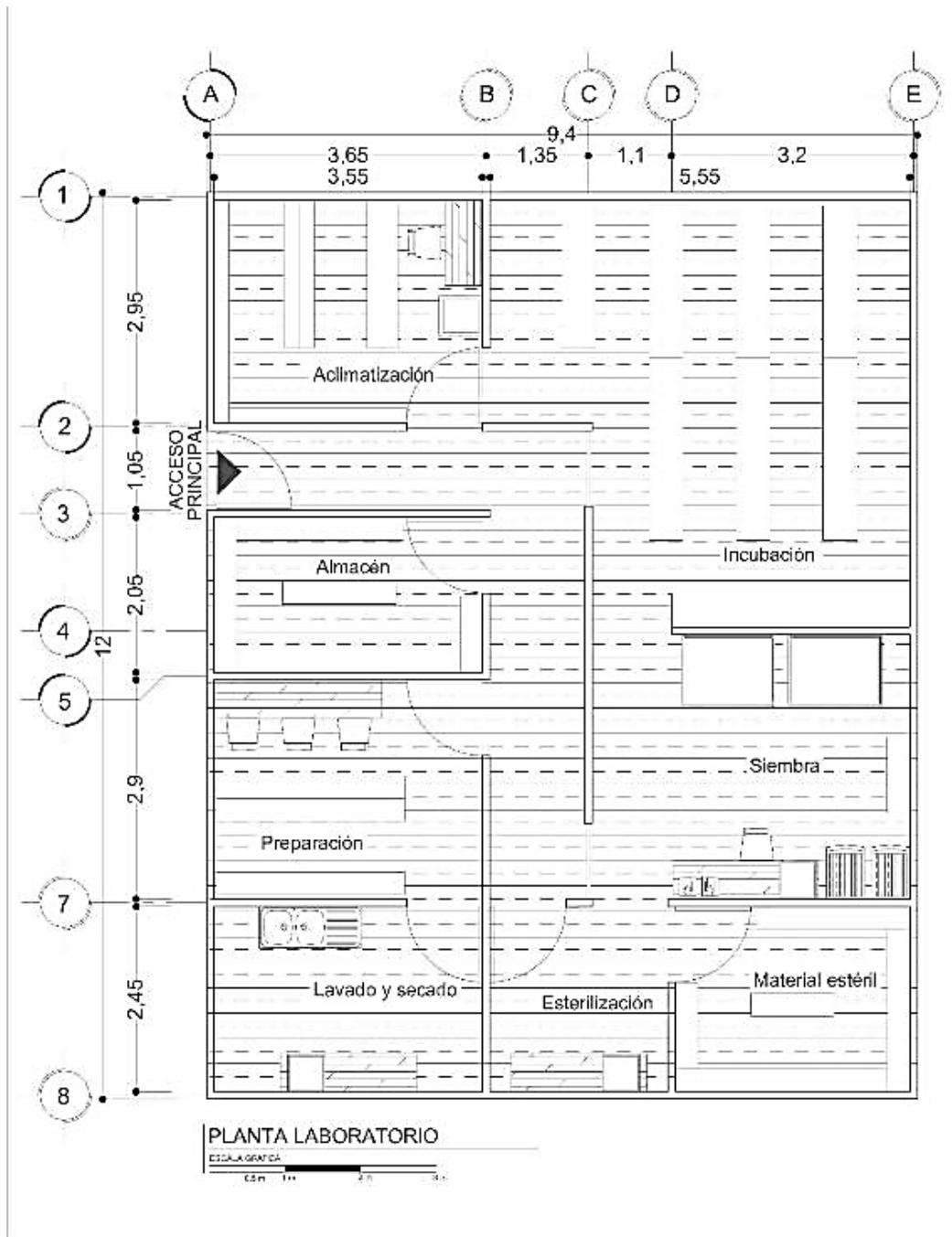


Figura 5. Diseño de plano del laboratorio por áreas para una biofábrica

para Cafeticultores Me'phaa de la Región Montaña destinada para la producción de plantas de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca.

5.3.2 Ubicación

Se propone establecer la biofábrica en las instalaciones de la empresa Cafeticultores Me'phaa de la Región Montaña ubicado en Paraje Montero municipio de Malinaltepec en el Estado de Guerrero. La empresa cuenta con un edificio de 3 niveles: el primer nivel se utiliza para el área de recepción y almacén del grano de café; en el segundo nivel se realiza el procesamiento del café como el descascarillado, la selección del grano y su tostado.

El tercer nivel se destinará para el laboratorio, donde se realizarán las adaptaciones para cada una de las áreas, así como el sistema de electricidad, agua, gas, ventilación, aire acondicionado y salidas de emergencia. Para ello, se realizó un diseño arquitectónico del lugar, designación de las áreas de trabajo y listado de equipos, materiales y reactivos para su el establecimiento y el funcionamiento del laboratorio.

5.3.3 Almacén

Esta área será de dimensiones de 3.0 m de largo por 2.0 m de ancho. En este espacio se contará con 9 estantes metálicos de medidas de 0.90 m largo por 0.45 m de ancho, que se colocarán alrededor del área unidos uno a uno. En este se guardarán y organizarán reactivos, medios de cultivos, material de cristalería y otros materiales necesarios.

5.3.4 Área de preparación de medios de cultivos

Esta área tendrá dimensiones de 3.5 m largo por 3.0 m de ancho. El espacio se empleará para preparar medios de cultivos que se utilizarán en las diferentes fases del proceso para la obtención de plantas de café de *Coffea arabica* variedad Oro Azteca: cultivos asépticos, callogénesis, embriogénesis somática, germinación de embriones somáticos y aclimatización de plántulas. Deberá contar con una mesa central con tablero laminado y bancos, ambas deben estar a una altura adecuada para trabajar de pie y el espacio debajo de ellas podría ser equipado con cajones. Además, de armarios para el almacenamiento de material y/o reactivos de uso diario, en un espacio dentro del área se almacenará agua destilada. Instrumentos necesarios para esta área:

Material de laboratorio:

- Gabinetes para guardar reactivos
- Gabinete para guardar material de cristalería
- Pipetas automáticas de 1-10, 2-20, 10-100, 20-200 y 100-1000 μ L
- Pipetas graduadas 1, 5 y 10 mL
- Vasos de precipitado de 250, 500, 1000 y 2000 mL
- Probetas de 100, 200, 500, 1000 mL
- Reloj alarma de 120 min
- Kit de agitadores magnéticos

Equipo:

- 1 refrigerador y congelador de 4 puertas
- 2 balanzas granataria
- 1 balanza analítica
- 2 potenciómetros
- 1 horno de microondas
- 2 parrillas de agitación con calentamiento

5.3.5 Área de lavado y secado

Sus dimensiones serán de 3.0 m largo por 2.0 m ancho, deberá contar con un suministro de agua de buena calidad y un fregadero grande de doble tarja profundo resistente a las sustancias ácidas y alcalinas, habrá en una parte del área escurridores para el secado del material para luego esterilizarse o almacenado en su área.

También tendrá cepillos con diferentes tamaños y formas para la limpieza de la cristalería, se contará con agua destilada, detergente neutro y agentes desinfectantes (hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio etc.). En la misma área se condicionará un espacio para una estufa u horno de secado. Para el desecho de los residuos se cumplirá con NORMA Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005, que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

Material:

- 1 fregadero grande de doble tarja
- Escurridores para secado
- Bandejas de plástico de vario tamaños
- Cepillos de diferentes tamaños

Equipo:

- 1 estufa de secado.

5.3.6 Área de esterilización

El área será de dimensiones de 2.0 m de ancho por 2.0 m de largo, donde estará una autoclave con capacidad de 50 litros, regulación electrónica de temperatura, tiempo y purgado atmosférico, en un área aislada con provisión de ventilación a través de un escape o extractor de gases. El agua que se utilice para el lavado para el uso de la autoclave deberá ser agua destilada o desionizada.

Equipo:

- 1 autoclave de 50 litros.

5.3.7 Área de siembra

Para esta área la dimensión será de 4.0 m de largo por 3.5 m ancho. En esta sala se deben tener los máximos cuidados de asepsia, para tener cultivos libres de agentes biológicos, químicos o físicos. Para las paredes del laboratorio se utiliza pintura epóxica de color blanca, para que pueda ser de fácil lavado, la limpieza se realizará antes de trabajar y al término de esta. Las ventanas también deben sellarse, el acceso a la sala de cultivo sólo se permitirá a las personas que trabajen ahí.

Material:

- Estantes con gabinetes
- Lámparas de alcohol
- Cubrebocas
- Gorros
- Guantes
- Instrumentos de disección
- Espátulas
- Agentes desinfectantes

Equipo:

- 2 campanas de flujo laminar horizontal con lámpara de luz UV integrada.
- 2 microscopios estereoscópicos
- 1 bomba de vacío para la esterilización por filtrado
- 2 carritos de acero inoxidable

5.3.8 Área de incubación

La construcción del cuarto de incubación tendrá las medidas 6.0 m de largo por 5.0 m de ancho, será un área bien aislada y de fácil limpieza. Deben existir las condiciones óptimas de temperatura, la intensidad y la calidad de la luz, la humedad relativa y el fotoperiodo deben tenerse en cuenta. La temperatura se controla con equipos de aire acondicionado que deberá de ser de $26 \pm 2^\circ$ C. Habrá estanterías con un sistema de iluminación adecuado que se colocaran de manera ordenada 20 en 4 filas entre las filas habrá espacio de 60 cm que se utilizará como pasillo.

Los estantes serán de 0.45 m x 0.90 m, con una altura de 0.30 m entre los entrepaños, ya que permite una buena iluminación, acceso y control de los materiales incubados. El espacio entre el suelo y la primera plataforma debe ser de 0.15 m para facilitar la limpieza del suelo. Así mismo debe mantenerse una distancia de 0.10 m entre la pared y los estantes para permitir la libre circulación de aire. De la iluminación se utilizarán lámparas de luz blanca de 3000 lux con regulación periódica de encendido y apagado, fotoperiodo de 16 h luz por 8 de oscuridad.

Material:

- 20 estantes de 0.45 x 0.90 m
- 64 lámparas de luz blanca de 3000 lux

Equipo:

- Aire acondicionado

5.3.9. Área de aclimatización

El área asignada será de 3.0 m x 3.5 m. En este espacio se realizará la aclimatización de las plántulas generadas *in vitro* a condiciones naturales. Se debe controlar también la temperatura, la humedad y la iluminación para que las plantas crezcan en las condiciones óptimas. El proceso de aclimatización se buscará dar condiciones físicas como temperatura 26° C, humedad relativa del 60 % y una intensidad lumínica del 50 %.

Material:

- Racks para charolas
- 100 charolas para plantas
- Lámparas de led de 3000 lux

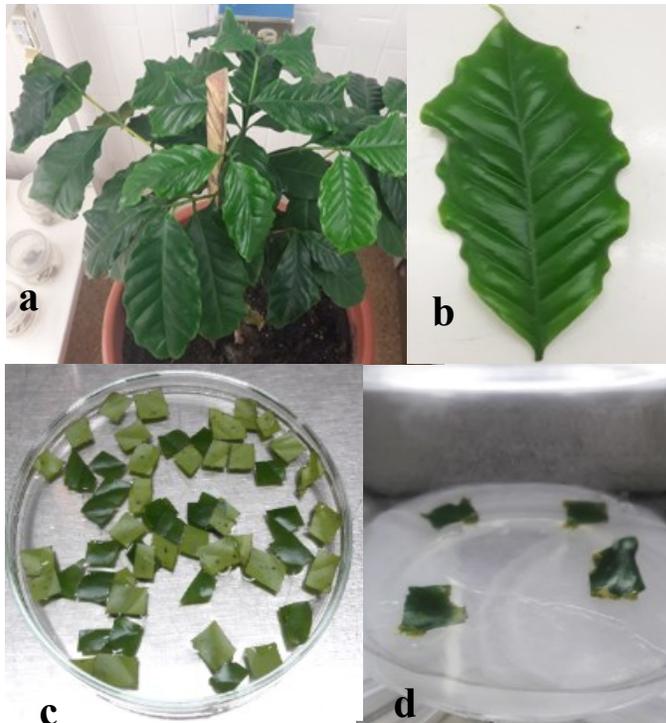
Equipo:

- Aire acondicionado

5.4. Proceso biotecnológico para la obtención de embriones somáticos

5.4.1. Cultivo aséptico

De una planta de *Coffea arabica* la variedad Oro Azteca de un año, se tomaron hojas jóvenes de 4 semanas de edad, de color verde claro, con una rigidez de la pared celular que evitará el daño durante el proceso de desinfección para establecer el cultivo aséptico y posteriormente permitirá la desdiferenciación del tejido para la formación de callo (Figura 6). Después de la desinfección con NaClO al 1 % el tejido conservó su color, pasada la semana en el medio de desinfección en el medio de cultivo MS con explantes no se encontró crecimiento de agentes contaminantes.



a) planta madre de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca, b) hoja de 4 semanas de edad como material biológico inicial, c) explantes obtenidos a partir de hojas, d) cultivo aséptico de hojas.

Figura 6. Obtención del cultivo aséptico,

5.4.2. Inducción a la callogénesis

En el proceso de desdiferenciación del tejido de hoja, la callogénesis comenzó en la periferia a las 4 semanas de cultivo, conservando la tonalidad inicial del explante de hojas (Figura 7). En la especie *C. arabica* cv. Caturra Rojo y *C. arabica* cv. Catuaí Vermelho se presentó la formación de callo en el mismo tiempo (Quiroz-Figueroa *et al.* 2002, Bartos *et al.* 2018),

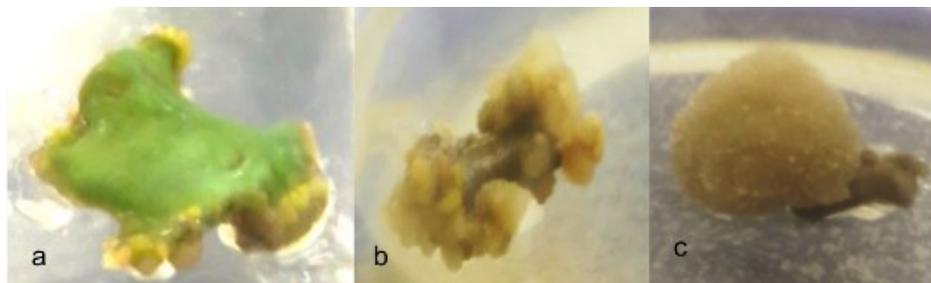


Figura 7. Formación de callo a las 4 (a), 8 (b) y 12 semanas (c) en respuesta a las combinaciones hormonales de 2,4-D y BAP.

El registro del número de explantes que forman callo en cada tratamiento se registró a las 4 y 8 semanas de cultivos. La inducción a calogénesis fue similar en los diferentes tratamientos hormonales cuando se empleó la mezcla de ácidos como antioxidantes ($p > 0.05$) a las 4 y 8 semanas de cultivo. En cambio, en los tratamientos que se empleó el PVPP como antioxidante, al disminuir el proceso de oxidación, se observó que la inducción de calogénesis se estimuló significativamente por efecto del 2,4-D ($p < 0.05$), respuesta que se incrementó al disminuir la concentración de 2,4-D (Tabla 8).

Tabla 8. Respuesta a la calogénesis en explantes de hoja de *Coffea arabica* variedad Oro Azteca en 4 y 8 semanas en medio de cultivo MS.

Acido 2,4- diclorofenoxiacético (mg/L)	Bencilaminopuri na (mg/L)	Promedio de explantes que responden		Antioxidantes
		4 semanas	8 semanas	
0	0	0	0	0
0.5	0.5	1.5 ± 0.9	2.1 ± 1.4	
1.0	0.5	1.4 ± 0.9	1.6 ± 0.8	
2.0	0.5	1.8 ± 1.2	2.1 ± 1.3	Mezcla de ácidos
0.5	1.0	1.3 ± 1.1	1.9 ± 1.1	
1.0	1.0	1.8 ± 1.4	2.4 ± 1.3	
2.0	1.0	1.8 ± 1.4	1.6 ± 1.4	
0.5	0.5	3.5 ± 0.9a	3.5 ± 0.9a	
1.0	0.5	3.1 ± 0.9b	3.3 ± 0.7b	
2.0	0.5	2.3 ± 1.1b	2.3 ± 1.0b	PVPP
0.5	1.0	1.7 ± 0.9a	2.4 ± 1.4a	
1.0	1.0	2.0 ± 0.9b	2.2 ± 0.8b	
2.0	1.0	1.2 ± 0.9b	2.1 ± 1.6b	

De acuerdo con la prueba de Tukey 0.05, promedios con letras iguales no son estadísticamente diferentes.

Se realizó el análisis comparativo en graficas por tratamientos a las 4 y 8 semanas de incubación en aquellos que utilizo una mezcla de ácidos, donde se encontró que los tratamientos responden de forma similar y no presentan diferencias entre ellos (Figura 8 y 9). Para aquellos tratamientos donde se utilizó PVPP la evaluación a las 4 y 8 semanas de

incubación al menos en dos tratamientos responden de manera diferente al resto, en el cual a menor concentración de 2,4-D mayor respuesta de explante presentan (Figura 10 y 11).

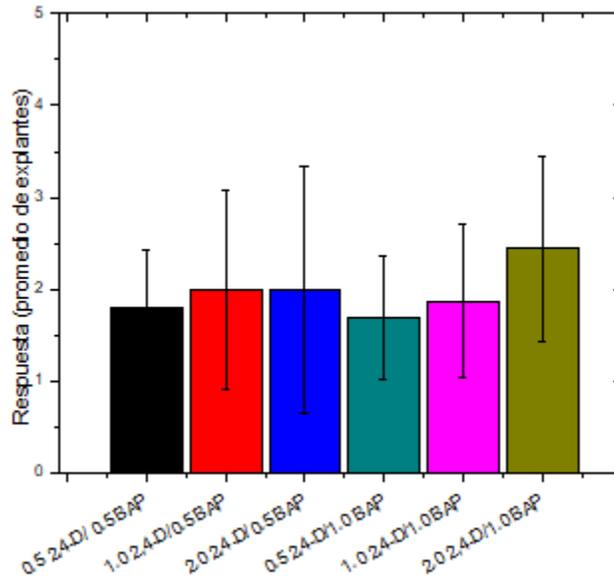


Figura 8. Promedio de respuesta a explantes de hoja de *Coffea arabica* variedad Oro Azteca en formación de callo en medio de cultivo MS con mezcla de ácidos a las 4 semanas.

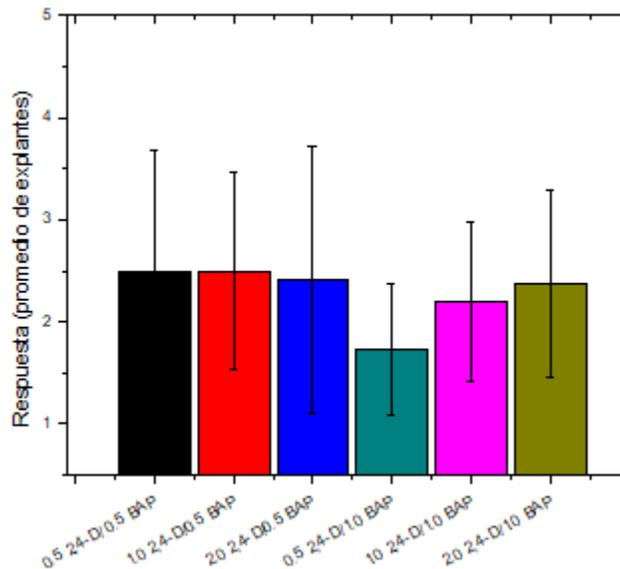


Figura 9. Promedio de respuesta a explantes de hoja de *Coffea arabica* variedad Oro Azteca en formación de callo en medio de cultivo MS con mezcla de ácidos a las 8 semanas.

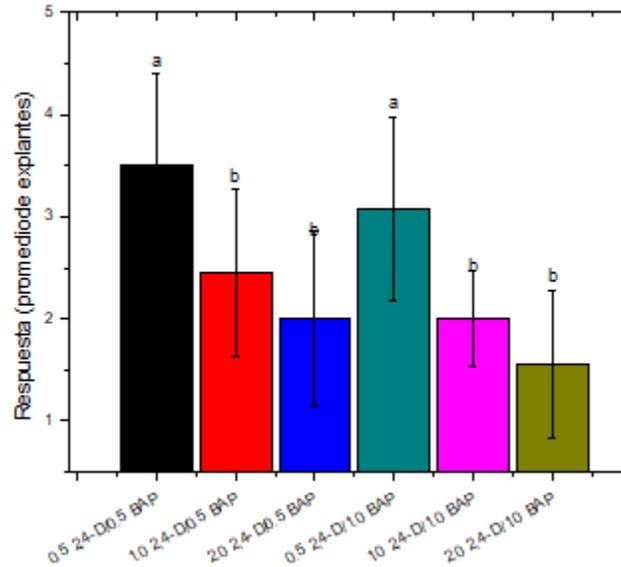


Figura 10. Promedio de respuesta a explantes de hoja de *Coffea arabica* variedad Oro Azteca en formación de callo en medio de cultivo MS con PVPP a las 4 semanas. De acuerdo con la prueba de Tukey 0.05, promedios con letras iguales no son estadísticamente diferentes.

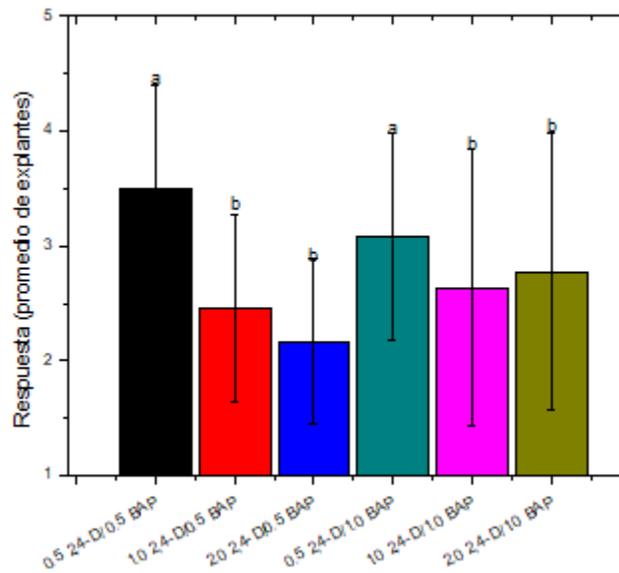


Figura 11. Promedio de respuesta a explantes de hoja de *Coffea arabica* variedad Oro Azteca en formación de callo en medio de cultivo MS con PVPP a las 8 semanas. De acuerdo con la prueba de Tukey 0.05, promedios con letras iguales no son estadísticamente diferentes.

De acuerdo con el ANOVA factorial se observa que los resultados no son significativos indicando que, a las 4 y 8 semanas de cultivo, el proceso de calogénesis se estimula de forma independiente por efecto del 2,4-D y BAP; sin embargo, se favoreció al disminuir la

concentración de 2,4-D en combinación con 0.5 de BAP. Indicando que bajas concentraciones de hormonas favorecen la callogénesis.

En las siguientes semanas el callo friable, de color amarillento, fue subcultivado cada 4 semanas y preservado en medio MS en combinación de 1.0 mg/L de 2, 4-D y 0.5 mg/L de BAP con mismas condiciones de incubación.

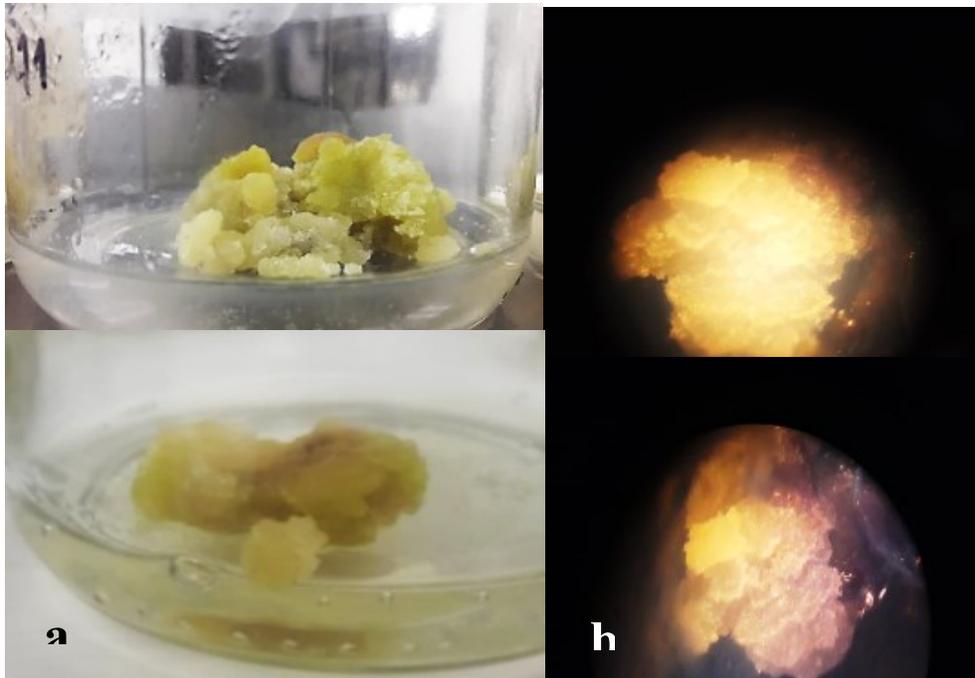
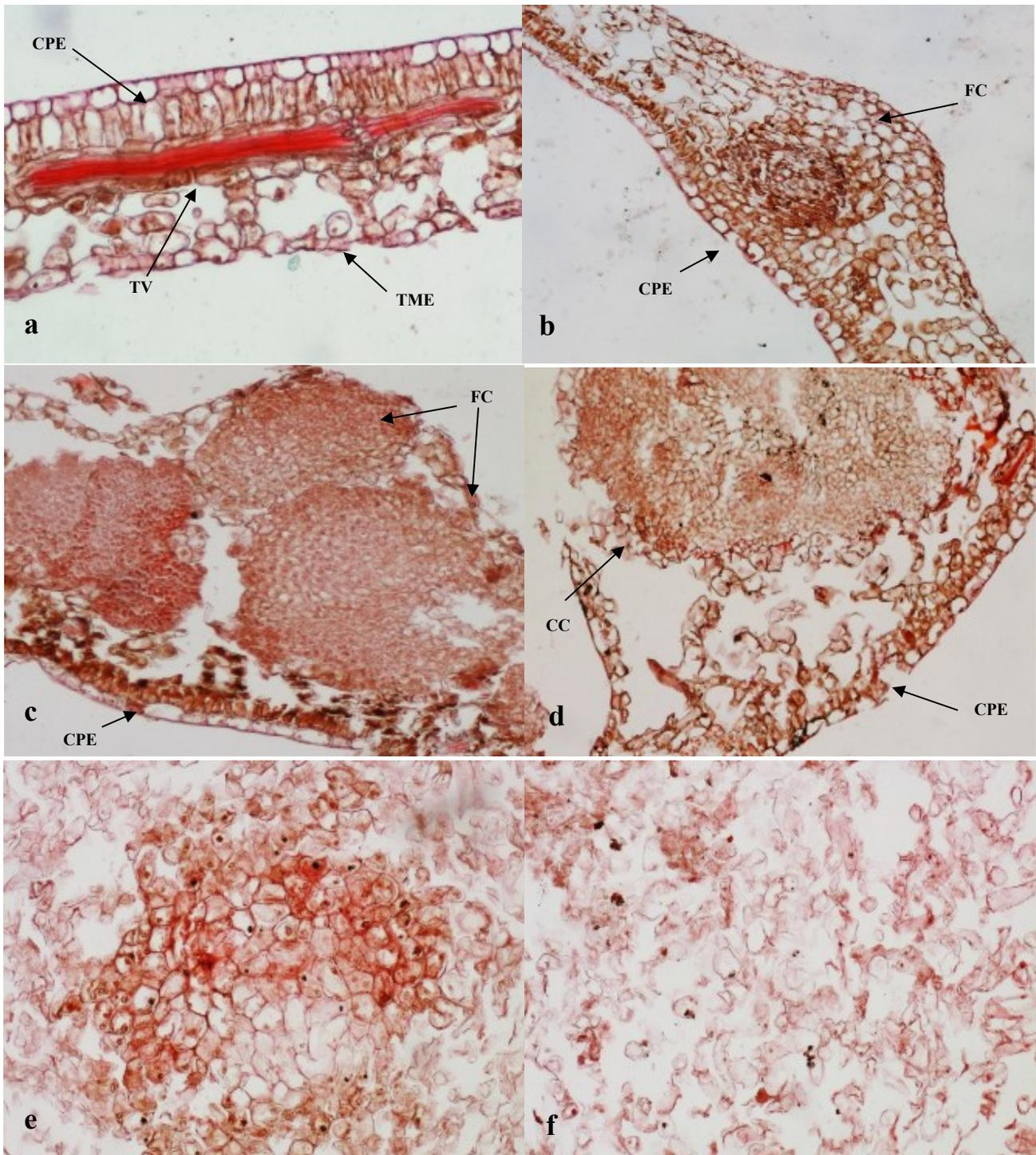


Figura 12. Establecimiento de subcultivos de callos en medio MS en combinación de 0.5 mg/L de 2,4-D y 1.0 mg/L de BAP.

5.4.3. Histología

El estudio histológico permite observar con detalle la organización celular en el que se encuentra el tejido. En los explantes de hojas (Figura 12a) utilizados para inducir callogénesis se observan principalmente células del parénquima empalizada (CPE), tejido vascular (TV) y tejido mesófilico esponjoso (TME).



a) explante inicial de hoja sin cambio alguno donde se observa la epidermis, parénquima y haz vascular; b) inicio de la formación de callo a las 4 semanas de inducción, c) 8 semanas de incubación con FC sobre el explante; d) 12 semanas de incubación callo sobre la mayor parte del explante, e) corto de transversal de un callo, d) observación de un callo en crecimiento sin cambio en la formación de embriones somáticos.

Figura 13. Observación histológica de explantes de *Coffea arabica* de la variedad Oro Azteca en diferentes tiempos de inducción a la callogénesis.

En los explantes de hoja en medio MS con la combinación hormonal 2.0 mg/L de 2,4-D con 1.0 mg/L de BAP, después de 4 semanas en cultivo se observa el proceso de dediferenciación. La formación del callo (FC) se inicia sobre la periferia de los explante, principalmente en el tejido esponjoso cercano a los haces vasculares, el cual prolifera sobre todo el perímetro del explante (Figura 12b). En un trabajo realizado por Berthouly y Michaux-Ferrière (1996) se reportó que las células de los haces vasculares y las células del tejido mesófilo de las hojas fueron las primeras en dividirse para iniciar la formación de callo. A las 8 semanas de cultivo en el tratamiento con 2.0 mg/L de 2, 4-D con 1.0 mg/L de BAP la formación de callos se observa en la mayor parte de la superficie y en gran parte del explante de hoja (Figura 12 c). Para las 12 semanas de cultivo en los explantes se observaba cubrimiento de callo en todo el explante en el tratamiento con 0.5 mg/L de 2,4-D y 1.0 mg/L de BAP donde se obtuvo tejido de callo (Figura 12 d).

Del cultivo de callos obtenidos con 0.5 mg/L de 2,4-D y 1.0 mg/L de BAP transfirió al medio de cultivo MS complementado solo con 4.0 mg/L de BAP para inducir embriogénesis con las mismas condiciones de incubación. El análisis histológico se realizó en el tejido calloso a las 4 y 8 semanas de incubación para este tratamiento. En la evaluación a las 4 y 8 semanas de incubación se observó callo semicompacto con crecimiento celular del interior hacia el exterior (Figura 12 e, f) sin formación de alguna estructura embrionaria.

En un trabajo realizado por Papanastasiou *et al.* (2007), para inducir a embriogénesis somática en medio MS sólido con 11 mg/L de BAP, se mostró que el crecimiento era menor que los cultivos tratados con BAP en medio líquido, además no mostró ningún cambio embriogénico a las 4 semanas de incubación y la embriogénesis somática se hizo notable a los 6 meses de incubación en medio sólido. Otros estudios como Van y Berthouly (1996), Etienne *et al.* (2002) y Molina *et al.* (2002) reportan que para obtener embriones en medio MS suplementado con BAP en diferentes concentraciones se observa entre los 6 o 8 meses de incubación. En otros estudios el tiempo puede ser menor como los reportados por Papanastasiou *et al.* (2007), Ahmed *et al.* (2013) y Bartos *et al.* (2018), refieren que la formación de embriones por vía embriogénesis somática indirecta puede verse formada después de 2 a 6 meses de incubación.

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo con la herramienta del lienzo Canvas para el modelo de negocios, se determinó como propuesta de valor un paquete tecnológico que incluyen plantas de café *Coffea arabica* de la variedad Oro Azteca y una asistencia técnica personalizada para el desarrollo del mismo en campo, que se podrá adquirir en las instalaciones de la biofábrica.

La viabilidad económica la biofábrica, se requiere de una inversión inicial de \$1 228 889.60 que incluye la compra de activos, montaje y puesta en marcha. Con base al flujo de caja y evaluación del proyecto se encontró indicadores económicos con una VAN de \$ 144 833.97, una TIR de \$ 17.41 % y PE \$ 1 016 402.64 proyectada a 5 años con un aumento del 5 % en venta y producción anualmente.

Para el diseño de la biofábrica se elaboró un plano arquitectónico, que será puesto en una planta de las instalaciones de la empresa, considerando las áreas necesarias para el desarrollo de las actividades y los requerimientos necesarios para un laboratorio de cultivo de tejidos vegetales.

Se generó un protocolo biotecnológico para la obtención de embriones somáticos de café, para la inducción a la callogénesis se utilizó medio MS en combinación de 2,4-D/BAP donde los tratamientos que se empleó el PVPP la callogénesis se estimuló significativamente por efecto del 2,4-D. Con el estudio histológico en la inducción de la embriogénesis no se observó alguna estructura embrionaria a las 8 semanas de incubación con 4.0 mg/L de BAP en medio de cultivo MS.

VII. RECOMENDACIONES

Visitar biofábricas existentes en el país con éxito en el mercado, para conocer sus procesos operativos, su consolidación en el mercado y su forma de innovar. Además de poder establecer trabajos colaborativos con otras biofábrica para lograr obtener mejores recursos en el desarrollo de los proyectos de investigación ejecutados a nivel nacional en investigación y desarrollo del café.

Llevar a cabo el modelo de la cuádruple hélice para generar vinculación entre empresa-universidad-gobierno-sociedad; con la finalidad de desarrollar, nuevos productos, como estrategias que ayuden a fortalecer y generar nuevas tecnologías, la diversificación, los nuevos conocimientos, el desarrollo, y la investigación e innovación en la empresa.

Elaborar la cadena de valor de la biofábrica para poder llevar a cabo un análisis de ventajas competitivas y definir estrategias a seguir para potenciar los puntos fuertes de la empresa. Así, como en futuros años innovar el modelo de negocios propuesto en este trabajo para generar diversificación de nuevos productos y buscar nuevas vías de crecimiento, como la expansión territorial con nuevas oportunidades de ofrecer el producto a más clientes.

Considerar los elementos básicos para lograr un buen funcionamiento de la biofábrica como los propuestos por Orellana (2008). En el que se considera la cantidad de equipos a utilizar en el laboratorio dependerá de los niveles productivos esperados, al igual que la calidad de la producción planificada depende de la eficacia del equipamiento del laboratorio, los mismos requisitos deben cumplir los reactivos, la cristalería y mobiliarios diversos que se tienen que adquirir para la puesta en marcha y posterior funcionamiento de forma ininterrumpida de la biofábrica.

Con los resultados obtenidos en este trabajo dan cimiento para llevar a más estudios para poder micropropagar de manera masiva plántulas de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca; en el cual se requiere de la línea celular de callos establecida realizar estudios que permita tener el mayor número de embriones somáticos. Posteriormente realizar estudios

para establecer los protocolos para la proliferación de embriones, germinación de embriones y aclimatización de las plántulas.

REFERENCIAS

1. Ahmed, W., Feyissa, T., and Disasa, T. (2013). Somatic embryogenesis of a coffee (*Coffea arabica* L.) hybrid using leaf explants. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 88(4), 469-475.
2. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café (AMECAFE) (2011a), Plan De Innovación De La Cafeticultura En El Estado De Guerrero. Documento Proyecto Estratégico Fomento Productivo 2010, Estrategia De Innovación Hacia La Competitividad En La Cafeticultura Mexicana, San Luis Acatlán, Gro., México, Noviembre, 2011.
3. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café (AMECAFE) (2011b), Plan De Innovación En La Cafeticultura De México. Documento Estrategia De Innovación Hacia La Competitividad En La Cafeticultura, México, D.F. Noviembre, 2011.
4. Asociación Mexicana de la Cadena Productiva del Café (AMECAFE). (2012). Plan Integral de Promoción del Café de México 2012. México, febrero, 2012. Recuperado en <http://amecafe.org.mx/backup/pcm2012.pdf>
5. Bartos, P. M. C., Gomes, H. T., do Amaral, L. I. V., Teixeira, J. B., and Scherwinski-Pereira, J. E. (2018). Biochemical events during somatic embryogenesis in *Coffea arabica* L. *3 Biotech*, 8(4), 209.
6. Berthouly, M., and Michaux-Ferriere, N. M. (1996). High frequency somatic embryogenesis in *Coffea canephora*. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 44(2), 169-176.
7. Bhojwani S.S., Dantu P.K. (2013) General Requirements and Techniques. *Plant Tissue Culture: An Introductory Text*. pp 11-25. Springer, India.
8. Campos, N. A., Panis, B., & Carpentier, S. C. (2017). Somatic Embryogenesis in Coffee: The Evolution of Biotechnology and the Integration of Omics Technologies Offer Great Opportunities. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1460.
9. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) (2016). Biofábrica: a la vanguardia en cultivos de interés comercial. Centro de Investigación Científica De Yucatán (CICY). Consultado 15-01-2018. Recuperado en <https://centrosconacyt.mx/objeto/biofabricascicy/>
10. Custers, J. (1980). Clonal propagation of *Coffea arabica* L. by nodal culture. Paris; In: 9è Colloque Scientifique Internationale sur le Café, *Association Scientifique Internationale du Café*; 1980.588–596.
11. Davis, A. P., Chester, M., Maurin, O. and Fay, M. F. (2007). Searching for the relatives of *Coffea* (Rubiaceae, Ixoroideae): the circumscription and phylogeny of *Coffea* based on plastid sequence data and morphology. *American Journal of Botany*, 94(3), 313-329.
12. De los Santos, B.C y Hernández, S. S (2006). Coffee biotechnology. *Braz. J. Plant Physiol.*, 18(1):217-227.

13. Del Pilar, D. (3 de septiembre de 2015) ¿Por qué está en problemas el cultivo de café en México? Recuperado de: <http://www.dineroenimagen.com/blogs/economia-real/por-que-esta-en-problemas-el-cultivo-de-cafe-en-mexico/61062>
14. Escamilla Prado E., Ruiz Rosado O., Zamarripa Colmenero A. y González Hernández V.A. (2005), Calidad en variedades de café orgánico en tres regiones de México, *Revista de Geografía Agrícola* núm. 55/45.
15. Escamilla, P. E. y Díaz C.S. (19 de mayo 2018). Las variedades de alta calidad: una alternativa para la cafecultura mexicana. *La Jornada del campo*, pp. 7-8.
16. Etienne H. (2005). Somatic Embryogenesis Protocol: Coffee (*Coffea arabica* L. and *C. canephora* P.). In: Jain S.M., Gupta P.K. (Ed.), Protocol for Somatic Embryogenesis in Woody Plants (pp. 167-179) Forestry Sciences, vol 77. Springer, Dordrecht.
17. Etienne H., Dechamp E., Barry-Etienne D., and Bertrand, B. (2006). Bioreactors in coffee micropropagation. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 45-54
18. Hassan, S. A. M., & Zayed, N. S. (2018). Factor Controlling Micropropagation of Fruit Trees: A Review. *Science International*, 6: 1-10.
19. International Coffee Organization (ICO) http://www.ico.org/trade_statistics.asp?section=Statistics
20. Kumar, V., Naidu, M. M., & Ravishankar, G. A. (2006). Developments in coffee biotechnology—in vitro plant propagation and crop improvement. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 87(1), 49-65.
21. Landey, R. B. (2013). *Influence of micropropagation through somatic embryogenesis on somaclonal variation in coffee (Coffea arabica): assessment of variations at the phenotypical, cytological, genetic and epigenetic level* (Thesis Doctoral). Université Montpellier II, Montpellier, France.
22. López-Gómez P., Iracheta-Donjuan L., Castellanos-Juárez M., Méndez-López I., Sandoval-Esquivel A., Aguirre-Medina J.F., y Gutiérrez-Díez A. (2010). Influencia del explante y medio de cultivo en la embriogénesis somática en hojas de café. *Revista fitotecnia mexicana*, 33(3), 205-213.
23. Marbán-Mendoza, N. (2009). Nematodes Management In Coffee Production Systems. In: Ciancio, A., Mukerji, K.G. (Eds.), Integrated Management of Fruit Crops Nematodes (pp. 101-118). Springer Netherlands.
24. Merino, M. M. 1987. Consideraciones generales que deben tomarse en la planeación de un laboratorio de cultivo de tejidos vegetales. In. Cultivo de Tejidos vegetales. Comp. Hurtado, M. D y Merino M. M. Editorial, Trillas, México. pp. 35-43.
25. Mishra, M. K., & Slater, A. (2012). Recent advances in the genetic transformation of coffee. *Biotechnology Research International*, 2012, 1-17.
26. Molina, D. M., Aponte, M. E., Cortina, H., & Moreno, G. (2002). The effect of genotype and explant age on somatic embryogenesis of coffee. *Plant cell, Tissue and Organ Culture*, 71(2), 117-123.
27. Murashige, T. (1974). Plant propagation through tissue cultures. *Annual Review of Plant Physiology*, 25(1), 135-166.

28. Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*, 15(3), 473-497.
29. Orellana, P, Agramonte D, Suárez-Castellá M, Jiménez MA, Álvarez JM, Jiménez E, De Feria M, García-Águila L, Triana R (2007). Biofábricas para la micropropagación de especies vegetales. CD XV Fórum de Ciencia y Técnica en Villa Clara. Comisión Provincial del Fórum
30. Orellana, P., Suárez-Castellá, M., Triana, R., Sarría, Z., Pons, M., León, M. y Pérez, Z. (2008). Métodos y elementos básicos para la planificación de la producción *in vitro* en biofábricas. *Bioteología Vegetal*, 8(2).
31. Organización De Productores Agroecológicos De Café De La Microrregión Agua Azul (2008), Plan De Manejo Agroecológico Para La Rehabilitación Cafetales., Subregión Ocosingo, Chiapas, México.
32. Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2011). Generación de modelos de negocio. Grupo Planeta, Madrid.
33. Ovando Cruz, M. E., Martínez Bolaños, M., López Morgado, R., & Méndez López, I. (2018). Establecimiento de plantaciones de café *Coffea arabica* L. con genotipos tolerantes a roya anaranjada (*Hemileia vastatrix* Berk y Broome) en el estado de Oaxaca.
34. Papanastasiou, I., Soukouli, K., Moschopoulou, G., Kahia, J., & Kintzios, S. (2008). Effect of liquid pulses with 6-benzyladenine on the induction of somatic embryogenesis from coffee (*Coffea arabica* L.) callus cultures. *Plant cell, Tissue and Organ Culture*, 92(2), 215-225.
35. Philippe, L., Benoît, B., and Hervé, E. (2009). Breeding Coffee (*Coffea arabica*) For Sustainable Production. In *Breeding Plantation Tree Crops: Tropical Species* (pp. 525-543). Springer New York.
36. Quiroz-Figueroa, F., Fuentes-Cerda, C., Rojas-Herrera, R., & Loyola-Vargas, V. (2002). Histological studies on the developmental stages and differentiation of two different somatic embryogenesis systems of *Coffea arabica*. *Plant Cell Reports*, 20(12), 1141-1149.
37. Santana-Buzzy, N., Rojas-Herrera, R., Galaz-Ávalos, R. M., Ku-Cauich, J. R., Mijangos-Cortés, J., Gutiérrez-Pacheco, L. C. and Loyola-Vargas, V. M. (2007). Advances in coffee tissue culture and its practical applications. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 43(6), 507-520.
38. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) (2017) Consultado 17-03-18 Recuperado en <http://sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines>
39. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (2018). Consultado 10-04-2018 en <https://www.gob.mx/sagarpa/articulos/mexico-onceavo-productor-mundial-de-cafe?idiom=es>
40. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (2018) Consultado 20-03-2018 Recuperado en http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do
41. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2017). Café: datos preliminares a 2017 indican una producción nacional de 839 mil toneladas. Consultado 20-02-18. Recuperado en <https://www.gob.mx/siap/articulos/cafe-datos-preliminares-a-2017-indican-una-produccion-nacional-de-839-mil-toneladas>

42. Suárez-Castellá, M., Iturrieta, L. M., Orellana, P., Triana, R., Pérez, Z., Rodríguez, M., ... & Sarriá, Z. (2009). Procedimiento metodológico para la conformación, implementación y perfeccionamiento de sistemas de calidad para biofábricas. *Biotecnología Vegetal*, 9(3).
43. Van Boxtel, J., & Berthouly, M. (1996). High frequency somatic embryogenesis from coffee leaves. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 44(1), 7-17.
44. Wintgens, J. N. (2009). Coffee bean quality assessment. In: Wintgens J. N. (Ed.), *Coffee: Growing, Processing, Sustainable Production: A Guidebook for Growers, Processors, Traders, and Researchers*, (pp. 810-819). WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
45. Yam TW, Arditti J (2009) History of orchid propagation: A mirror of the history of biotechnology. *Plant Biotechnology Reports* 3:1–56. doi:10.1007/s11816-008-0066-3
46. Zamarripa Colmenero, A. (1998). Oro Azteca nueva variedad de café con resistencia a la roya anaranjada (*Hemileia vastatrix* Berk and Br.). *Cafés de México*. 124 (marzo 1998), p. 9, 11, 15, 19.
47. Zamarripa, C. A.; López, M. R. (2013). Oro Azteca: Variedad de café con resistencia a la roya anaranjada. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Desplegable para productores No. 18.

ANEXOS

1. Componentes del medio de cultivo de Murashige y Skoog (MS)

Composición inorgánica	Concentración mg/L
Cloruro de calcio dihidratado	440
Nitrato de potasio	1900
Nitrato de amonio	1650
Fosfato de potasio monobásico	170
Sulfato ferroso hepta-hidratado	27.86
EDTA	37.25
Sulfato manganeso monohidratado	16.88
Yoduro de potasio	0.83
Sulfato de zinc hepta-hidratado	8.60
Ácido bórico	6.20
Sulfato de magnesio hepta-hidratado	370
Cloruro de cobalto sexta-hidratado	0.025
Molibdato de sodio di-hidratado	0.25
Composición orgánica	Concentración mg/L
Glicina	2
Mio-inositol	100
Tiamina HCl	0.10
Piridoxna HCl	0.50
Ácido Nicotínico	0.50

2. Consideración de aplicación del paquete tecnológico para el cultivo de café *Coffea arabica* variedad Oro Azteca de acuerdo a la SAGARPA-INIFAP.

El Estado de Guerrero presenta una orografía montañosa. Es atravesado por la Sierra Madre del Sur, el Eje Volcánico Transversal origina las sierras de Sultepec y Taxco, junto con Oaxaca, extiende su territorio por la llamada Depresión Austral, y es recorrido por la sección sureste de la Sierra Madre del Sur. El Eje Volcánico Transversal atraviesa parte de Guerrero, principalmente la Región Norte. Mientras que los bosques de coníferas son de los más grandes del país y 14.8% está en Guerrero.

Características generales de la región

La región cafetalera de la montaña presenta la mayor parte de la superficie son terrenos muy accidentados, con pendientes muy fuertes, que los hacen muy vulnerables a la erosión hídrica debido a las fuertes precipitaciones que se presentan.

Altura sobre nivel del mar

Optimo: 800 a 1,200 msnm.

Temperatura (intervalos)

Optimo: mínima media de 16°C y máxima media de 25°C

Precipitación media anual

Optimo: 1,800 a 2,000 mm.

Preparación del terreno

La preparación del terreno para la siembra de cafetos bajo las condiciones anteriores es manual, mediante el sistema de Roza y Tumba ya conocido en la región; no se recomienda la quema debido a que en el proceso de limpia del terreno estratégicamente se deberán dejar los árboles nativos que puedan utilizarse como sombra de la futura finca de café. Se debe

procurar alinear troncos y ramas en sentido perpendicular a la pendiente, siguiendo el trazo del surco de cafetos, los cuales corresponden a curvas de nivel.

Conservación de suelo y agua

Dadas las condiciones extremas de pendientes que se presentan en el área y con el objetivo de conservar el suelo, se recomienda el trazo de la plantación en curvas a nivel y en contorno que consiste en sembrar la hilera del cultivo a través de la pendiente, siguiendo las curvas a nivel. Así cada hilera de plantas forma un obstáculo donde se retiene el agua de escorrentía.

Arreglo topológico

La disposición de una plantación y la densidad de los cafetos, están en función de numerosos factores: variedad, sombreado, fertilidad, declive y grado de pedregosidad del suelo.

Trasplante

Para el trasplante, se seleccionan plantas de la variedad deseada, sanas y vigorosas, las ideales son las de dos o tres cruces. Cuando se utiliza planta producida en bolsa o tubo de polietileno, al efectuar el trasplante este se debe eliminar. Si es planta a raíz desnuda debe considerarse que la planta tenga buen tamaño (20 a 25 cm de altura), abundantes raíces secundarias, buen aspecto fitosanitario de la raíz y cuidar que, en el trasplante, la raíz principal no quede doblada ni torcida.

Sombreo y regulación de sombra

Sombreado

En la región, la sombra bajo la cual se desarrolla el cafeto proviene de la vegetación nativa, misma que estratégicamente se selecciona al momento de realizar la limpieza del terreno para la siembra.

Regulación de sombra

La regulación de sombra es de suma importancia para el buen desarrollo de los cafetos, ya que permite una mayor penetración de luz, mejora la distribución de la misma, facilita el movimiento del aire, incrementa la cantidad de materia orgánica en el suelo, reduce la erosión y contribuye a disminuir problemas fitosanitarios. Se debe “arralar” mediante el corte de ramas en los meses de marzo a mayo.

Renovación de cafetales

Cuando en un cafetal se tienen plantas viejas e improductivas, mayores de 20 años, se recomienda la renovación, que consiste en cambiar los cafetos viejos por cafetos nuevos de las variedades recomendadas. Es importante evitar la resiembra intercalando la planta nueva entre las viejas, sin seguir un orden definido ya que provoca un débil desarrollo de la planta nueva y dificulta la aplicación de programas de manejo. Es necesario llevar a cabo trabajos de renovación con base a un programa técnico que permita los mejores beneficios para el productor. El INIFAP recomienda el sistema de renovación a 25 por ciento, en hileras sucesivas, en ciclos de cuatro años; así mismo se recomienda realizar una poda sanitaria en aquellos cafetos que todavía no corresponde renovar; este sistema permite al cafeticultor mantener ingresos a medida que se realiza la renovación y obtener ganancias a partir del quinto año.

3. Costo de material, equipo, mobiliario e insumo necesarios para el funcionamiento de la biofábrica

MATERIAL DE LABORATORIO			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
PIPETA AUTOMÁTICA, MARCA EPPENDORF, MODELO RESEARCH PLUS, RANGO VOLUMÉTRICO 2 A 20 UL, MONOCANAL	2	\$ 4,837.88	\$ 9,675.76
PIPETA AUTOMÁTICA, MARCA EPPENDORF, MODELO RESEARCH PLUS, RANGO VOLUMÉTRICO 20 A 200 UL, MONOCANAL	2	\$ 4,837.88	\$ 9,675.76
PIPETA GRADUADA CLASE A CON CERTIFICADO 1 ML PIREX	5	\$ 122.00	\$ 610.00
PIPETA GRADUADA CLASE A CON CERTIFICADO 5 ML PIREX	5	\$ 212.00	\$ 1,060.00
PIPETA GRADUADA CLASE A CON CERTIFICADO 10 ML PIREX	5	\$ 245.00	\$ 1,225.00
PIPETA AUTOMÁTICA, MARCA EPPENDORF, MODELO RESEARCH PLUS, RANGO VOLUMÉTRICO 100 A 1000 UL, MONOCANAL	2	\$ 4,837.88	\$ 9,675.76
VASO DE PRECIPITADO CAPACIDAD DE 250 ML KIMAX	10	\$ 33.00	\$ 330.00
VASO DE PRECIPITADO 600 ML KIMAX	10	\$ 47.00	\$ 470.00
VASO DE PRECIPITADO 1000 ML KIMAX	10	\$ 64.62	\$ 646.20
PROBETAS DE VIDRIO LÍNEA BLANCA 100 ML 3022 PYREX	5	\$ 134.32	\$ 671.60
PROBETAS DE VIDRIO LÍNEA BLANCA 250 ML 3022 PYREX	5	\$ 111.00	\$ 555.00
PINZA PARA DISECCIÓN, MARCA MARYLAND, LONGITUD 14 CM, CON DIENTES, EN METAL INOXIDABLE	5	\$ 409.10	\$ 2,045.50

PINZA PARA DISECCIÓN, MARCA MARYLAND, LONGITUD 14 CM, SIN DIENTES, EN METAL INOXIDABLE	5	\$ 513.44	\$ 2,567.20
MANGO PARA BISTURÍ, MARCA WELDON INSTRUMENTAL, ACERO INOXIDABLE	5	\$ 40.90	\$ 204.50
BOTELLAS PARA MEDIO DE CULTIVO DE 1 LT KIMAX	5	\$ 48.85	\$ 244.25
PUNTAS PARA MICROPIPETA 1-200 UL UNIVERSAL AMARILLAS CORNING	1	\$ 900.00	\$ 900.00
PUNTAS PARA MICROPIPETA 100-1000 UL CORNING	1	\$ 1,100.00	\$ 1,100.00
FRASCOS DE CULTIVO DE 250 ML CON TAPA	1000	\$ 26.00	\$ 26,000.00
RELOJ ALARMA DE 120 MIN	2	\$ 118.00	\$ 236.00
AGITADOR MAGNÉTICO KIT DE 12 PZAS	1	\$ 1,731.90	\$ 1,731.90
FREGADERO DOBLE TINA DE ACERO INOXIDABLE ELUH-311810 ELKAY	1	\$ 10,605.00	\$ 10,605.00
GRADILLAS PARA SECADO	1	\$ 1,660.33	\$ 1,660.33
BANDEJAS DE PLÁSTICO DE VARIO TAMAÑOS	1	\$ 500.00	\$ 500.00
ESPÁTULAS (20.3 CM) ACERO INOXIDABLE MANGO MADERA	4	\$ 162.60	\$ 650.40
CEPILLOS DE DIFERENTE TAMAÑOS	1	\$ 250.00	\$ 250.00
CARRITO DE ACERO SOLDADO CON 2 REPISAS - 42 X 24 X 35" 800 LBS.	2	\$ 3,312.00	\$ 6,624.00
MESAS CON GABINETES	3	\$ 4,000.00	\$ 12,000.00
ESTANTERÍA CON 5 NIVELES	20	\$ 3,000.00	\$ 60,000.00
LÁMPARAS LED DE 30000 LUX	30	\$ 2,000.00	\$ 60,000.00
MESAS DE TRABAJO	2	\$ 2,500.00	\$ 5,000.00
4 LÁMPARAS DE ALCOHOL	4	\$ 200.00	\$ 800.00
CUBREBOCAS	1	\$ 200.00	\$ 200.00
GORROS	1	\$ 200.00	\$ 200.00
GUANTES	1	\$ 200.00	\$ 200.00
AGENTES DESINFECTANTES	1	\$ 500.00	\$ 500.00
SUBTOTAL			\$ 228,814.16

EQUIPO DE LABORATORIO			
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. UNITARIO	IMPORTE
REFRIGERADOR VERTICAL DE CUATRO MEDIAS PUERTAS CON MARCO DE ALUMINIO ANODIZADO, CON 8 PARRILLAS CON ALTURA AJUSTABLE Y DOS DE PISO, CAPACIDAD DE 43 PIES CÚBICOS. EQUIPO NIETO	1	\$ 30,309.00	\$ 30,309.00
BALANZA GRANATARIA TRIPLE BRAZO 610GG OHAUS 750S0	1	\$ 3,421.00	\$ 3,421.00
BALANZA ANALÍTICA OHAUS-PIONEER 65 G.X0.1 MG.	1	\$ 31,169.60	\$ 31,169.60
MEDIDOR DE PH, DE MESA, MARCA HANNA, MODELO TH20-01	2	\$ 4,134.00	\$ 8,268.00
HORNO DE MICRO-ONDAS 1.2 PIES CUBICOS MCA PANASONIC	1	\$ 4,200.00	\$ 4,200.00
PARRILLA TERMICA CON AGITACION, MARCA CORNING, MODELO PC-220, TEMPERATURA 25 A 550 °C, AGITACION 60 A 1100 RPM, TAMAÑO DE LA PLACA 4" X 5", DIMENSIONES 4. 4" X 5. 8" X 7. 3", PLACA DE PIROCERAMICA, TERMOSTATO ANALOGO, LUZ INDICADORA DE CALENTAMIENTO DE LA PLACA	2	\$ 7,200.00	\$ 14,400.00
HORNO DE SECADO DE LABORATORIO RIOSSA MOD. H-33.	1	\$ 26,580.00	\$ 26,580.00
AUTOCLAVE VERTICAL AUTOMÁTICA DE 50 LITROS. MODELO CVQ-B50L ECOSHEL	1	\$ 73,950.00	\$ 73,950.00
2 CAMPANAS DE FLUJO LAMINAR HORIZONTAL CON LÁMPARA DE LUZ UV	2	\$ 51,000.00	\$ 102,000.00
MINI SPLIT LG, AHORA CON DISEÑO PERFECTO QUE PUEDES ADAPTAR A TODA CLASE DE DECORACIÓN DE	2	\$ 7,990.00	\$ 15,980.00

INTERIORES, CON SISTEMA REFRIGERANTE R-22. 18000 BTUS			
MICROSCOPIO BINOCULAR ESTEREOSCÓPICO. MARCA VELAB	2	\$ 3,190.00	\$ 6,380.00
BOMBA DE VACIO LUBRICADA, MARCA FELISA, MODELO FE-1500L, DE 72 LTS/MIN, VACIO MAX 500 MM/HG, MOTOR ¼ HP, 3,500 RPM	1	\$ 11,402.00	\$ 11,402.00
SUBTOTAL			\$ 328,059.60