



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**DESARROLLO DE INGENIERÍA CONCEPTUAL PARA LA
PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTES PARA CULTIVOS DE
CÍTRICOS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

MARIANA EDITH MIGUEL SUÁREZ



CDMX

AÑO 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: PROFESOR: JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ

VOCAL: PROFESOR: JUAN MARIO MORALES CABRERA

SECRETARIO: PROFESOR: ALEJANDRA MENDOZA CAMPOS

1er. SUPLENTE: PROFESOR: LUIS ANGEL MORENO AVENDAÑO

2° SUPLENTE: PROFESOR: ELISA ELVIRA GUINEA CORRES

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

FACULTAD DE QUÍMICA, CIUDAD UNIVERSITARIA, COYOACÁN, CIUDAD DE MÉXICO, MÉXICO.

ASESOR DEL TEMA:

M.I. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ

SUSTENTANTE:

MARIANA EDITH MIGUEL SUÁREZ

Índice

Capítulo I - Introducción	1
Objetivo general	2
Objetivos particulares.....	2
Capítulo II - Antecedentes.....	3
Cambio climático	3
Efecto del cambio climático en la agricultura	5
Capítulo III - Marco teórico.....	9
El ecosistema del suelo	9
Fertilización del suelo.....	13
Tipos de fertilizantes	15
Cultivo de cítricos	18
Biocarbón en el suelo.....	21
Capítulo IV - Justificación.....	23
Capítulo V - Situación actual de los mercados de fertilizantes y cítricos en México	24
Capítulo VI - Tecnologías disponibles	30
Composta	30
Microorganismos	32
Abono	34
Subproductos vegetales.....	36
Subproductos animales.....	38
Evaluación tecnológica	40
Capítulo VII - Localización de la planta	42
Capítulo VIII - Descripción y esquema general del proceso.....	49
Descripción del proceso.....	49
Esquema de proceso	52
Lista de equipo y dimensionamiento preliminar	53
Balance de materia y energía.....	54
Balance de materia	54

Balance de energía	56
Capítulo IX - Estudio de Factibilidad Económica	57
Capítulo X - Resultados y conclusiones	65
Apéndice	68
Apéndice I. Glosario.....	68
Apéndice II. Objetivos de Desarrollo Sostenible	70
Apéndice III. Evaluación tecnológica.....	73
Apéndice IV. Algoritmo de cálculo del balance de materia y energía	75
Balance de materia	75
Balance de energía	81
Apéndice V. Rubros del capital fijo de inversión	83
Bibliografía.....	86

Índice de Tablas

Tabla 1. Potencial de Calentamiento Global (PCG) de algunos gases de efecto invernadero	4
Tabla 2. Características de la textura del suelo	11
Tabla 3. Ejemplo de tecnología de compost	31
Tabla 4. Ejemplo de tecnología de microorganismos	33
Tabla 5. Ejemplo de tecnología de abono	35
Tabla 6. Ejemplo de tecnología de subproductos vegetales	37
Tabla 7. Ejemplo de tecnología de subproductos animales	39
Tabla 8. Tecnologías disponibles y su relación con el secuestro de carbono.	41
Tabla 9. Coordenadas geográficas de la ubicación de la planta	45
Tabla 10. Lista de equipo	53
Tabla 11. Balance de materia	55
Tabla 12. Balance de energía	56
Tabla 13. Costo de equipos	59
Tabla 14. Capital fijo de inversión	60
Tabla 15. Estado de resultados	61
Tabla 16. Flujo de caja	62
Tabla 17. Indicadores de evaluación	63
Tabla 18. Evaluación tecnológica	73
Tabla 19. Rubros del capital fijo de inversión.....	83

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Relaciones dinámicas en el suelo.....	10
Ilustración 2. Clasificación de los fertilizantes químicos	15
Ilustración 3. Clasificación de los fertilizantes	17
Ilustración 4. Logotipo de los Objetivos del Desarrollo Sostenible.....	23
Ilustración 5. Porcentaje de Unidades de Producción para tecnologías de fertilización.....	25
Ilustración 6. Producción de limón en México	26
Ilustración 7. Producción de naranja en México.....	27
Ilustración 8. Producción de toronja en México.....	28
Ilustración 9. Regiones Potenciales de limón.....	42
Ilustración 10. Caracterización de las regiones estratégicas de limón en México .	43
Ilustración 11. Regiones Estratégicas de limón en México.....	44
Ilustración 12. Cercanía de la localización de la planta con Martínez de la Torre, Veracruz.....	46
Ilustración 13. Mapa edafológico del municipio de Ayotoxco de Guerrero, Puebla	47
Ilustración 14. Diagrama de bloques del proceso	49
Ilustración 15. Sucesión de curvas de difusión de productos tecnológicos.	58
Ilustración 16. Objetivos de Desarrollo Sostenible.....	72

Capítulo I - Introducción

Los cítricos son frutos de alto consumo en México y uno de los principales productos de exportación. Durante el periodo 2003-2016, la producción se incrementó 25.20% y las exportaciones aumentaron más del 115%. Las exportaciones mexicanas representaron 78.22% de las importaciones de cítricos de Estados Unidos, siendo este el principal mercado objetivo actual.

La participación del valor de la producción de cítricos en 2016 con respecto al PIB agrícola nacional del mismo año fue de 2.78%, distribuido de la siguiente manera: limón, naranja y toronja aportan al PIB agrícola nacional 1.5%, 1.15% y 0.13% respectivamente¹.

Por otro lado, la FAO, estima que, si persisten las tendencias actuales de crecimiento de ingresos y consumo, la agricultura debe transformarse para alimentar la creciente población mundial. Una agricultura más productiva y con mayor resiliencia precisa un cambio fundamental en la forma de gestión de la tierra, el agua, los nutrientes del suelo y los recursos genéticos.

Factores como deforestación, erosión del suelo, degradación de pastizales, pérdida de diversidad biológica, pérdida de fertilidad del suelo, deficiencia de nutrimentos, uso excesivo de agroquímicos, son factores por los cuales no se pueda lograr cumplir con estándares de exportación. Estos son corregidos parcialmente a través de adición de fertilizantes, pero los cultivos absorben entre un 20 a 40% del fertilizante aplicado y el resto se pierde por diversos mecanismos, ocasionando pérdidas económicas y contaminación ambiental².

El uso de fertilizantes químicos e híbridos (semillas de alto rendimiento), aunado con el uso de productos químicos para el combate de plagas y enfermedades, ha logrado incrementar la producción de alimentos dos veces más que la población. De igual forma, este tipo de prácticas mostró sus límites y sus altos costos, lo que llevó a ser una de las agriculturas más ineficientes del mundo y altamente contaminante³. Asimismo, disminuyen la materia orgánica y reducción de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo y de la estabilidad de la estructura del suelo⁴.

¹ (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017)

² (Grageda Cabrera, Díaz Franco, Peña Cabriales, & Vera Nuñez, 2012)

³ (Morales Ibarra, 2007)

⁴ (Riviera-Cruz, Trujillo-Narcía, & Alejo Pereyra, 2010)

La pérdida de carbono orgánico almacenado en el suelo afecta su fertilidad y capacidad de regulación del clima. Además, la actividad biológica es considerada como un índice de la fertilidad de los suelos, ya que es agente primario para la conducción del ciclo de nutrientes, la regulación de la dinámica de la materia orgánica del suelo, el secuestro del carbono en el suelo y las emisiones de gases invernadero, modificando la estructura física del suelo y el almacenamiento de agua, aumentando la cantidad y disponibilidad de nutrientes para la vegetación y la salud de la planta.

A nivel mundial, una de las alternativas para mitigar el cambio climático, es la enmienda del suelo con biochar, que se ha estudiado como un medio para mejorar la fertilidad del suelo y la dinámica de los fertilizantes. Desde el punto de vista tecnológico el uso de biochar representa una innovación y oportunidad para utilizarlo como “acarreador” de microorganismos con funcionalidad comprobada en términos de promoción del crecimiento vegetal en cultivos de interés y paralelamente como activador microbiano y mejorador de suelo.

En el desarrollo de este proyecto, se diseñará la ingeniería conceptual para la producción de biofertilizantes para cultivos de cítricos a partir de biochar y cepas específicas promotoras del crecimiento vegetal como alternativa a los fertilizantes y propuesta para la mitigación del cambio climático.

Objetivo general

Diseñar un método de producción de biofertilizantes para cultivos cítricos.

Objetivos particulares

- Desarrollar documentos de ingeniería conceptual de la producción de biofertilizantes para cultivos cítricos.
- Determinar la viabilidad del proyecto.
- Evaluar el costo de la planta de producción de acuerdo con la demanda actual de mercado.

Capítulo II - Antecedentes

Cambio climático

El clima de la Tierra ha evolucionado siempre de manera natural a lo largo de la historia. Los cambios han ocurrido de manera brusca pero las etapas de clima más o menos constantes han sido largas. Pero las pruebas convincentes obtenidas en todo el mundo revelan que se ha puesto en marcha un nuevo tipo de cambio climático, que podría tener repercusiones drásticas sobre las personas, las economías y los ecosistemas.

Los niveles de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI), gases de origen natural, han aumentado en la atmósfera vertiginosamente durante la era industrial debido a actividades humanas como la deforestación o el fuerte consumo de combustibles fósiles para uso energético. Su crecimiento ha sido exponencial en los últimos años y ha producido de igual manera un crecimiento exponencial en la concentración de GEI en la atmósfera.

Durante la revolución agrícola se mantenía el equilibrio de los gases emitidos a la atmósfera. Aunque crecía la población, la cantidad de combustible quemado eran tan escasa, que la absorción de CO₂ por las plantas y el mar compensaba el CO₂ producido. Las plantas absorbían el CO₂ de manera anual mientras que el océano lo hacía a lo largo de décadas y siglos, de esta forma se mantenía el equilibrio.

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) que se mencionan en el Protocolo de Kioto (1997) son los siguientes:

- Dióxido de carbono (CO₂)
- Metano (CH₄)
- Óxido nitroso (N₂O)
- Hidrofluorocarbonos (HFC)
- Perfluorocarbonos (PFC)
- Hexafluoruro de azufre (SF₆)

El dióxido de carbono (CO₂), que es con gran diferencia la fuente más importante de GEI, ha crecido aproximadamente un 80%. El metano es la segunda fuente por orden de importancia seguido del óxido nitroso. Sin una intervención mundial

concertada, las emisiones de gases de efecto invernadero crecerán, según las proyecciones entre un 25% y un 90% entre el año 2000 y el 2030.

Las necesidades particulares de los países en desarrollo para adaptarse al cambio climático son de gran trascendencia. El problema del cambio climático está vinculado con el desarrollo: el crecimiento económico es esencial para que los países en desarrollo mejoren su salud, los medios de subsistencia económicos y la calidad de vida de sus ciudadanos.

Se prevé que el predominio de los combustibles fósiles continuará hasta el 2030 y más allá, por lo que las emisiones de CO₂ procedentes del uso de la energía podrían crecer entre un 40 y 110% durante ese periodo. Las emisiones de CH₄ y N₂O se producen sobre todo como consecuencias de las actividades agrícolas. Los HFC y los PFC se utilizan como sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, como los clorofluorocarbonos (CFC), que se están eliminando gradualmente en el marco del Protocolo de Montreal. El SF₆ se utilizan en algunos procesos industriales y en el equipo eléctrico.

El nivel de impacto de los seis gases de efecto invernadero se compara considerando sus respectivos potenciales de calentamiento global. Este es un indicador, definido por el IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change), de la contribución relativa de una sustancia a calentar la atmósfera en un período determinado (100 años en el caso del Protocolo de Kioto), en comparación con un valor de 1 para dióxido de carbono. En la **Tabla 1**, se muestran algunos potenciales de calentamiento de algunos gases de efecto invernadero.

Tabla 1. Potencial de Calentamiento Global (PCG) de algunos gases de efecto invernadero

Gas o compuesto	PCG a 100 años
Dióxido de carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	28
Óxido nitroso (N ₂ O)	265

Nota. Fuente: (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2016)

Según recientes estudios sobre el cambio climático, la temperatura del planeta en 2100 aumentaría entre 4.78 y 7.36 grados Celsius (°C), cifra que excede con amplitud la meta de limitar el aumento de temperatura a 2 o incluso 1.5°C. Estos hallazgos llevan a que se hagan cada vez más fuertes las voces que instan de acudir a tecnologías que extraigan carbono de la atmosfera, con lo que, en teoría, se conseguiría evitar los efectos más catastróficos del cambio climático.

Esta reflexión va en sentido de considerar al planeta como un sistema dinámico, un problema de ingeniería de control, que, una vez entendido, nos puede permitir no solo resolver el problema actual, sino controlar de acuerdo con nuestras necesidades, los problemas y situaciones futuras.

El cambio climático es una cuestión de alcance mundial que requiere una respuesta global.

Efecto del cambio climático en la agricultura

Los alimentos del mundo provienen en un 90% de sistemas agrícolas basados en la tierra, y este porcentaje decrece conforme la pesca y los ecosistemas oceánicos naturales van decreciendo. Proteger y nutrir las tierras de cultivo, es la pieza clave de la producción de alimentos, debe ser la característica principal de la sostenibilidad.

La agricultura y los sistemas alimentarios son parcialmente responsables del aumento de la temperatura en la Tierra. Aun así, representan una parte fundamental para la solución de reducir las emisiones de gases invernadero y fomentar la adaptación de clima cambiante, sobre todo por parte de los agricultores familiares rurales de los países en desarrollo mediante la reducción de las emisiones derivadas de la producción agrícola y a través de la captación de carbono (sumideros de carbono) en suelos y plantas.

Los sectores alimentario y agrícola son vulnerables hasta niveles alarmantes y su adaptación al cambio climático es complicada, a su vez, estos dos sectores, tienen mucha importancia para el desarrollo humano, por lo cual, deben tener una posición destacada en respuesta mundial ante el cambio climático.

La agricultura debe crear resiliencia ante las repercusiones del cambio climático, contribuyendo al mismo tiempo lo máximo posible a los esfuerzos de mitigación. Existen tres esferas de intervención esenciales⁵:

- i) La adaptación del cambio climático en los sistemas de producción agrícola en pequeña escala.

⁵ (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017)

- ii) La reducción de las emisiones y el incremento de la captación de carbono en los sectores primarios de la agricultura.
- iii) La disminución de las emisiones en los sistemas alimentarios en general.

Con frecuencia, pero no siempre, las medidas de mitigación conllevan beneficios conjuntos en términos de adaptación.

Dado que los efectos del cambio climático continúan aumentando y ganado intensidad, hemos de iniciar inmediatamente una transformación mundial hacia la agricultura sostenible, ya que puede producir mejoras significativas en la seguridad alimentaria, así como resiliencia ante el cambio climático, lo que implica que se requerirá innovación en los sistemas agrícolas.

La FAO concibe un mundo en el que los sistemas agrícolas y alimentarios y los medios de vida que de ellos dependen, sean resistentes a los efectos del cambio climático por medio de medidas de adaptación y opciones de mitigación.

El cambio climático provocará variaciones inesperadas en las pautas de las enfermedades de plantas y animales, lo que acrecentará el riesgo de uso excesivo o indebido de productos agroquímicos en un esfuerzo por controlar estas enfermedades. Para gestionar estos desafíos será necesario que todos los operadores de la cadena de valor puedan poner en marcha buenas prácticas adecuadas.

También el cambio climático plantea amenazas a gran escala a recursos naturales que son fundamentales para la producción agrícola. Dañar y agotar los recursos naturales perjudica los procesos ecológicos naturales de los que dependen los territorios sanos y productivos.

Al mismo tiempo, los suelos, que son la base del crecimiento de las plantas, se degradan y se echan a perder a gran velocidad como consecuencia de las repercusiones del cambio climático sobre el territorio. La pérdida de fertilidad de los suelos viene acompañada en su mayor parte por la pérdida de carbono en el suelo, lo que hace que la degradación de los suelos constituya una fuente de emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

El aumento de carbono en el suelo estabiliza los suelos, mejora la función de amortiguación y almacenamiento de nutrientes y agua de estos y, por ende, contribuye a mejorar la resiliencia de los agricultores ante el cambio climático, al tiempo que modera el aumento de CO₂ atmosférico. La recuperación y rehabilitación de las tierras degradadas tiene otro beneficio importante: la posibilidad de fijar

carbono. Este potencial es enorme: de aquí a 2030 se podrían recuperar unos 200 millones de hectáreas de tierras degradadas⁶.

Teniendo en cuenta solo la fijación de carbono en suelo, se estimó que la recuperación de tierras degradadas tenía el potencial de fijar hasta 7.26 tCO₂/ha/año, lo que, si se calcula el valor acumulado hasta 2030, contribuirá en gran medida a la mitigación de los niveles actuales de emisiones de CO₂ a nivel mundial, y, además, puede atraer flujos financieros.

La menor productividad en la agricultura derivada del cambio climático tendrá graves repercusiones negativas para los medios de vida y la seguridad alimentaria. La escasez del suministro de alimentos puede dar lugar a incrementos importantes en los precios de los alimentos. Las zonas más afectadas serían las que ya registran tasas elevadas de hambre y pobreza.

Entre los más vulnerables estarán quienes dependan de la agricultura para sus medios de vida e ingresos, especialmente los pequeños productores de los países en desarrollo. A medida que se explotan las tierras más intensivamente, aumenta la degradación del suelo, disminuye la producción y caen los ingresos.

La agricultura no solo se ve afectada por el cambio climático, sino que también contribuye a este mediante la emisión de cantidades significativas de los tres principales gases de efecto invernadero: dióxido de carbono, metano y óxido nítrico.

Los fertilizantes químicos carecen de materia orgánica que sustente a los organismos y forme la estructura del suelo. Con la agricultura intensiva, se mantendría elevado el contenido de nutrientes, pero en todos los casos avanza a la mineralización y la desertificación. Así con la pérdida de la capacidad de retención del suelo, los fertilizantes químicos son susceptibles de escurrir por lixiviación a las corrientes de agua y causar contaminación.

Aproximadamente el 21% de las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero anuales totales se originan en la “agricultura, la silvicultura y otros usos de la tierra”, de conformidad con la clasificación de fuentes de emisiones del IPCC. En la categoría más general de la producción agrícola, las principales fuentes de emisiones son la fermentación entérica en el ganado rumiante, el uso de fertilizantes orgánicos y de nitrógeno y la producción de arroz en campos de arroz inundados.

⁶ (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017)

La demanda de productos agrícolas seguirá aumentando debido al crecimiento de la población y al incremento de los ingresos, pero la intensidad de las emisiones por unidad de producción se puede reducir. La gestión mejorada de los fertilizantes de nitrógeno y el estiércol podría reducir las emisiones de óxido nitroso.

Los suelos representan el segundo mayor depósito de carbono a nivel mundial después de los océanos. Los suelos tienen un gran potencial de captación de carbono, especialmente a través de la restauración de suelos degradados. Además de la captación de carbono, el mantenimiento y restauración de la salud de los suelos, mejora la fertilidad para la producción agrícola y proporciona beneficios en términos de productividad y de seguridad alimentaria.

Aunque muchas prácticas agrícolas actuales contribuyen a las pérdidas de materia orgánica del suelo, se dispone de una serie de opciones técnicas para mejorar la fijación de carbono en el suelo en los sistemas agrícolas. Ejemplos de ellos son la reducción de incendios, el sobrepastoreo y la erosión de los suelos; el reciclaje de los residuos de cultivo y el estiércol, los cultivos de abono verde, el cultivo intercalado, la agroforestería y la agricultura de conservación; así como las variedades de cultivos mejoradas.

Las mejoras en la producción de cultivos y la gestión de la fertilización parecen ofrecer mayores posibilidades de reducir las emisiones de óxido nitroso, así como de reducir los costos de los insumos. El aumento de las existencias de carbono orgánico del suelo mejora el rendimiento de los cultivos y fortalece la resiliencia ante las sequías y las inundaciones, pero también fija el carbono.

Los sectores de la agricultura ocupan un lugar destacado en las contribuciones previstas determinadas a nivel nacional, pues un 94% de todos los países los incluyen en sus contribuciones a la mitigación o adaptación⁷.

⁷ (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2017)

Capítulo III - Marco teórico

El ecosistema del suelo

El significado tradicional del suelo se define como el medio natural para el desarrollo de plantas terrestres, ya sea que tenga o no horizontes discernibles. También el suelo es definido como un cuerpo natural que comprende a sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases que ocurren en la superficie de la tierra; ocupa un espacio.

Se caracteriza por tener horizontes o capas, que se distinguen entre sí del material inicial como resultado de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de energía y materia, o por la habilidad de soportar plantas enraizadas en un medio ambiente natural. El suelo marca una diferencia entre levantar una cosecha abundante o abandonar el campo a unas cuentas hierbas.

El ecosistema de suelo comprende los detritos, que alimentan a saprofitos primarios (lombriz de tierra, cangrejos de río, termitas, hormigas y escarabajos, entre otros) y saprofitos secundarios (protozoarios, ácaros, insectos y gusanos) y descomponedores de detritos (hongos y bacterias de putrefacción). (Véase **Apéndice I. Glosario**)

Los nutrientes de los detritos son liberados y vuelven a ser absorbidos por los productores, lo que fomenta el ciclo de los nutrientes. En un suelo productivo, los saprofitos y los descomponedores constituyen una comunidad biótica de organismos que no sólo facilitan la transferencia de nutrientes, sino que también crean en el suelo un medio favorable para el crecimiento de las raíces. En resumen, un mantillo productivo comprende relaciones dinámicas entre los organismos del suelo, los detritos y las partículas minerales que ahí se encuentran (Véase **Ilustración 1**).

Para que crezcan mejor las plantas, las raíces necesitan un ambiente que les suministre las cantidades óptimas de nutrientes minerales, agua y aire (oxígeno). El pH y la salinidad del suelo son cruciales.

Los nutrientes minerales fosfato (PO_4^{3-}), potasio (K^+), calcio (Ca^{2+}) y otros iones se encuentran en diversas rocas junto con elementos que no son nutrientes. La capacidad del suelo de recoger y retener iones de nutrientes hasta que los absorban las raíces es tan importante como el propio suministro de iones.

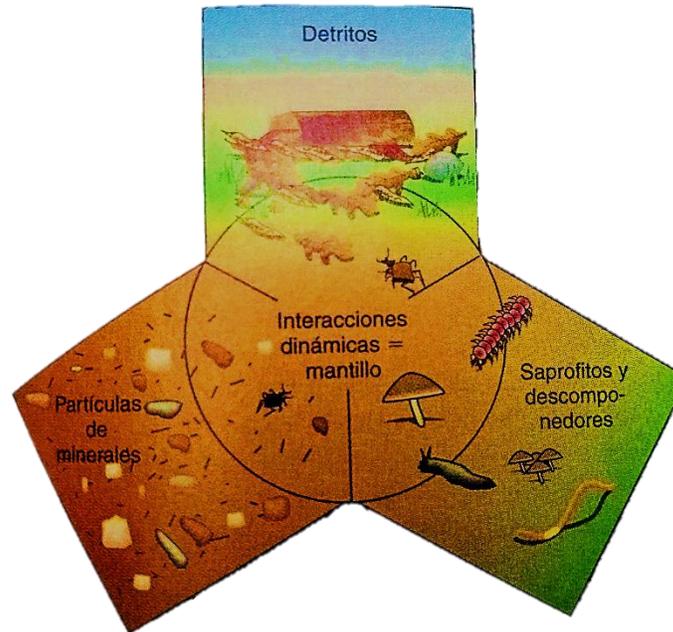


Ilustración 1. Relaciones dinámicas en el suelo

Nota. Fuente: (Nebel J. & Wright T., 1999)

Los sistemas agrícolas requieren suministros de nutrientes para reemplazar los perdidos en la cosecha, lo que se logra con la aplicación de fertilizantes o abonos materiales que contienen uno o más nutrientes necesarios, ya sean orgánicos o inorgánicos.

Los atributos del suelo como la textura son importantes entre ellos está la capacidad de infiltración del agua en el suelo, capacidad de retención del agua y pérdida de agua por evaporación. Otra propiedad importante es la aeración del suelo para la difusión de oxígeno en su interior y la compactación reduce la infiltración y aumenta el escurrimiento del agua de lluvia. Y la última propiedad es la capacidad de retención de nutrientes.

La consistencia del suelo se compone de partículas como arena, limo, arcilla y marga las que constituyen la parte mineral del suelo. A continuación, en la **Tabla 2**, se presenta una tabla de la textura o consistencia del suelo respecto a los factores ya mencionados.

La textura del suelo también influye en su laborabilidad, es decir, la facilidad con que se pueda cultivar. La mejor textura es la de limosa o el de marga, porque ambas clases de suelo moderan factores limitantes.

Tabla 2. Características de la textura del suelo

Textura del suelo	Infiltración del agua	Capacidad de retención de agua	Capacidad de retención de nutrientes	Aeración	Viabilidad
Arenosa	Buena	Escasa	Escasa	Buena	Buena
Limosa	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular
Arcillosa	Escasa	Buena	Buena	Escasa	Escasa
Marga	Regular	Regular	Regular	Regular	Regular

Nota. Fuente: (Nebel J. & Wright T., 1999)

Además, la mayoría de las plantas requieren un pH neutral, provisto por la mayor parte de los ambientes naturales. Si las concentraciones de sales son muy elevadas en suelo conduce a deshidratación y muerte.

La composta fomenta la descomposición de los desechos orgánicos en condiciones más o menos estables. Cuando los organismos se alimentan de detritos en el suelo, a menudo ingieren también partículas minerales. Así los excrementos de los organismos son “terrones” más o menos estables de partículas orgánicas más humus.

El mantillo es un suelo suelto y terroso, rico en humus e ideal para el crecimiento de planta, y es alrededor de 10 a 30 cm de espesor. Debajo se encuentra el subsuelo, densamente compactado porque carece de humus y de la agitación de los organismos en el suelo. La pérdida de la totalidad del mantillo causa una disminución de 85 a 90% en la productividad.

Las micorrizas tienen una relación simbiótica entre las raíces de las plantas. Las micorrizas penetran en los detritos, absorben los nutrientes y los transfieren directamente a las plantas. Así no hay pérdida en los nutrientes por lixiviación.

La mineralización es la pérdida del humus y el consiguiente deterioro del mantillo, porque lo que queda no es sino el contenido mineral granuloso desprovisto del humus. El mantillo es un equilibrio dinámico, entre la adición de detritos y los procesos de formación de humus, por un lado y la pérdida y descomposición de humus y detritos por el otro.

El mantillo se daña por la erosión, fenómeno por el que el viento y agua desprenden y arrastran las partículas más ligeras del humus y la arcilla, resultando que el suelo se desnude y se exponga las rocas, piedras y arena gruesa que permanecen. La remoción llega a ser lenta y sutil. Existen distintos tipos de erosión:

- Erosión por agua
- Erosión laminar
- Erosión torrencial

Una vez comenzada la erosión se convierte en facilidad en un círculo vicioso si no es controlado.

Los componentes más importantes del suelo por su capacidad de retención de agua y nutrientes son la arcilla y el humus. Cuando se eliminan los nutrientes también desaparecen porque están ligados a estas partículas, sin embargo, la pérdida de agua aún es más grave.

El proceso de desertificación, disminución de la capacidad de retención de agua, provoca que las zonas se vuelven desérticas desde el punto de vista ecológico cómo productivo.

Las principales prácticas que exponen el suelo a la erosión son:

- Cultivo excesivo. El aradar el suelo queda expuesto a la erosión del suelo y del agua. Después de la cosecha mucho suelo queda abandonado a la erosión. El peso de los tractores con arados propicia la compactación de la tierra.
- Pastoreo excesivo. La producción de pastos para cultivo de ganado no mantiene el ritmo de consumo, la tierra se vuelve estéril, empieza la erosión por viento y agua y el resultado es la desertificación.
- Deforestación. La tala de bosques y el suelo queda expuesto. El golpeteo de las gotas de lluvia sella pronto el suelo, el mantillo se satura de agua y resbala de la colina en una masa lodosa hasta las vías de agua. Lo que queda es un subsuelo desnudo que sigue erosionándose.

Fertilización del suelo

La fertilidad del suelo depende de las tasas relativas de adición y remoción de sustancias nutritivas, por ello para lograr un buen programa de fertilización es necesario conocer que elementos y que cantidad se requieren para producir una cosecha rentable y sustentable de los cultivos en diferentes tipos de suelo.

Los fertilizantes son sustancias que proporcionan nutrientes para las plantas o mejoran la fertilidad del suelo. Ellos son el medio más efectivo para incrementar los rendimientos de los cultivos y mejorar la calidad de los alimentos.

Para que la sustancias orgánicas o inorgánicas que contiene alguno o algunos de los elementos esenciales (nutrientes) sea capaz de proporcionarlos a través de las raíces o del follaje y recibir así el calificativo de fertilizante, se requiere que tales elementos se encuentren en una forma química susceptible de ser absorbida; es decir en forma asimilable o disponible. Las formas asimilables son, las solubles en agua o solubles en ciertas soluciones ácidas o alcalinas.

Para que un elemento sea esencial debe cumplir los siguientes tres criterios:

1. La planta no puede completar su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral
2. La función de este elemento no puede ser reemplazada por otro elemento.
3. El elemento debe participar directamente en el metabolismo de la planta.

Las plantas contienen prácticamente todos los elementos naturales, pero solo 17 de ellos son considerados elementos esenciales para la nutrición de estas.

Los nutrientes pueden clasificarse de acuerdo con la cantidad absorbida por las plantas, siendo macronutrientes o micronutrientes.

Los macronutrientes son los más requeridos midiéndose su cantidad respecto a las soluciones nutritivas, en gramos por litro (g/L) y son el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y magnesio. Estos a su vez pueden dividirse en:

- Macronutrientes primarios: nitrógeno, fósforo y potasio. Se identifican así por ser absorbidos en altas cantidades por las plantas, frecuentemente se requiere su aplicación como fertilizantes.
- Macronutrientes secundarios: calcio, azufre y magnesio. Aunque se requieren en cantidades relativamente altas por las plantas sus deficiencias

intrínsecas son poco frecuentes y su aplicación al suelo se debe a la necesidad de corregir problemas diferentes al de su posible deficiencia⁸.

Los micronutrientes son absorbidos en menores proporciones y se miden en (mg/L) o en partes por millón (ppm), ellos son: cloro, boro, zinc, manganeso, cobre, molibdeno, hierro y níquel. Se conocen como micronutrientes porque, aunque son esenciales a la planta, se requieren en menor proporción pues sus funciones en la planta son de tipo metabólico y no estructural.

Los macronutrientes poseen un alto umbral de toxicidad, es decir pueden absorberse en grandes cantidades sin efectos nocivos, en cambio los micronutrientes tienen un nivel de toxicidad bajo y el límite entre la carencia y la toxicidad está muy próximo.

Cada nutrimento tiene formas químicas particulares de absorción: algunas catiónicas (N, K, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu y Fe) y otras aniónicas (N, P, S, B, Mo, Cl). Es importante favorecer la presencia de dichas formas en el suelo para facilitar la absorción de raíces de las plantas. El nitrógeno es el único que puede absorberse tanto en forma catiónica y aniónica.

Para que ocurra una absorción adecuada de nutrimentos además de los mecanismos fisiológicos que intervienen en el transporte de nutrimentos del suelo a la raíz, son importantes otros procesos relacionados con la forma en que los nutrientes se acercan a los diferentes puntos del suelo a la raíz. Existen tres tipos de movimientos de nutrientes en el suelo:

1. Intercepción. Las raíces al crecer en el espacio poroso del suelo ocuparán las zonas contiguas a los nutrimentos y estas podrán ser absorbidos sin ningún tipo de desplazamiento. La raíz llega hasta la fuente nutrimental.
2. Flujo de masas. El agua del suelo está en continuo movimiento y lleva nutrimentos disueltos en grandes cantidades. Cuando la planta absorbe agua para reemplazar a la pérdida en la transpiración, se produce también absorción de nutrimentos.
3. Difusión. Se refiere al movimiento de nutrimentos de una solución mayor a otra de menor concentración. La velocidad de difusión de los nutrimentos depende del coeficiente químico de difusión de cada elemento, la magnitud del gradiente, el contenido de agua en el suelo, la superficie de la raíz disponible, la textura, la tortuosidad y la viscosidad del medio.

⁸ (Rodríguez Suppo, 1982)

Tipos de fertilizantes

Un fertilizante es cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético, capaz de proporcionar a las plantas uno o más de los elementos químicos esenciales para su normal desarrollo.

De acuerdo con la FAO-IFA (2000), un fertilizante es cualquier material natural o sintético, que contiene al menos 5% de uno o más de los tres macronutrientes primarios y deben encontrarse en una forma química asimilable o disponible.

A continuación, se muestra que los fertilizantes, se pueden clasificar por su tipo de origen, estado físico y tipo de elementos nutritivos que contiene.

En la primera clasificación, su tipo de origen, se encuentran los fertilizantes inorgánicos, que no son de origen animal o vegetal y se clasifican en fertilizantes; naturales y sintéticos. Los fertilizantes naturales son aquellos que se encuentran en yacimientos, mientras que los sintéticos se producen por síntesis química, ambos tipos de fertilizantes están compuestos fundamentalmente por minerales.

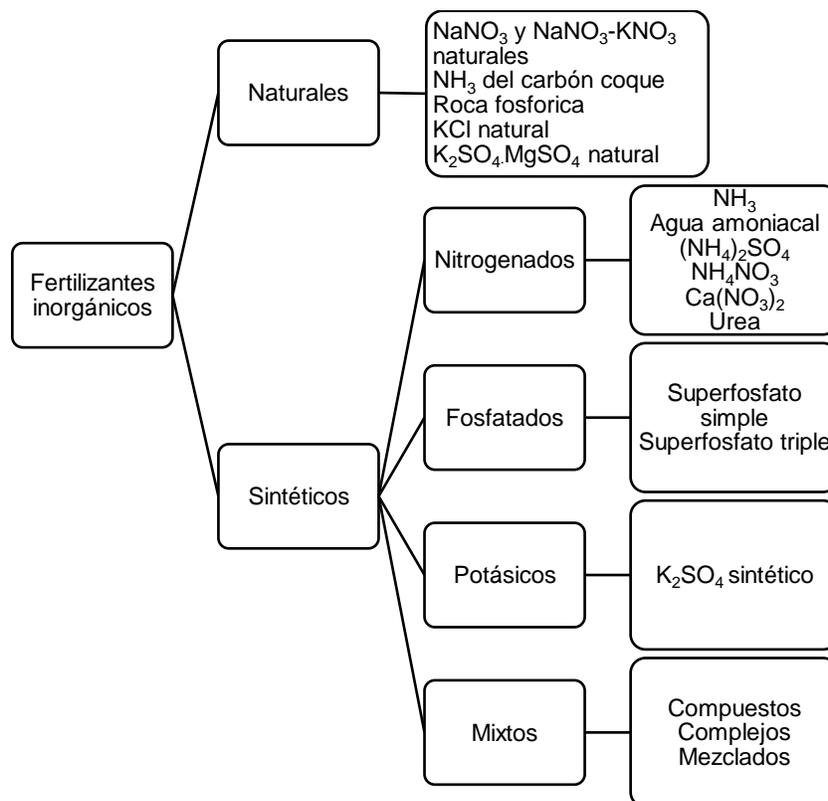


Ilustración 2. Clasificación de los fertilizantes químicos

Nota. Fuente: (Salgado García & Núñez Escobar, 2012)

Siguiendo con la clasificación por su origen también existen los fertilizantes de origen animal, vegetal o microbiano y son llamados fertilizantes orgánicos o biofertilizantes, que son una alternativa biotecnológica con capacidad para promover el crecimiento del desarrollo y la productividad de los cultivos.

Están definidos como: “preparados que contienen células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes fijadoras de nitrógeno, solubilizadoras de fósforo o potencializadoras de diversos nutrientes, que se utilizan para aplicar a las semillas o el suelo con el objetivo de incrementar el número de procesos microbianos en el medio para acelerar las cantidades de nutrientes que pueden ser asimilados por las plantas o se hagan más rápidos los procesos fisiológicos que influyen en el desarrollo y el rendimiento de los cultivos”⁹.

En la **Ilustración 2** se muestra un esquema de la clasificación de los fertilizantes químicos. A continuación, se enlistan los principales fertilizantes orgánicos o biofertilizantes.

- Abonos verdes
- Bioinoculantes
- Cenizas
- Carbón vegetal o biochar
- Estiércoles
- Compostas
- Lombricompostas
- Extractos húmicos
- Guanos

Los microorganismos del suelo juegan un papel dentro del manejo sostenible de los agrosistemas como se mencionó en el apartado *El ecosistema del suelo*, es por ello por lo que se ha originado un interés en la búsqueda y utilización de biofertilizantes o inoculantes microbianos para producción agrícola o forestal.

Por su estado físico los fertilizantes se dividen en:

- Sólidos: Son los más usados, pueden estar en forma de polvos, cristales, gránulos o compactados.
- Ultrasolubles: Fertilizantes de alta solubilidad, usados para gertirrigación por goteo o microaspersión.

⁹ (Dibut Alvarez, 2009)

- Líquidos: Pueden ser simples como las soluciones nitrogenadas y el agua amoniacal, o compuestos como las soluciones o suspensiones con dos o más elementos esenciales.
- Gaseosos: Sólo se utiliza el amoniaco anhidro. En su almacenaje se mantiene en forma líquida y cuando se aplica se gasifica.

Teniendo en consideración que los elementos nutritivos principales son el nitrógeno, fósforo y el potasio, los fertilizantes se clasifican en:

- Simples: contienen solo un macronutriente primario
- Compuesto: cuando en una sola molécula que tiene más de uno de los macronutrientes principales (N, P y K)
- Complejos: cuándo químicamente contienen dos o más macronutrientes primarios y son una mezcla de sales producto de reacciones químicas incluyendo como materias primas roca fosfórica, ácido sulfúrico y fosfórico, NH_3 y KCl.
- Mezclas físicas: normalmente se elaboran a base de fertilizantes sólidos de baja concentración como sulfato de amonio, superfosfato simple y KCl.

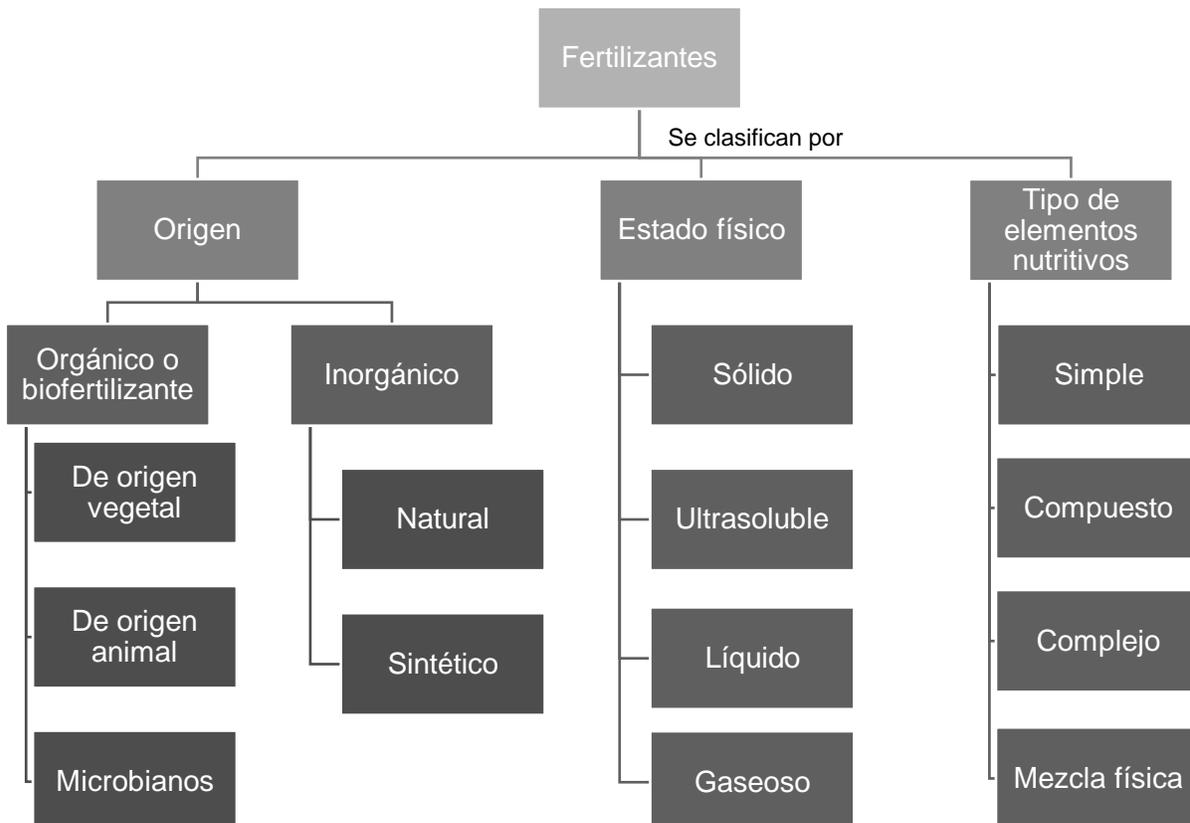


Ilustración 3. Clasificación de los fertilizantes

Nota. Elaboración propia

Cultivo de cítricos

Los cítricos son un conjunto de frutas que tienen un sabor que puede ser ácido o agrisado, pero que siempre son muy jugosas y aromáticas¹⁰.

Los cítricos se cultivan desde 0 m hasta 2,000 m sobre el nivel del mar, la temperatura oscila entre 17 y 30°, aunque logran mejor maduración del fruto en lo que respecta a la producción de azúcares y coloración de la corteza cuando se cultivan cerca de los 23°C.

Los cítricos se desarrollan bien en suelos que tengan una textura media de origen aluvial reciente, profundos y fértiles, con un buen contenido de materia orgánica; adicional a esto el pH óptimo debe estar entre 5.0 y 6.0. En lo que respecta a la profundidad, ésta no debe ser inferior a 1.50 m, con un buen drenaje interno y externo, y cuya capa freática, en épocas de máxima precipitación, no supere este nivel. La mayor cantidad de las raicillas está entre 0 y 50 cm de profundidad, allí hay mayor aeración, mejor humedad y mayor cantidad de sustancias nutricionales para el árbol.

En cuanto a precipitaciones, los cítricos requieren entre 1,000 y 1,200 mm al año y los más cultivados, por ejemplo, mandarina, naranja y limón requieren mayor cantidad de agua¹¹.

De la humedad relativa depende el cuajado (transición de flor a fruto) del fruto; si es moderada, el cuajado es adecuado; de otro lado, si hay descensos bruscos se presenta caída fisiológica del fruto en la primera parte de su desarrollo; asimismo, la humedad relativa alta favorece el ataque de plagas y enfermedades, pero también la piel de los cítricos es más delgada, suave, la calidad del jugo es mejor y mayor su cantidad. Además, una alta intensidad luminosa favorece el desarrollo de frutos con coloración más intensa.

El terreno donde se siembran los cítricos se adecúa de forma sencilla, para ello se acude a la labranza mínima, con lo cual se obtiene una cobertura vegetal permanente, en especial de leguminosas; éstas oxigenan el suelo, mejoran su estructura, fijan nitrógeno, aíslan las malezas y proporcionan materia orgánica.

¹⁰ (SAGARPA, s.f.)

¹¹ (Hogares Juveniles Campesinos, 2012)

También puede realizarse arada profunda y uno o dos pases de rastrillo cuando el suelo no está compactado; en caso de que así sea, el cultivo de cobertura vegetal, así como el subsolado, ayudarán a descompactarlo.

Con base en el análisis de suelos, se deben hacer correcciones de acidez del caso. En general, la distancia entre plantas y entre hileras se considera fija para cada especie, oscila entre 200 y 400 árboles/ha. El suelo para plantación de cítricos debe de contar con un drenaje adecuado desde el principio del cultivo, de otro modo puede presentarse pudrición de la raíz y poco crecimiento de la planta o muerte de esta.

Es importante saber que los cítricos son muy exigentes en nitrógeno, potasio y calcio; en menor proporción requieren fósforo, azufre y magnesio; y en cuanto a micronutrientes es necesario aportar cobre, manganeso, boro y zinc. Para producir un fruto, el árbol requiere en promedio 181 g de nitrógeno, 23 g de fósforo, 181 g de potasio y 135 g de magnesio.

Con respecto a la poda en cítricos consiste en suprimir algunas ramas de las plantas para lograr un equilibrio entre la parte aérea y la subterránea, y así obtener producciones elevadas y constantes, es decir, se pretende regular el crecimiento del árbol en función de la producción, de manera que el crecimiento vegetativo esté controlado, mientras la producción de frutos es abundante y uniforme.

Existen síntomas de desequilibrio de cada uno de los elementos mayores como:

Nitrógeno: Reducción del tamaño de los brotes nuevos, se tornan de color amarillo pálido o verde amarillento. El exceso induce un crecimiento exuberante, tejidos suculentos, frutos pequeños y de cáscara engrosada, menor cantidad de jugo y contenido de vitamina C, así como también mayor susceptibilidad a las enfermedades.

Fósforo: Las hojas adquieren un tono bronceado, de menor tamaño que el normal y áreas necróticas en los bordes extremos; se pierden las hojas en gran proporción, disminuye el crecimiento y se reduce la floración.

Potasio: Se producen hojas más pequeñas, deformes y enrolladas sobre sí mismas; se tornan de color amarillo oscuro.

Calcio: Desarrollo de raíz insuficiente clorosis en las hojas viejas y a lo largo de las nervaduras principales, desde el borde y hasta el centro de la hoja. Caída prematura de hojas; muerte de ramas; frutos deformes y pequeños y reducción general del crecimiento del árbol.

- Magnesio:** Con el déficit hay amarillamiento de las hojas más viejas entre nervaduras, desde el centro hasta la periferia; se acentúa la alternancia de producción, hay caída de hojas y los frutos tienen menor cantidad de vitamina C.
- Azufre:** La deficiencia de este elemento se evidencia con clorosis uniforme en las hojas nuevas, mientras que las viejas mantienen su coloración normal.
- Zinc:** Hay tonalidades amarillas entre las nervaduras de las hojas, mientras las nervaduras mayores y tejidos próximos a éstas se mantienen de color verde. Las brotaciones nuevas y las hojas reducen su tamaño y las producciones son menores, los frutos son poco jugosos y de cáscara lisa.
- Boro:** Las deficiencias inducen enrollamiento de las ramas, las hojas nuevas se tornan color café, se marchitan y caen con facilidad. Las nervaduras de las hojas se engrosan, se vuelven cloróticas y se agrietan. Los frutos son pequeños y deformes.
- Cobre:** Hay hojas oscuras de gran tamaño, brotes blandos y en forma de S. Si la deficiencia es severa, los injertos no prenden, las hojas son pequeñas y caen con rapidez; los frutos son de color verde claro, la cáscara es fina y se revienta con facilidad.
- Manganeso:** Su deficiencia se evidencia con clorosis entre las nervaduras de las hojas, menos marcada que la del zinc y con hojas de tamaño normal.
- Molibdeno:** Hay manchas circulares de grande color amarillo entre las nervaduras de las hojas, las cuales también presentan bajos niveles de calcio y magnesio, pero potasio alto.
- Hierro:** Las hojas nuevas se ven pálidas y con el tiempo se observa una red verde de nervaduras sobre un fondo amarillo verdoso o pálido.

Algunas de las plagas de las que se encuentran con mayor frecuencia son: minador de las hojas (*Phyllocnistis citrella* Stainon), ácaros de la leprosis (*Brevipalpus phoenisis*), ácaro del tostado o tostador de naranja (*Phyllocoptruta oleivora*), piojo rojo de California o cochinilla roja australiana (*Aonidiella aurantii* y *Chrysomphalus dictiospermi* Morgan), mosca del mediterráneo (*Ceratitis capitata*), mosca americana (*Anastrepha* spp.), trips (*Frankliniella insulana*), pulgones o áfidos (*Toxoptera citricidus* B de F, *Aphis gossypii* Glover, *Aphis spiraecola* Patech, *Aphis craccivora* Kock).

Y respecto a las enfermedades más comunes se encuentran: gomosis o pudrición del pie causada por hongos (*phytophthora parasitica* Dastur, *P. cytophthora* y *Diplodia natalensis* Pole-Evens), antracnosis (*collectotrichum gloesporoides*), verrugosis del naranjo dulce (*sphaceloma australis*), fieltro provocado por el hongo (*septobasidium pseudopedicellatum*), clorosis variegada de los cítricos (*xylella fastidiosa*), cancrrosis (*xanthomona axonopolis* pv. *Citri*), tristeza de los cítricos (*citrus* tristeza virus), psorosis (*citrus psorosis*), encrespamiento de hojas, exocortis y caquexia o xiloporosis.

Biocarbón en el suelo

El biocarbón es un material sólido carbonoso poroso producido por la conversión termoquímica de materiales orgánicos en un ambiente carente de oxígeno, el cual tiene propiedades fisicoquímicas aptas para el almacenamiento seguro y largo plazo de carbono en un medio natural y potencialmente mejora la fertilidad en los suelos.

En términos más técnicos el biocarbón o biochar es producido por descomposición térmica de material orgánico limitado de oxígeno (O₂) y relativamente a bajas temperaturas (<700°C) y puede ser producido a través de tecnologías de pirolisis (similar a la gasificación) en un proceso de sistema pirolisis biocarbón. Diversas técnicas de carbonización son posibles y varían en función del tiempo de exposición al calor y a la presión, dependiendo de la variedad de equipos y materias primas.

El biocarbón estabiliza el carbono en el material carbonizado, reduciendo de este modo las emisiones directas de carbono a la atmósfera. El biocarbón también puede funcionar como un potenciador de los suelos al retener nutrientes de estos. En algunos contextos, el biocarbón tiene el potencial de incrementar la fertilidad del suelo, mientras que su proceso de producción reduce los desechos de agricultura y otras industrias y produce energía renovable.

El carbono en el biocarbón es almacenado en una forma química altamente recalcitrante. Un estudio reciente desarrolló una herramienta para evaluar el potencial de secuestro de carbono a lo largo plazo del biocarbón y con esta identificó que el carbono que es estable en varias muestras de biocarbón oscila entre 42-76% del total del carbono orgánico. Esta estabilidad del carbono a largo plazo es que hace del biocarbón una opción para la mitigación global del cambio climático.

Además de su retención a largo plazo del carbono, la adición de biocarbón a suelos ha demostrado la mejora de los cultivos. Los beneficios potenciales para suelo son:

- pH, retención de nutrientes minerales y carbono inestable: los constituyentes minerales del biocarbón (contenido de cenizas, incluyendo N, P, K y oligoelementos) y su pH típicamente alcalino, podrían proporcionar importantes beneficios agronómicos en muchos suelos, al menos en el corto y mediano plazo, periodo durante el cual todas las fracciones inestables de carbono orgánico podrían ser también importantes.
- Retención de agua: la adición de biocarbón en suelos de pobre calidad, arenosos o limosos ha demostrado potenciar el rendimiento de los cultivos. Esto probablemente resulta en parte, a la retención mejorada de agua por materiales, relativamente porosos.
- Impactos a largo plazo en la ecología del suelo: una combinación de propiedades físicas y químicas podrían ser fundamentalmente alterada como es el caso del cambio sostenido en los resultados de comunidades microbianas con patrones potencialmente más eficientes de utilización de carbono y el ciclo de nutrientes¹².

Las características físicas del biocarbón no solo depende de la composición de la materia orgánica sino también del proceso térmico que se empleó y la temperatura final. Este rendimiento disminuye rápidamente con el aumento de la temperatura y la velocidad de calentamiento de la biomasa, al favorecerse la generación de gases y la formación de un carbón muy reactivo, de alta porosidad. En condiciones de alto calentamiento se ha comprobado, además, que se produce un incremento en la formación de alquitrán.

¹² (Hammond, Shackley, Sohi, & Brownsort, 2011)

Capítulo IV - Justificación

En 2015, se realizó la *Cumbre del Desarrollo Sostenible* por la Organización de las Naciones Unidas en el cual se aprobó la Agenda 2030, la cual contiene los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible que tienen como finalidad erradicar la pobreza, mejorar las condiciones de vida de la población, lograr la rápida transición a una economía baja en emisiones de carbono y resiliente al cambio climático y si se implementan conjuntamente pueden promover la prosperidad y seguridad de las generaciones presentes y futuras.

Aquí se ha definido el desarrollo sostenible como el desarrollo capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades.

Es por eso, que el presente proyecto ingenieril no solo busca un beneficio económico, sino estar en el marco de los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (Véase **Apéndice II**. Objetivos de Desarrollo Sostenible), y contribuir principalmente en los siguientes objetivos: Objetivo 11 Ciudades y comunidades sostenibles, Objetivo 13 Acción por el Clima y Objetivo 15 Vida de Ecosistemas Terrestres.



Ilustración 4. Logotipo de los Objetivos del Desarrollo Sostenible.

Capítulo V - Situación actual de los mercados de fertilizantes y cítricos en México

La situación actual del mercado nos dará un preámbulo sobre el comportamiento de un producto dentro del mercado y nos permitirá dimensionar la cantidad de producto a fabricar. En este proyecto, la situación actual del mercado está dirigida específicamente para el mercado de biofertilizantes para cultivos cítricos, que son limón, naranja y toronja, según la Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 elaborado por la SAGARPA.

El incremento en la práctica de la agricultura orgánica, la necesidad de mejorar la mayoría orgánica del suelo y una estructura favorable son de los principales factores que impulsan a el mercado del biofertilizante. Las limitaciones de este mercado es la baja vida útil de los microorganismos, la baja eficacia del producto en condiciones desfavorables y la alta demanda de fertilizantes sintéticos.¹³.

El aumento de las practicas orgánicas y amigables con el medio ambiente ha provocado el aumento en la demanda de productos de biofertilizantes, especialmente en Estados Unidos y Canadá. Aún siguen siendo mercados en la taxonomía de biofertilizante Canadá y México, como países de América del Norte. América del Norte se perfila como el mayor mercado para los biofertilizantes y representó alrededor del 28% de la participación en el mercado mundial en 2017.

Las ventajas del uso de los biofertilizantes llevan a su aplicabilidad, también la mayor adopción y uso de los biofertilizantes en la agricultura sostenible.

Sin embargo, en México se tiene poco monitoreo del uso de los biofertilizantes en las tierras de cultivo y por otro lado se tiene un monitoreo constante del uso de los fertilizantes inorgánicos y abonos naturales. Se muestra a continuación las tecnologías agrícolas utilizadas en fertilización, según los resultados mostrados por la *Encuesta Nacional Agropecuaria* de los años 2012, 2014 y 2017 así como datos del *Censo Nacional Agrícola, Ganadero y Forestal 2007* en la **Ilustración 5**.

¹³ (Mordor Intelligence, s.f.)

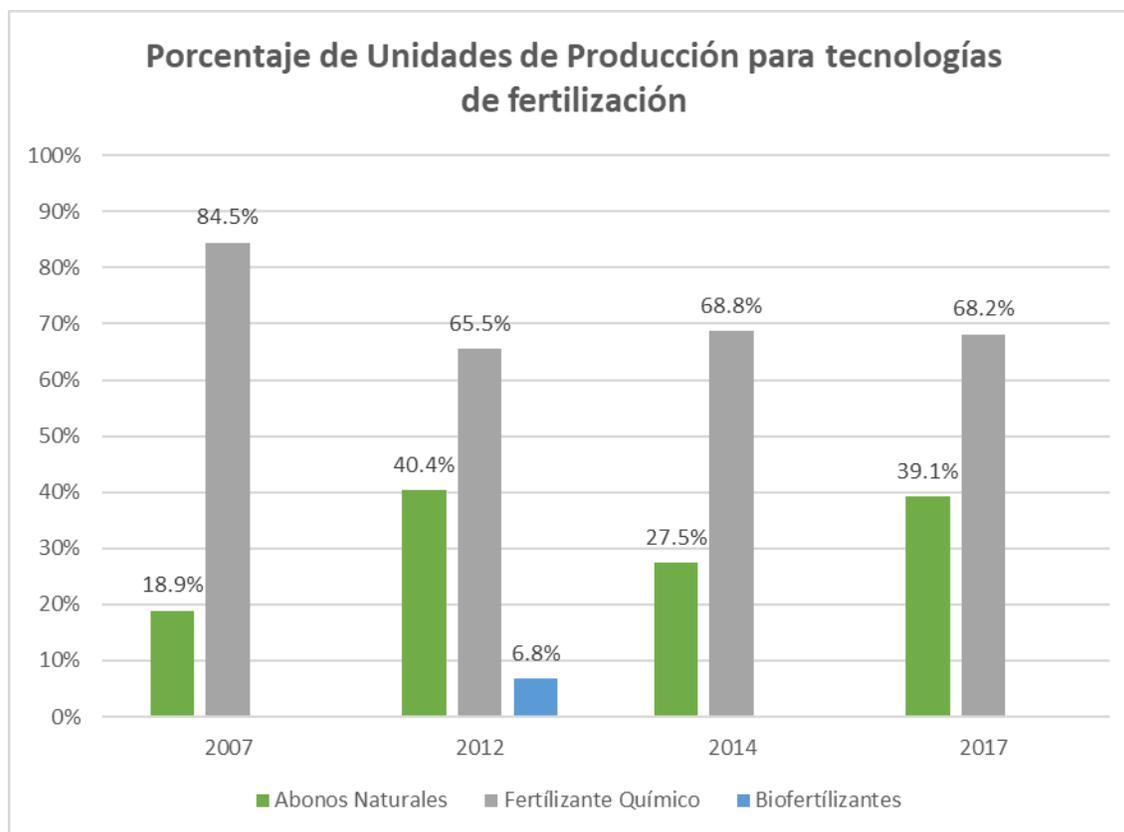


Ilustración 5. Porcentaje de Unidades de Producción para tecnologías de fertilización

Nota. La suma de los parciales es diferente al 100% debido a que una unidad de producción puede declarar más de una tecnología. Fuente: Elaboración propia por recopilación de datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística e Informática.

Los datos anteriores muestran una disminución en los fertilizantes del año 2007 al año 2017, permaneciendo estables en los años 2014 y 2017. Además, se ha incrementado el uso de abonos naturales, definido por INEGI como “*Materia orgánica de origen animal o vegetal que se incorpora al suelo con el fin de aumentar su fertilidad, mejorar la textura, y favorecer el crecimiento de plantas, ejemplo: estiércol, composta, abonos verdes, entre otros.*”, y la definición anterior también se clasificaría como un fertilizante orgánico o biofertilizante, pero INEGI realiza una distinción entre ambos.

El uso de biofertilizantes reportado solamente en el año 2012 refleja que se ha consumido alrededor de 7% y los reportes mundiales indican que va en incremento. Lo que se espera en los próximos años en México es que exista un aumento en su uso.

El producto que se quiere ofertar está dirigido para el mercado de cítricos y enseguida se muestra el comportamiento del mercado de limón, naranja y toronja en México.

El comportamiento del mercado de limón en México se muestra a continuación en la **Ilustración 6**.

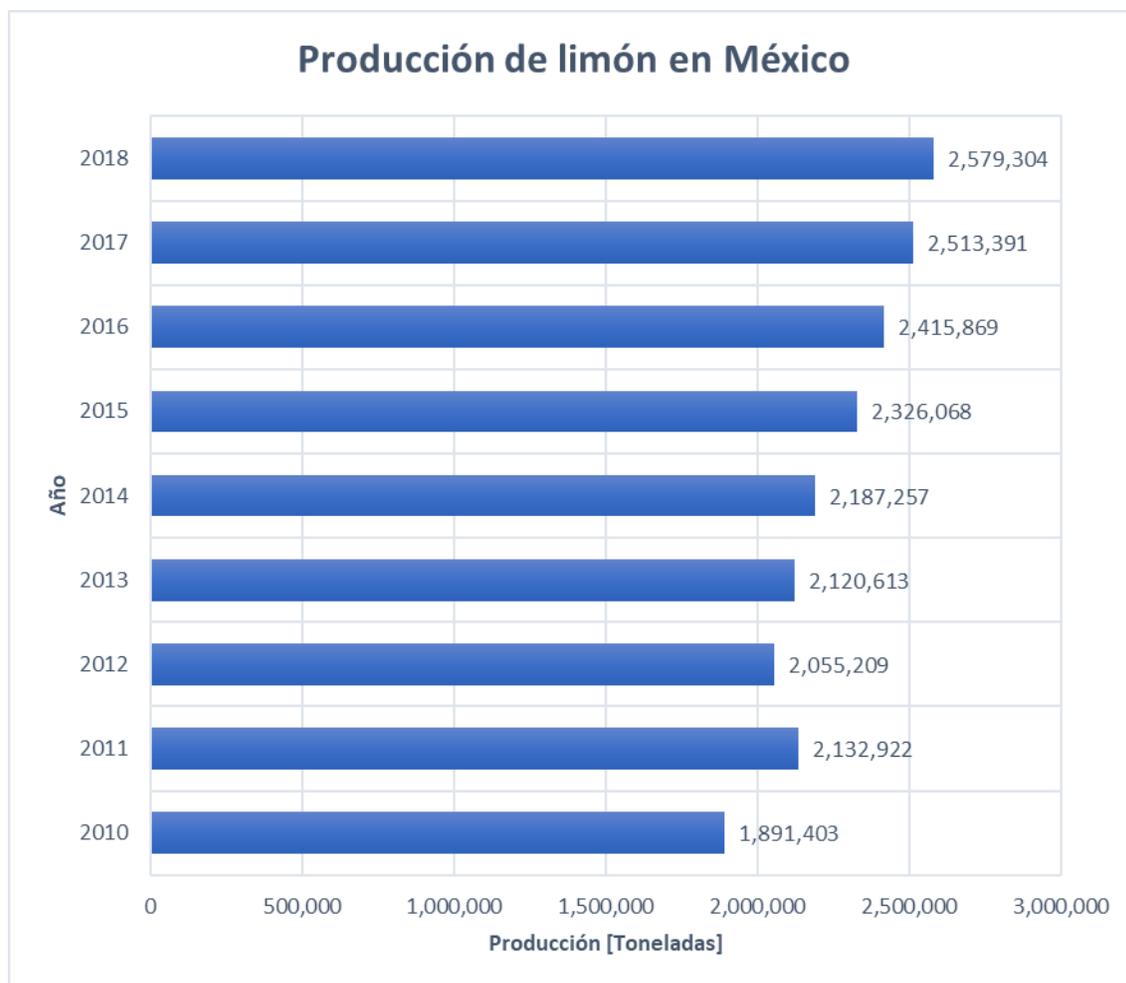


Ilustración 6. Producción de limón en México

Nota. Elaboración propia por recopilación de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

De acuerdo al cuadernillo de *Cítricos, limón, naranja y toronja mexicanos* realizado para la investigación de la Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 elaborado por la SAGARPA, indica que actualmente los requerimientos nacionales se satisfacen por completo con producción interna y las exportaciones han aumentado en la última

década en un 54.76% principalmente a Estados Unidos, Países Bajos y Reino Unido, siendo de 609.42, 31.65 y 11.81 megatoneladas respectivamente en 2017, posicionando a México como el segundo productor líder mundial de exportación de limón.

Se estima que, en el año 2030, aumente la demanda mundial y nacional de consumo de limón, de un crecimiento acumulado de 24% y 23.37% respectivamente.

Se muestran los datos registrados de producción de naranja en México obtenidos desde los años 2010 al 2018 en la **Ilustración 7**.

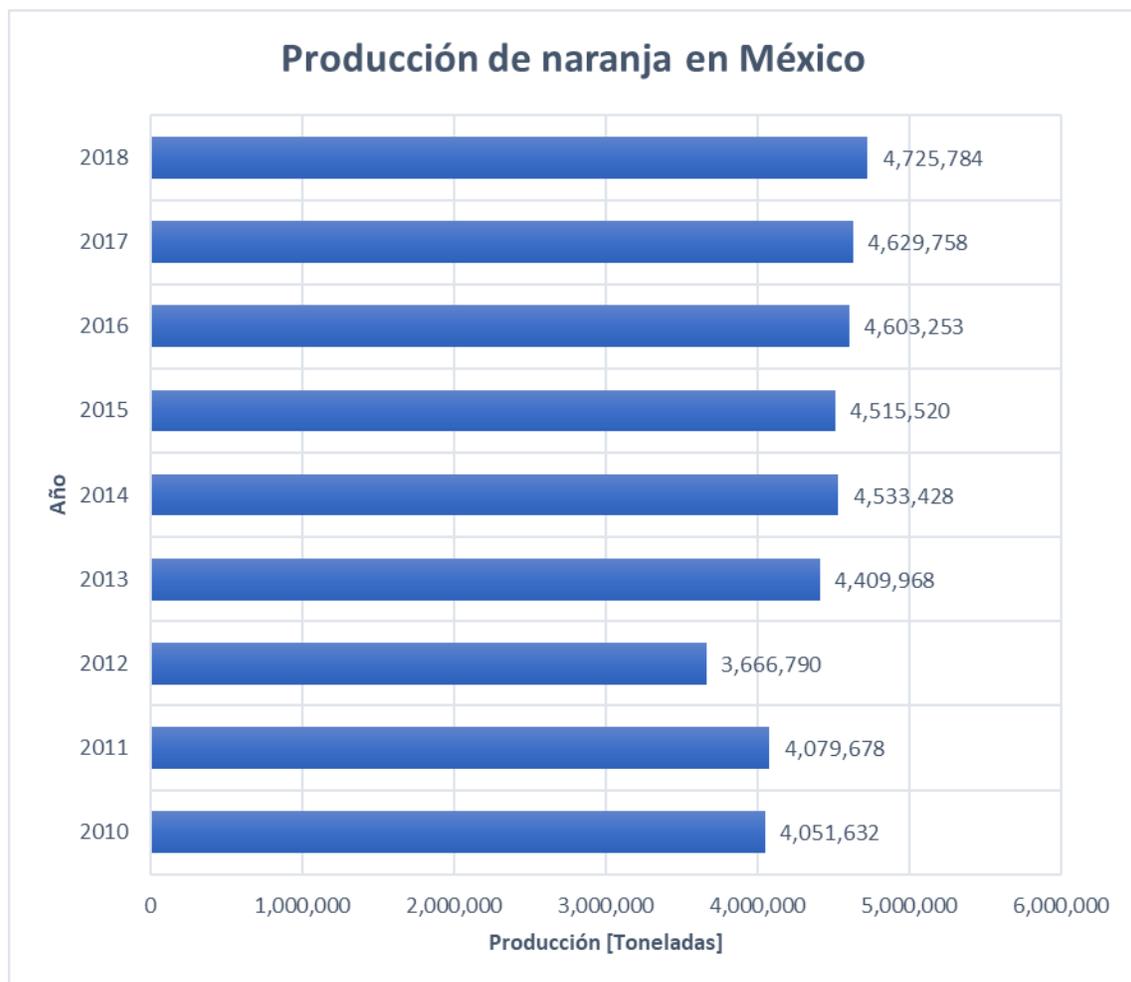


Ilustración 7. Producción de naranja en México

Nota. Elaboración propia por recopilación de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

Los requerimientos nacionales de naranja se satisfacen en un 100% con producción interna y ha existido aumento en las importaciones mundiales en los últimos diez años en un 28.25% con principal destino a Estados Unidos, Reino Unido y Países Bajos resultando 47.6, 5.4 y 2.1 megatoneladas respectivamente en el año 2017¹⁴.

Para el año 2030 se estima un aumento en la demanda mundial de un crecimiento acumulado de 13.80%, mientras que la producción nacional de naranja tiene la capacidad de incrementarse en un 86.66% del crecimiento acumulado.

Por último, en la **Ilustración 8**, se presentan los datos de la producción de toronja en México.



Ilustración 8. Producción de toronja en México

Nota. Elaboración propia por recopilación de datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.

¹⁴ (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017)

Los requerimientos nacionales se satisfacen en su totalidad con la producción interna, por otro lado, las importaciones mundiales han aumentado en 14.01% en los últimos diez años, con destino principal a Francia, Estados Unidos y Japón, exportando 10.4, 3.5 y 2.6 Mt respectivamente en el año 2017¹⁵.

Se estima un aumento en la demanda mundial con un crecimiento acumulado del 4.74%, añadiendo la producción nacional de toronja tiene la capacidad de incrementarse un 42.82% con un crecimiento acumulado.

¹⁵ (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017)

Capítulo VI - Tecnologías disponibles

Las tecnologías disponibles para biofertilizantes (Industria y Comercio Superintendencia, 2014) mostradas en el boletín mencionado son compost, microorganismos, abono, subproductos vegetales y subproductos animales, el orden en que se mencionan muestra su impacto industrial y además se ilustra alguna invención destacada de cada tecnología, donde el autor lo clasifica así debido a la consideración de los expertos y de acuerdo con algunos indicadores analíticos.

Composta

Es el resultado de un proceso controlado de descomposición de residuos orgánicos, los desechos más recurrentes en su composición son de origen vegetal y animal. El compost se caracteriza por su riqueza química y biológica, lo cual permite su aplicación para el mejoramiento de los componentes de los suelos agrícolas. En la **Tabla 3** se muestra un ejemplo de tecnología de compost.

Características:

- Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos para la elaboración de composta orientado hacia la fertilización.
- Mejoramiento de los métodos de obtención simples, seguros y amigables con el ambiente, así como optimización del tiempo de procesamiento y los aparatos implicados en la técnica.
- Uso procesos agrícolas y ganaderos como frutas, hortalizas, pastos, ornamentales de jardín y flores.
- Obtención de composta con la ayuda de microorganismos invertebrados que mejoran las condiciones del producto y ahorran pasos, como la incineración en el tratamiento de residuos.

Tabla 3. Ejemplo de tecnología de compost
(España Patente nº ES2083617, 1992)

Número de publicación:	ES2083617
Título:	Tratamiento de mezclas de materias, en particular de desechos biológicos, húmedos, residuales e industriales, para la fermentación anaerobia de los componentes biógeno-orgánicos contenidos en ellas
Solicitante:	Recycling Energie Abfall (Alemania)
Contenido técnico:	Técnica para elaborar un material semejante al compost, que se obtiene triturando y procesando residuos húmedos e industriales por fermentación anaeróbica. Los productos finales son biogás y un compuesto semejante al compost.

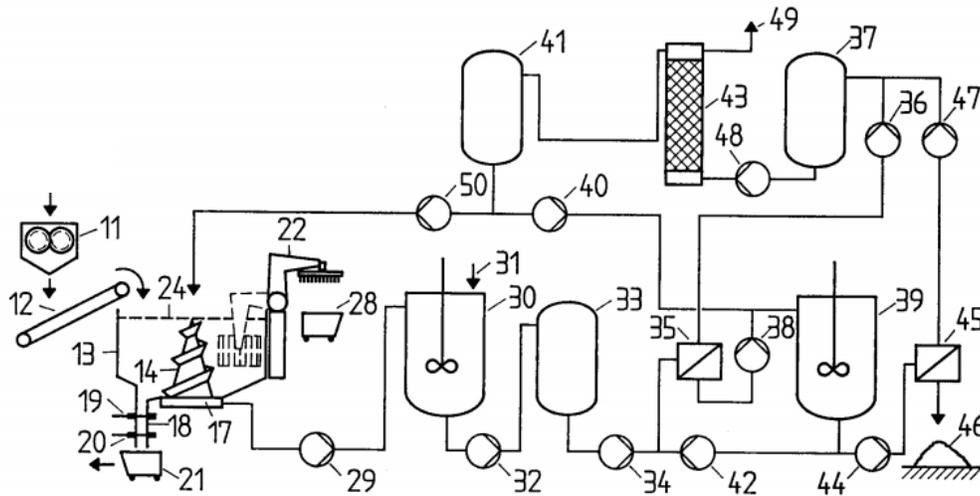


Fig. 2

Nota. Fuente: (Industria y Comercio Superintendencia, 2014)

Microorganismos

Los microorganismos cumplen funciones de descomposición, solubilización de nutrientes y estimulación del crecimiento de las raíces; por eso son unos excelentes fertilizantes biológicos y una alternativa tecnológica primordial para el desarrollo de nuevas soluciones. Para aplicaciones agrícolas los más utilizados son las bacterias, los hongos, las algas y los actinomicetos.

También son componentes promisorios para complementar la nutrición de las plantas, dado que optimizan los nutrientes, resultan una herramienta excelente para el manejo integrado, pues garantizan la sostenibilidad de la producción agrícola.

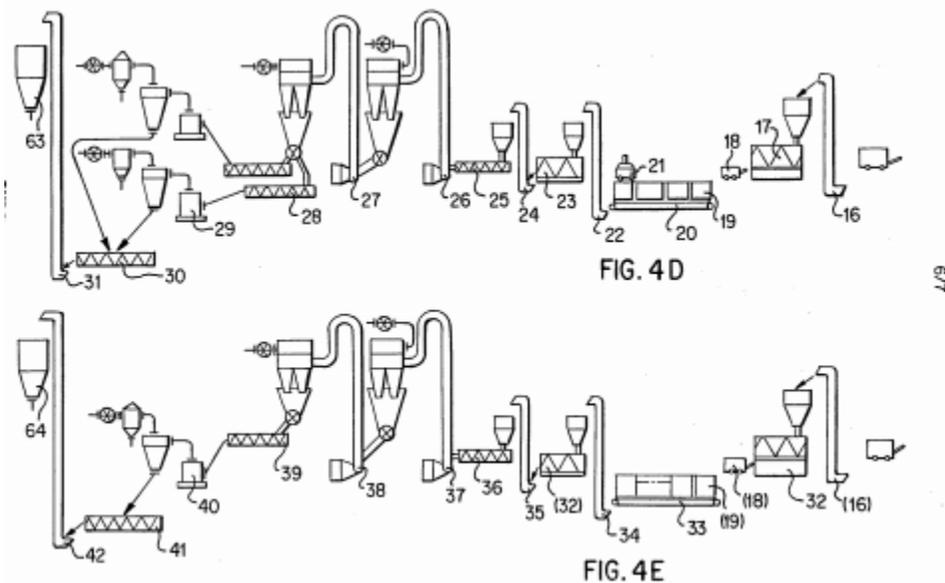
Características:

- La mayor cantidad radica en los biofertilizantes a base de inoculantes microbianos y los más usados en las composiciones son bacterias de los géneros *Bacillus*, *Azotobacter*, *Pseudomonas* y *Azospirillum*; en cuanto a los actinomicetos se encuentran los *Streptomyces*.
- Muchas de las invenciones están enfocadas al medio de cultivo en que se propagan los microorganismos.
- La tecnología puede aplicar agentes microbianos como controladores biológicos para tratar hongos patógenos y plagas del suelo.
- Los métodos de fabricación y utilización de los bioinoculantes presentes en las invenciones son de bajo costo, efectivos, amigables con el medio ambiente.
- Se puede implementar en cultivos de arroz, tomate, papa, ornamentales, flores, pastos y hortalizas.

A continuación, en la **Tabla 4** se muestra un ejemplo de tecnología de microorganismos.

Tabla 4. Ejemplo de tecnología de microorganismos
(Estados Unidos Patente nº WO1995004814, 1994)

Número de publicación:	WO9504814
Título:	Fertilizante microbiano recombinante y métodos para su producción
Solicitante:	International Tib Research Institute Inc. (Estados Unidos)
Contenido técnico:	Formulación a partir de una mezcla de microorganismos como bacterias y actinomicetos, que producen nitrógeno, fósforo y potasio, para evitar el lavado por riegos. Si bien está concebida para usarse en cereales, frutas, vegetales y pastos,



Nota. Fuente: (Industria y Comercio Superintendencia, 2014)

Abono

Los abonos son enmiendas para suelos agrícolas que buscan mejorar sus propiedades químicas y suministrarles a los cultivos los elementos minerales para su nutrición.

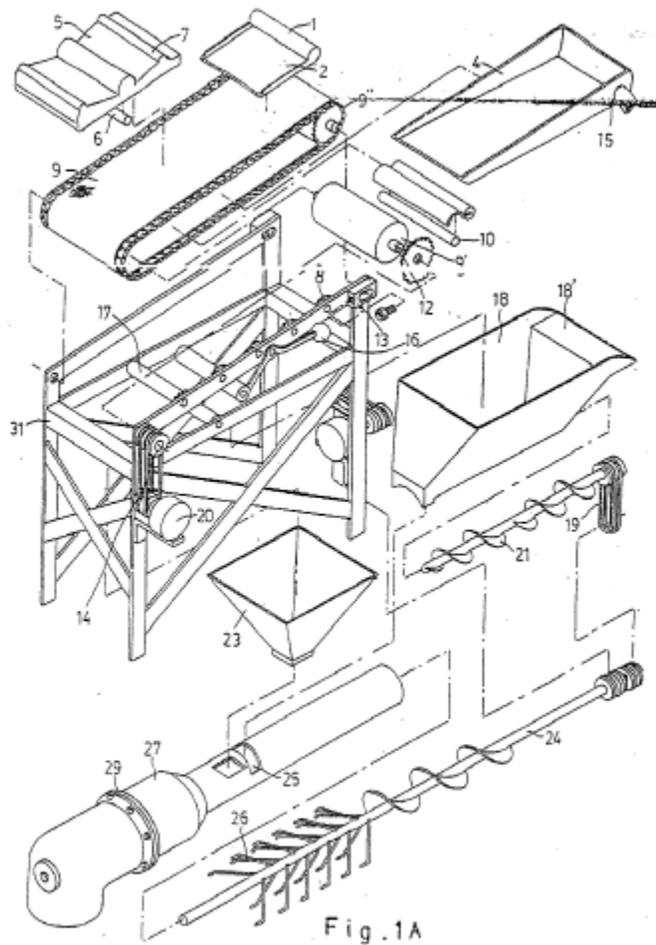
Características:

- Se utiliza estiércol líquido para fabricar biofertilizantes.
- Se utiliza agua como acondicionador, solvente e hidratante para partículas fibrosas.
- Se obtiene abono a partir de material orgánico, como fibras o pajas.
- Este tipo de biofertilizantes permiten eliminar olores y reducir fosforo soluble, los requerimientos de nitrógeno, el crecimiento de algas y la contaminación ambiental.
- Costo de producción bajo y tiempo de obtención breve.
- Se pueden emplear en cultivos de café, arroz, ornamentales y pastos.
- El control de plagas y la alimentación animal son otras aplicaciones del desarrollo.

En la **Tabla 5** mostrada a continuación, se da un ejemplo de tecnología de abono.

Tabla 5. Ejemplo de tecnología de abono
(Oficina Europea de Patentes (OEP) Patente nº EP0629598, 1993)

Número de publicación:	EP0629598
Título:	Aparato para transformar excrementos de animales en abonos orgánicos
Solicitante:	Dao-Pin Chang (Tailandia)
Contenido técnico:	El aparato transforma el desecho animal producido durante actividades de cría en materiales útiles tales como abono y/o fertilizantes orgánicos para mitigar de este modo los problemas de contaminación asociados con dichas actividades de cría.



Nota. Fuente: Elaboración propia por recopilación de datos de (Oficina Europea de Patentes (OEP) Patente nº EP0629598, 1993)

Subproductos vegetales

Son residuos que deja el procesamiento industrial de plantas a los cuales se les busca nuevas aplicaciones para su aprovechamiento. Cabe recordar que en términos industriales todos los residuos generados en un proceso productivo deberían aprovecharse como materia prima para otros procesos. Los biofertilizantes de esta categoría se pueden obtener a través del procesamiento de fibras, residuos vegetales.

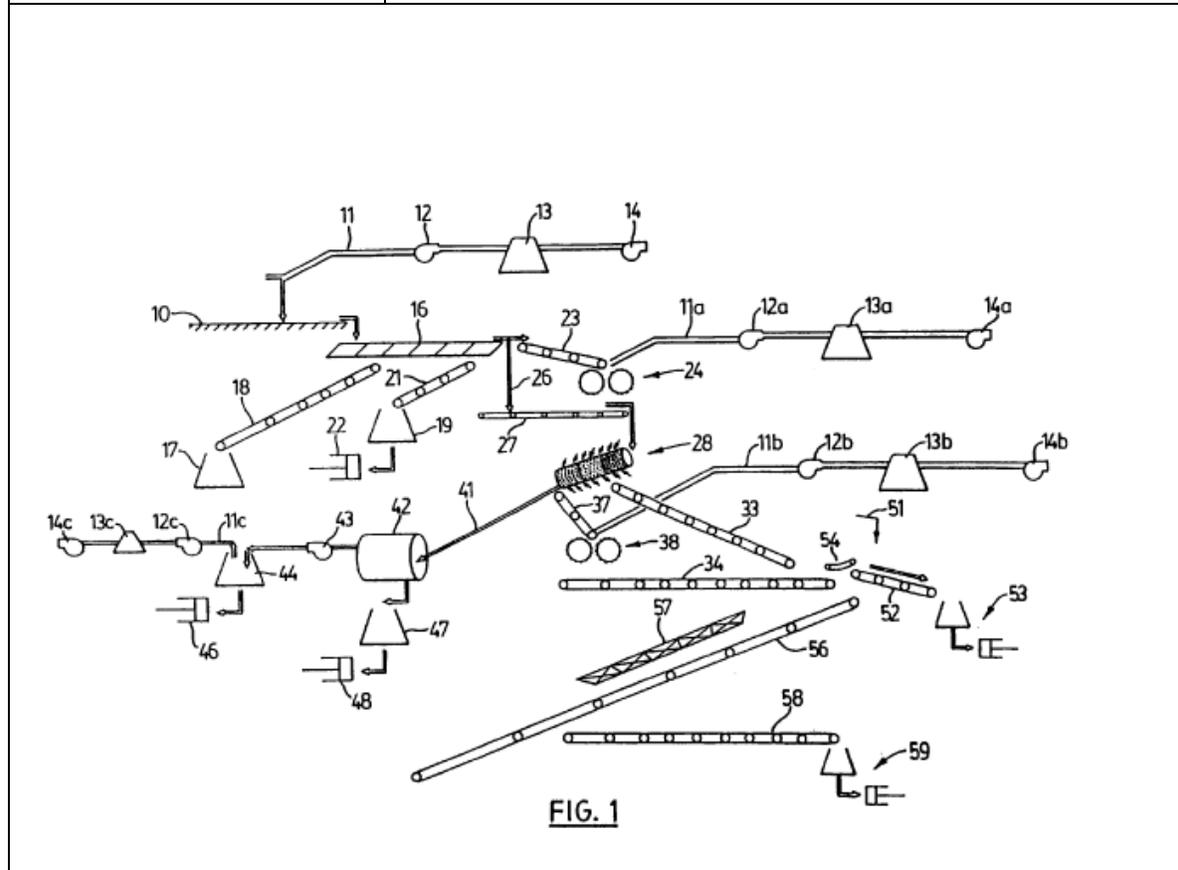
Su uso y resultados han demostrado que pueden reemplazar la aplicación de fertilizantes minerales. Los biofertilizantes vegetales se caracterizan por sus notables aportes de nitrógeno, fósforo, potasio y materia orgánica. En la **Tabla 6** se puede observar un ejemplo de tecnología de subproductos vegetales.

Características:

- Como novedad, aprovechamiento de los lodos de aguas residuales para la elaboración de biofertilizantes.
- Uso de subproductos provenientes de la elaboración de alimentos, la ganadería, el estiércol y los desechos industriales para fabricar biofertilizantes.
- Los desarrollos tecnológicos de subproductos vegetales reducen costos y tiempo, además como ventaja tienen el equipo para el tratamiento de los subproductos.

Tabla 6. Ejemplo de tecnología de subproductos vegetales
(España Patente nº ES2165529, 1995)

Número de publicación:	ES2165529
Título:	Aparato y método de reciclaje y conversión de residuos
Solicitante:	Eastern Power Ltd. (Canadá)
Contenido técnico:	Equipo para clasificar los residuos sólidos municipales que permite el aprovechamiento de todos los desechos recolectados. Incluye la digestión anaeróbica de los desperdicios, que los convierte en partículas de tamaño reducido y baja densidad. El producto final puede ser utilizado en fertilización.



Nota. (Modificada), fuente: (Industria y Comercio Superintendencia, 2014) y (España Patente nº ES2165529, 1995)

Subproductos animales

Corresponden a los subproductos animales de derivados industriales de su procesamiento, el cual abarca tejidos duros, como huesos, cuernos, uñas, pelo y otros ricos en proteínas fibrosas derivadas del colágeno y la queratina.

Características:

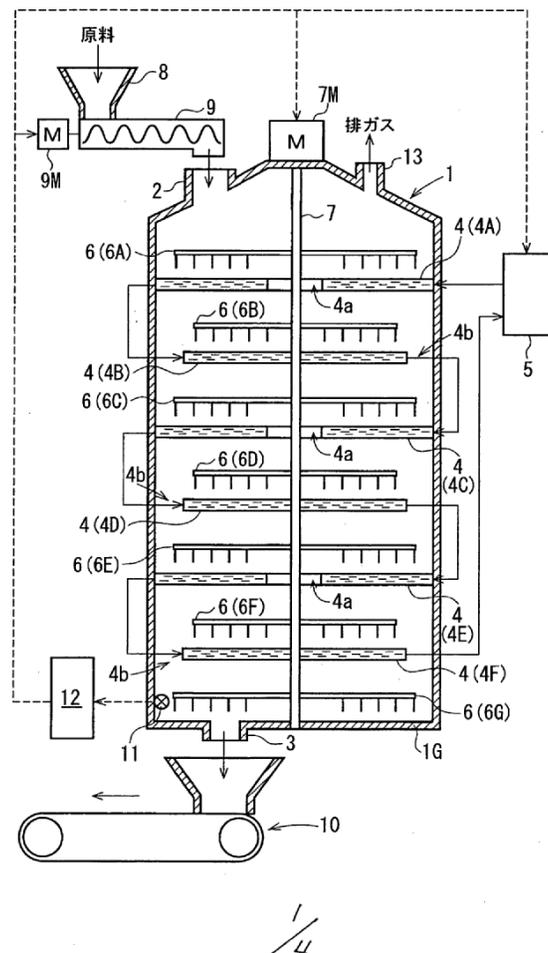
- El material más usado para la fabricación de biofertilizantes corresponde a residuos del procesamiento de animales o desechos de su cría.
- Una novedad es el uso de componentes minerales mezclados con los residuos de origen animal.
- Inclusión de estiércol líquido se cuenta como componente innovador.
- Se encuentran métodos sencillos de fabricación, los bajos costos y la tecnología de liberación de su contenido.
- Son biodegradables.

En la siguiente página se ejemplifica la tecnología de subproductos animales en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Ejemplo de tecnología de subproductos animales
(Australia Patente nº AU2003261842, 2003)

Número de publicación:	AU2003261842
Título:	Aparato y método para producir una sustancia similar a una composta madurada.
Solicitante:	Kurita Water Industries Ltd.
Contenido técnico:	La presente invención se refiere a un aparato y a un método para producir un producto inodoro como abono madurado en un corto período de tiempo a partir de residuos orgánicos tales como fangos biológicamente tratados y residuos de animales.

Fig.1



Nota. Fuente: (Industria y Comercio Superintendencia, 2014)

Evaluación tecnológica

Cómo se indica en el Capítulo II - una de las tres esferas esenciales para la mitigación del cambio climático es el incremento de la captación de carbono atmosférico y la reducción de emisiones en los sectores primarios, la cual tiene como consecuencia la recuperación y la rehabilitación de los suelos, estabilizándolos, almacenando nutrientes y agua, además de la mejora en la función de amortiguación. Añadiendo que la gestión adecuada de la fertilización podría reducir las emisiones de óxido nitroso.

El secuestro de carbono en suelo será un primer criterio de selección para poder evaluar las tecnologías mostradas para biofertilización que son compost, microorganismos, abono, subproductos vegetales y subproductos animales.

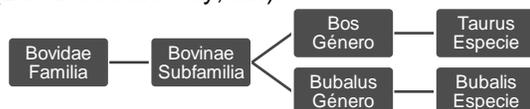
En el estudio *Mixing of biochar with organic amendments reduces carbon removal after field exposure under tropical conditions*¹⁶, se evaluó la descomposición de tres enmiendas de suelo orgánicas que fueron estiércol de búfalo, composta y vermicompost de estiércol de búfalo, mezclada y sin mezclar con biochar en condiciones de clima tropical durante un año.

De acuerdo con los resultados de dicho estudio, por sí solas, las enmiendas mencionadas, tuvieron un porcentaje mayor de carbono orgánico removido del suelo, oscilando entre 50-60%, a comparación del biochar que fue alrededor de 40% al finalizar el experimento. En ese estudio se indica que el 97% del carbono contenido en el biochar no es directamente biodisponible y contribuye al secuestro de carbono de larga duración en suelos.

Debido a que el búfalo pertenece a la subfamilia de los bovinos, los resultados del estudio mencionado anteriormente podrían ser reproducibles con enmiendas de los bovinos más domesticados en México, como lo son la vaca (femenino) o toro (masculino), esto según su clasificación taxonómica¹⁷ porque las enmiendas poseerían características similares.

¹⁶ (Ngo, y otros, 2016)

¹⁷ (Bucknell University, s.f.):



Por lo anterior, se descartan como tecnologías disponibles compost, abono y subproductos animales.

Tabla 8. Tecnologías disponibles y su relación con el secuestro de carbono.

Tecnología	Secuestro de carbono en suelo
Compost	-
Microorganismos	+
Abono	-
Subproductos vegetales	+
Subproductos animales	-
+ = Positivo o favorable - = Negativo o desfavorable	

Nota. Elaboración propia

Finalmente, se obtienen dos tecnologías a evaluar tanto sus ventajas como desventajas, la cual se realiza a través del método matricial.

El método matricial es utilizando en la evaluación de tecnologías y radica en asignar a los distintos aspectos de la evaluación un valor que manifiesta su importancia en cada uno de los factores de la evaluación para su posterior determinar la calificación final como el promedio ponderado por la suma de los productos parciales.¹⁸

Esta evaluación de las tecnologías de este proyecto se presenta en el **Apéndice III. Evaluación tecnológica.**

¹⁸ (Anaya Durand, Barragán Acevedo, & Vergara Vega, 2013)

Capítulo VII - Localización de la planta

En el *Capítulo V - Situación actual de los mercados de fertilizantes y cítricos en México*, se indicó que México es el líder mundial de exportación de limón, por lo anterior la localización de la planta estará basada en el mercado de limón.

Según la investigación de la Planeación Agrícola Nacional 2017-2030 realizada por SAGARPA, en México se han clasificado 26 Regiones Potenciales (véase **Ilustración 9**), que son áreas históricamente productoras más áreas con nivel alto y/o medio de potencial productivo. A continuación, se presenta un mapa de las regiones potenciales del país.

REGIÓN POTENCIAL



Ilustración 9. Regiones Potenciales de limón

Fuente: (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017)

Además, se clasifican 25 Regiones Estratégicas que son áreas productoras en el año 2016 las cuales se implementa la estrategia de "Maximizar", mencionado en Planeación Agrícola Nacional 2017-2030, que consta de los siguientes puntos:

- Crear un sistema de mercado
- Elaborar un estudio de competitividad de la industria para la planeación de la producción dirigida a mercados meta específicos, diversificación de

productos, así como información sobre infraestructura industrial y capacidad instalada.

- Elaborar un plan de investigación y transferencia de tecnología nacional, acompañado de un programa de inducción y desarrollo de capacidades para los agentes productivos.
- Impulsar la certificación en todos los eslabones de producción.
- Consolidar el programa nacional contra el HLB.
- Establecer un programa de nutrición integral para la conservación del suelo.

La **Ilustración 10** caracteriza las 25 Regiones Estratégicas de limón en México por tipo de región productora, ya sea histórica o con potencial, la superficie de terreno con potencial, superficie cosechada, la participación de cada región en la producción nacional, el rendimiento promedio y precio medio rural. Para ver la distribución de las Regiones Estratégicas la **Ilustración 11** brinda esta información en un mapa.

CARACTERIZACIÓN DE LAS REGIONES ESTRATÉGICAS

REGIÓN	Tipo de región (productora)	Frontera agrícola (ha)	Ha con potencial	Superficie cosechada 2016 (ha)	Participación en la producción nacional 2016	Rendimiento promedio 2016 (ton/ha)	PMR 2016 (\$/ron)
1	Histórica	85,148	67,824	4,333.21	3.92%	21.86	3,004
2	Con potencial	1,545,075	1,247,705	1,357.74	0.36%	6.36	3,797
3	Histórica	214,651	201	7,015.56	3.34%	11.50	2,083
4	Histórica	129,696	1,326	11,420.00	6.65%	14.07	4,917
5	Con potencial	149,711	147,511	19.75	0.00%	3.88	6,706
6	Con potencial	77,218	74,709	1.00	0.00%	9.10	1,144
7	Con potencial	126,323	95,468	4,477.00	2.66%	14.35	4,229
8	Histórica	46,988	0	1,066.00	0.60%	13.50	3,590
9	Con potencial	209,332	141,485	3,651.90	1.86%	12.31	4,340
10	Con potencial	861,871	813,860	814.88	0.32%	9.62	5,268
11	Con potencial	94,075	89,905	257.50	0.08%	7.87	4,590
12	Con potencial	483,571	314,571	33,091.50	20.68%	15.10	4,518
13	Histórica	49,921	2,940	6,575.00	5.11%	18.77	4,071
14	Con potencial	2,075,896	1,729,364	4,276.24	2.97%	16.79	4,708
15	Con potencial	87,507	15,083	17,313.83	8.95%	12.49	5,355
16	Con potencial	116,889	114,752	913.30	0.70%	18.57	5,399
17	Con potencial	124,905	116,895	122.50	0.08%	16.49	4,944
18	Con potencial	469,495	466,478	2,395.59	0.86%	8.64	4,426
19	Con potencial	3,626,690	2,650,167	49,645.18	33.81%	16.45	4,186
20	Histórica	749,127	3,400	3,647.69	3.59%	23.79	4,662
21	Histórica	79,430	54	50.00	0.02%	10.69	5,063
22	Histórica	52,895	0	64.04	0.04%	15.00	4,875
23	Histórica	205,893	0	62.00	0.04%	15.63	4,094
24	Histórica	194,664	0	35.00	0.03%	22.00	2,850
25	Con potencial	176,725	0	53.00	0.04%	16.33	3,608
Nacional		12,033,698	8,093,698	152,659.41	96.72%	15.31	4,439

Ilustración 10. Caracterización de las regiones estratégicas de limón en México

Fuente: (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017)

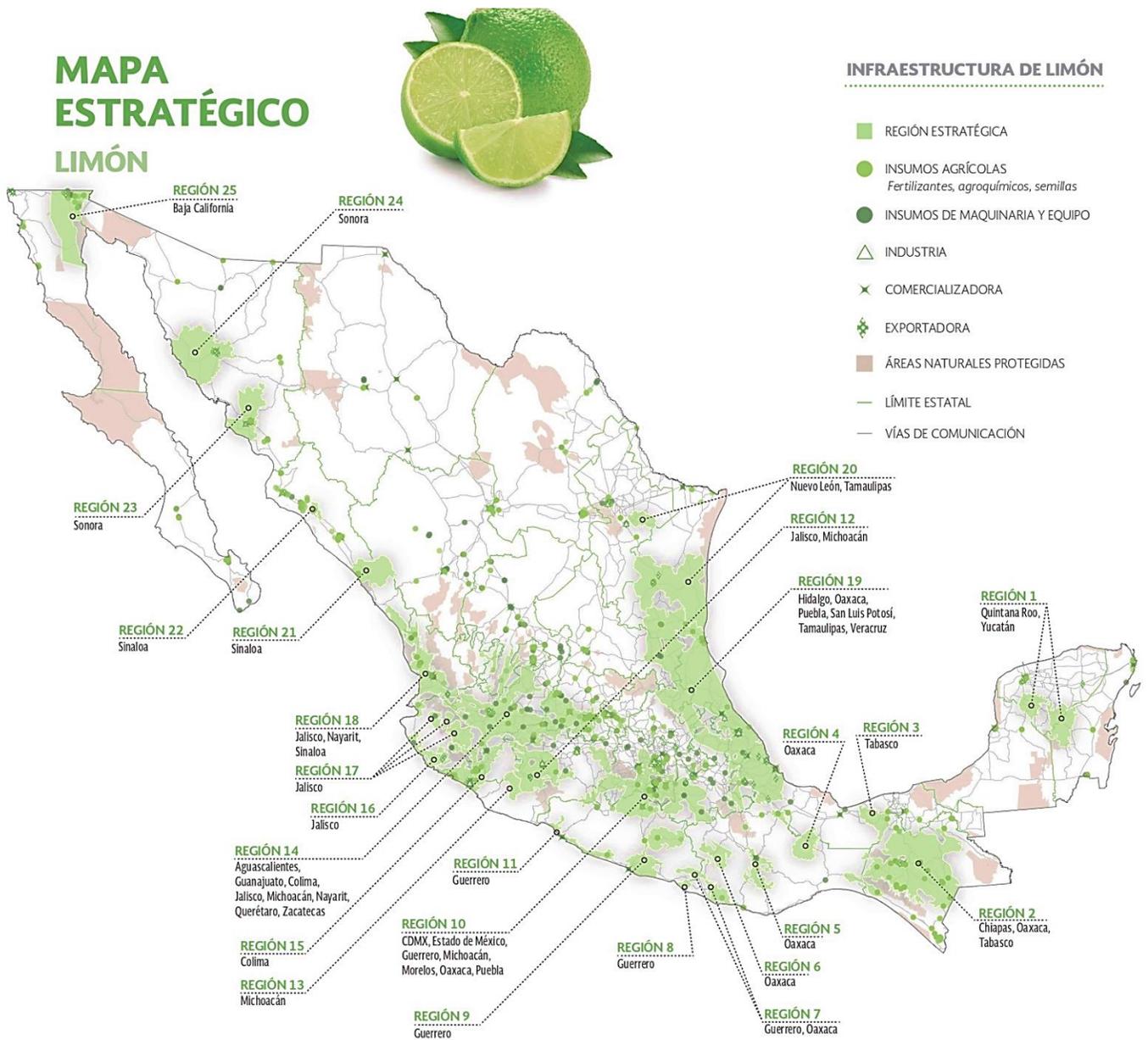


Ilustración 11. Regiones Estratégicas de limón en México

Fuente: (Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, 2017)

La región estratégica 19 que comprende los estados de Hidalgo, Oaxaca, Puebla, San Luis Potosí, Tamaulipas y Veracruz, es la región con mayor participación en la producción nacional 2016 siendo del 33.81%. De esta región Veracruz se encuentra en la segunda posición del Top 10 de las Principales Entidades Productoras de limón, el cual fue en el año 2017 un volumen de 658 282 toneladas y Michoacán un volumen de 711 181 toneladas.

Para abril del año 2019, Veracruz tuvo una producción de 184 429 toneladas mientras que Michoacán tuvo una producción obtenida de 126 071 toneladas, según el Avance de Siembras y Cosechas Resumen por Estado realizado por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP)¹⁹.

En el estado de Veracruz el distrito de mayor producción en el año 2017 fue Martínez de la Torre con un total de 503 001 toneladas, seguido del distrito de Veracruz con 57 884 toneladas y Fortín con 56 887 toneladas.

Dentro del distrito de Martínez de la Torre, los tres municipios de mayor producción de limón son Martínez de la Torre, Atzalan y San Rafael, con 224 222, 76 383 y 59,899 toneladas respectivamente, más el resto de los municipios con un total de 142 497 toneladas en el año 2017 mostrado en Anuario Estadístico de la Producción Agrícola²⁰.

Con todo lo anterior la planta se localizará en un área cercana siendo, el municipio de Ayotoxco de Guerrero, Puebla, que se encuentra 34.3 km al oeste de Martínez de la Torre. Las coordenadas geográficas de la planta y un mapa de localización respecto a Martínez de la Torre se muestran a continuación en la **Tabla 9 e Ilustración 12**.

Tabla 9. Coordenadas geográficas de la ubicación de la planta

Latitud Norte	Latitud Oeste
20°04'09.8"	97°22'55.9"W

Realizando una búsqueda en INEGI sobre la carta edafológica de la zona en donde se localizará la planta (véase **Ilustración 13**), se encontró que la mayoría del suelo de la localidad corresponde a un tipo de suelo llamado *phaeozem* el cual es un suelo oscuro y rico en materia orgánica, por lo que son muy utilizados en la agricultura

¹⁹ (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, s.f.)

²⁰ (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, s.f.)

temporal; sin embargo, las sequías periódicas y la erosión eólica e hídrica son sus principales limitantes.

Entre la mitad de los años 70 y finales de la primera década del siglo XXI, el porcentaje de Luvisoles, Vertisoles y Phaeozems dedicados a las actividades agropecuarias aumentó de 35.8% (24.1% dedicado a la agricultura y 11.7% en pastizales de ganadería) a 44.4% (29.6% en agricultura y 14.8% en pastizales).

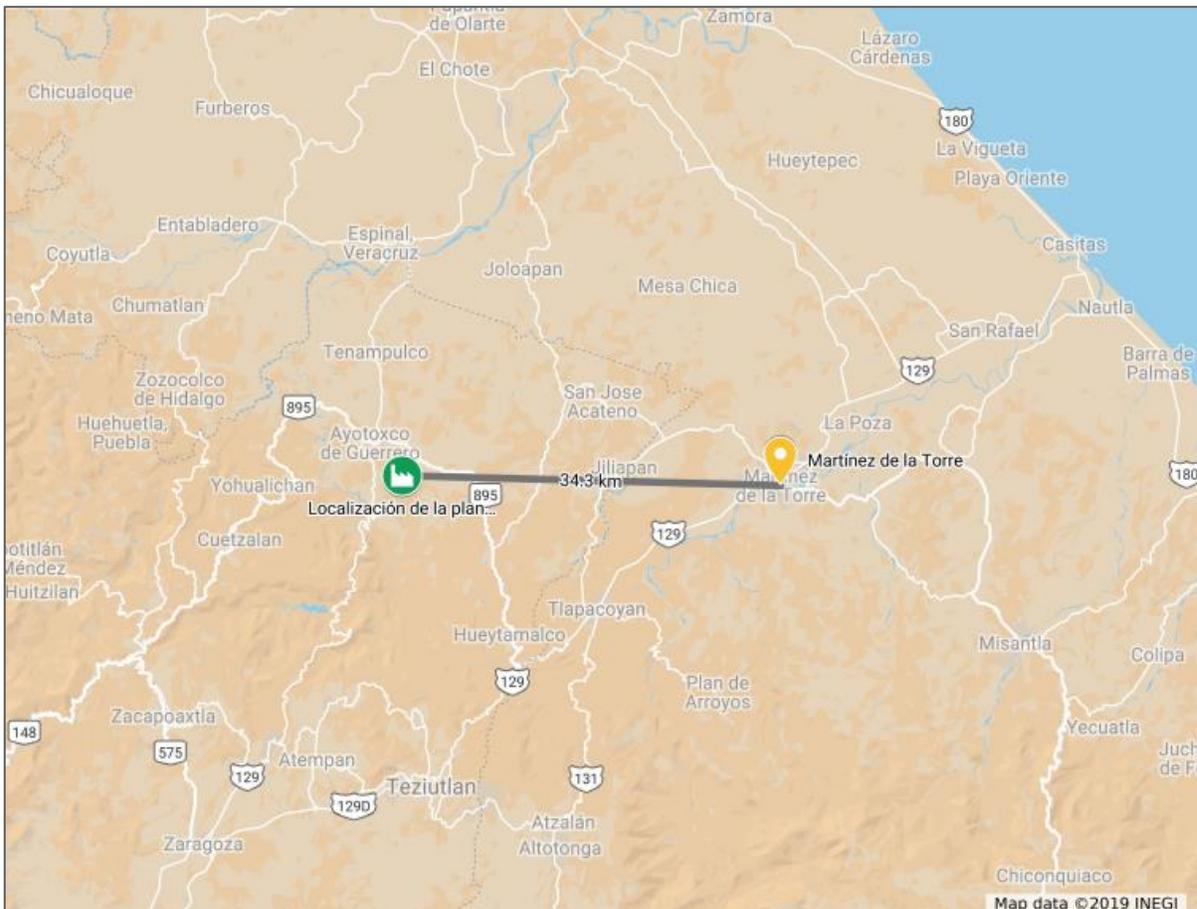


Ilustración 12. Cercanía de la localización de la planta con Martínez de la Torre, Veracruz
 Fuente: Google Maps

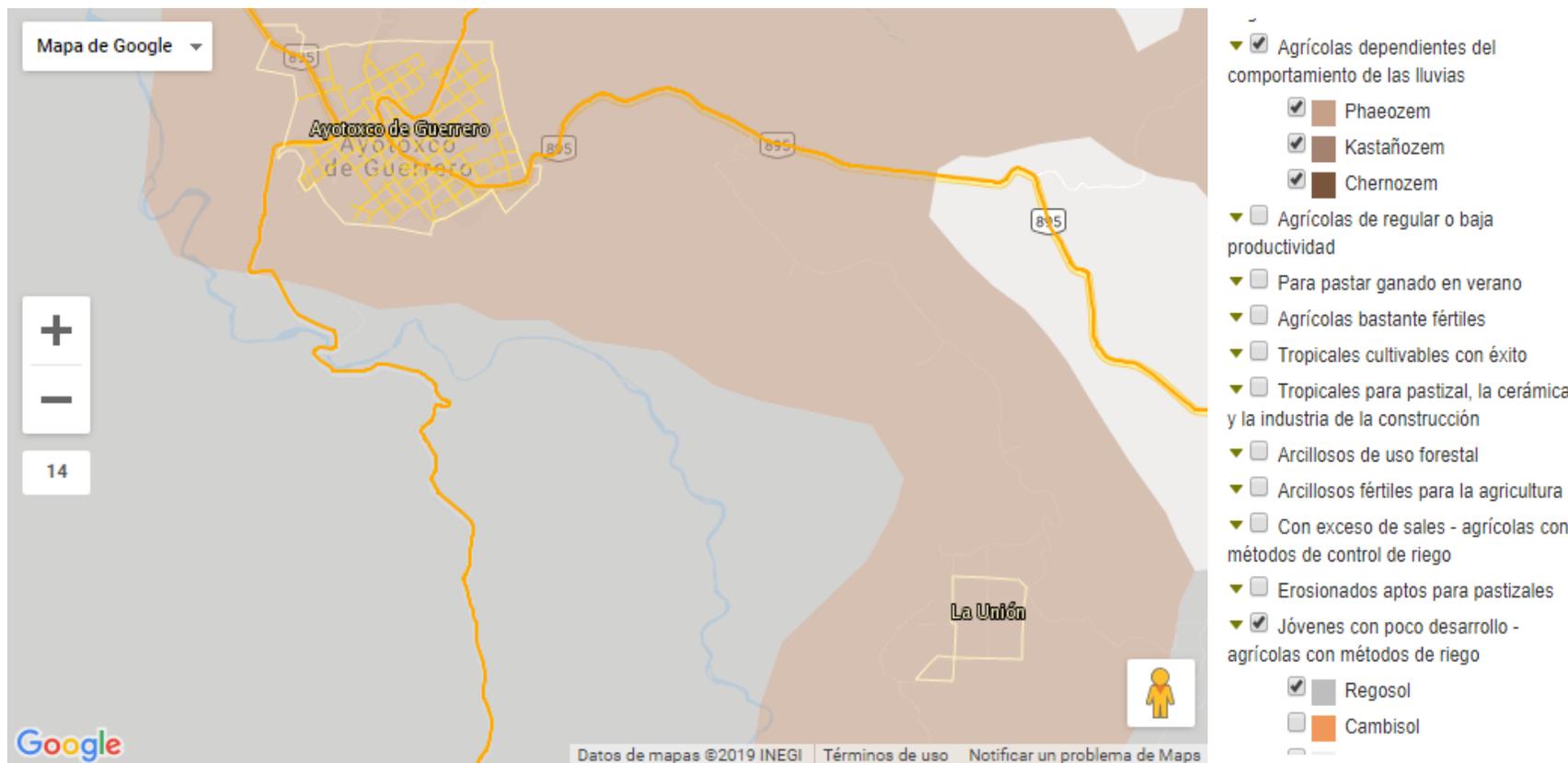


Ilustración 13. Mapa edafológico del municipio de Ayotoxco de Guerrero, Puebla

Fuente: (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, s.f.)

En los resultados del estudio *Evaluación de la pérdida de suelos por erosión hídrica y eólica en la República Mexicana, escala 1:1000000* (Semarnat y UACH, 2003) mostró que el 42% de la superficie nacional podría resultar afectada por erosión hídrica y que las siguientes entidades federativas muestran un alto daño en su territorio, entre las cuales están Guerrero (79.3%), Puebla (76.6%), Morelos (75.2%), Oaxaca (74.6%) y el Estado de México (73.7%)²¹.

El estado de Puebla tiene un alto daño en su territorio por erosión hídrica y el sitio de localización de la planta posee uno de los principales suelos agrícolas en el país, tendiendo a ser un suelo erosionado eólica e hídricamente.

Las razones anteriores degradan al ecosistema por lo cual se deben implementar estrategias de restauración de los ecosistemas el cual se define por la ONU como “un proceso de invertir la degradación de los ecosistemas -como paisajes, lagos y océanos-, para recuperar su funcionalidad ecológica; en otras palabras: mejorar la productividad y la capacidad de los ecosistemas a satisfacer las necesidades de la sociedad”²² y tecnologías como la biofertilización pueden contribuir a la restauración de los suelos en el municipio de Ayotoxco de Guerrero, estado de Puebla.

²¹ (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2012)

²² (ONU Medio Ambiente, 2019)

Capítulo VIII - Descripción y esquema general del proceso

Descripción del proceso

En este capítulo se describirá el proceso por el cual se puede producir biofertilizantes para cultivos cítricos, con la tecnología de microorganismos teniendo al biochar como un acarreador.

El proceso de producción de biofertilizantes comprende las etapas mostradas en el esquema **Ilustración 14**, las cuales son triturado, pirolización, humectación, molienda, fermentación, filtración y finalmente la obtención del biofertilizante.

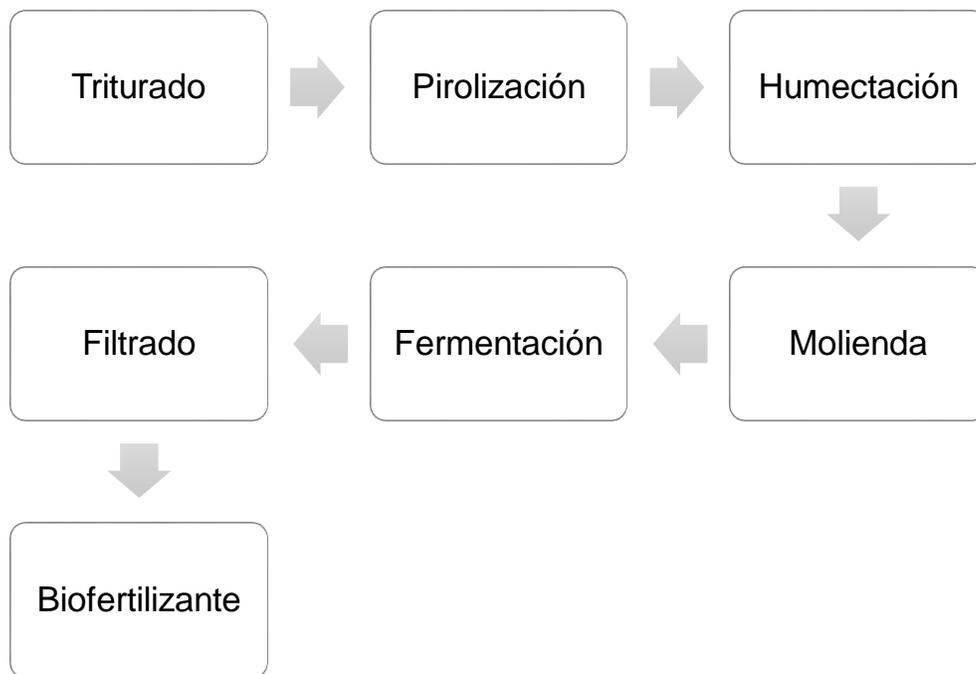


Ilustración 14. Diagrama de bloques del proceso

El proceso descrito a continuación es un proceso Bach, el cual se ejemplifica en el diagrama de flujo de proceso (DFP) que se muestra en la sección *Esquema de proceso*, mostrado más adelante.

La primera operación unitaria que se muestra es el triturado grueso, la alimentación de bambú (corriente A) es de 6066 kg/día y entra al triturador (C-110), con el fin de reducir el tamaño del bambú e introducirlo al siguiente equipo.

Posterior se introduce la biomasa de bambú al equipo de pirólisis de cortina de flama (R-110), donde alcanza una temperatura aproximada de 715°C. De esta operación unitaria se obtienen dos productos; el gaseoso (corriente H), el cual se hace pasar por un condensador (E-110) para su posterior almacenamiento (F-110); el segundo producto (corriente C) es biochar que es introducido al mezclador (M-110).

En este último llega una corriente que contiene glucosa (corriente N), el biochar absorbe la solución y la solución no absorbida se queda contenida en el equipo de mezclado.

La mezcla anterior es introducida a un molino de bolas (C-220) para reducir más el tamaño de partícula. A continuación, la mezcla, es llevada a otro equipo de mezclado (M-220) y es combinada con microorganismos *Bacillus subtilis* (corriente S) que son producidos en el biorreactor (R-220) a temperatura ambiente y presión atmosférica. El biorreactor se alimenta de la descarga de glucosa del tanque (F-221) y aire (corriente Q) como insumos.

La solución heterogénea resultante es llevada a un proceso de filtrado (H-220) para tener un tamaño de partícula de la parte sólida homogénea de 0.5 mm y si no cumple con el requerimiento, el sólido es recirculado (corriente T) al equipo de molido. La solución que cumple con los requerimientos (corriente G) se envía para su envasado.

Cada operación unitaria fue seleccionada de acuerdo con las necesidades de transformación de la materia prima y las características de los materiales. El triturado grueso se seleccionó para reducir el tamaño del tallo del bambú para un fácil manejo y lograr que en la siguiente operación sea fácil la pirolización al existir mayor superficie de contacto.

El proceso de pirólisis se escogió debido a que esta tecnología combina la simplicidad de hornos tradicionales con la combustión de los gases de pirólisis en la cortina de flama, evitando el uso de combustible externo para el arranque y disminuyendo gases de combustión. (Véase **Apéndice IV**. Algoritmo de cálculo del balance de materia y energía).

La humectación del biocarbón o biochar después de la pirolización favorece la absorción de la glucosa para posteriormente los microorganismos se puedan nutrir de la glucosa.

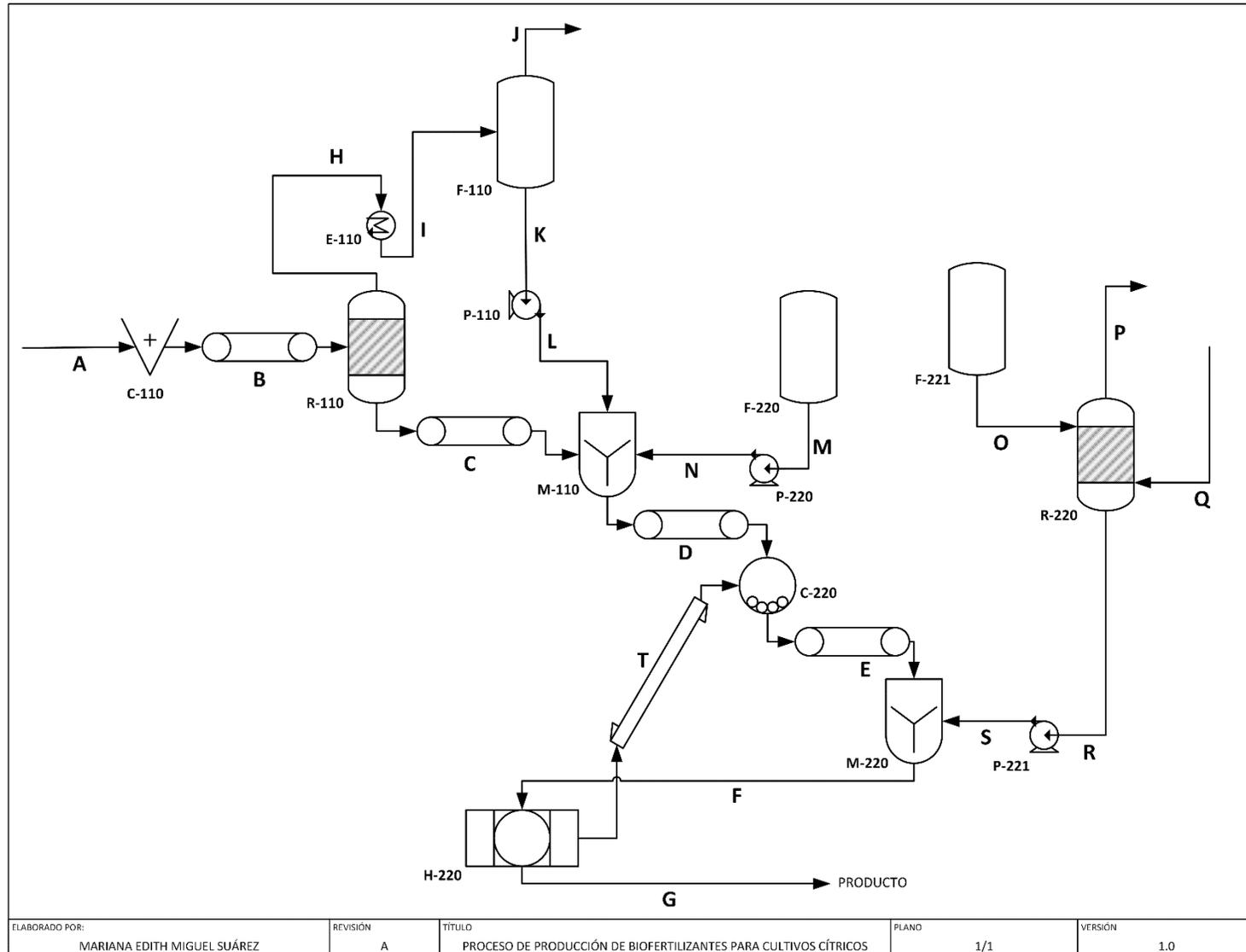
Posterior a la humectación, se reduce el tamaño de la partícula para la fácil distribución del biofertilizante en el cultivo. Este deberá tener una fase continua

líquida y una fase dispersa sólida. El tamaño de partícula es de 0.5 mm del sólido disperso.

Para enriquecer y favorecer el crecimiento vegetal, se diseña el proceso de fermentación. Está compuesto de dos operaciones unitarias: biorreactor y mezclado. En el biorreactor se hace crecer los microorganismos que promueven el crecimiento vegetal, posteriormente esta disolución es mezclada con la suspensión para que los microorganismos se adhieran al biochar que será su medio acarreador para su incorporación en el suelo.

Finalmente, el objetivo del filtrado por gravedad es homogeneizar el tamaño de partícula posterior al proceso de triturado en el molino de bolas.

Esquema de proceso



Lista de equipo y dimensionamiento preliminar

Se presenta a continuación la **Tabla 10** que corresponde a la lista de equipo que compone el diagrama de flujo de proceso mostrado anteriormente, dimensiones del equipo como resultado de un diseño preliminar y características relevantes de cada uno.

Tabla 10. Lista de equipo

Clave	Equipo	Características
M-110	Agitador	Propela, Potencia: 20 hp
M-220	Agitador	Propela, Potencia: 20 hp
B	Cinta transportadora	Flujo: 252.8 kg/h, Longitud: 7 ft, Ancho: 5 ft
C	Cinta transportadora	Flujo: 244.2 kg/h, Longitud: 7 ft, Ancho 5 ft
D	Tornillo transportador	Flujo: 976.9 kg/h, Longitud: 7 ft, Diámetro: 6 ft
E	Transportador vibratorio	Flujo: 987.0 kg/h, Longitud: 7 ft, Ancho: 5 ft
R-220	Biorreactor	Material: Acero inoxidable, Altura: 1.49 m, Diámetro: 0.5, Posición: Vertical
P-110	Bomba centrífuga	Material: Acero inoxidable, Potencia: 0.25 hp
P-220	Bomba centrífuga	Material: Acero inoxidable, Potencia: 0.75 hp
P-221	Bomba centrífuga	Material: Acero inoxidable, Potencia: 0.25 hp
T	Elevador de cangilones	Flujo: 10.1 kg/h, Longitud: 13 ft
H-220	Filtro	Material: Acero inoxidable, Área de filtrado 1 m ²
E-110	Intercambiador de calor	Material: Acero inoxidable
M-110	Mezclador	Material: Acero inoxidable, Altura: 8.69 m, Diámetro: 2.90 m, Posición: Vertical
M-220	Mezclador	Material: Acero inoxidable, Altura: 8.74 m, Diámetro: 2.91 m, Posición: Vertical
C-220	Molino de bolas	Flujo: 986.99 kg/h
R-110	Reactor de pirólisis	Material: Acero inoxidable, Altura: 6.48 m, Diámetro: 2.16 m, Energía: 1.69 MMBtu, P: 14.7 PSI
F-110	Tanque de almacenamiento	Material: Acero inoxidable, Altura: 1.22 m, Diámetro: 0.41 m, Posición: Vertical
F-220	Tanque de almacenamiento	Material: Acero inoxidable, Altura: 6.71 m, Diámetro: 2.24 m, Posición: Vertical
F-221	Tanque de almacenamiento	Material: Acero inoxidable, Altura: 4.12 m, Diámetro: 1.37 m, Vertical
C-110	Triturador giratorio	Flujo: 252.77 kg/h

Balance de materia y energía

Balance de materia

En la etapa conceptual de un proyecto, el balance de materia y energía representa las entradas y salidas del proceso general y por etapa de proceso, lo cual nos dan un esbozo de los valores del proceso.

El proceso descrito, es un proceso Batch o por lotes, el cual el flujo total de las corrientes esta dado en kilogramos por hora, este flujo es reflejo de la demanda. Para llevar a cabo la realización de este balance, los cálculos se basaron respectivamente con cada operación unitaria involucrada en el proceso e información correspondiente a la tecnología seleccionada (Véase **Apéndice IV**. Algoritmo de cálculo del balance de materia y energía). Por cada lote procesado se obtiene un 6,672 kg/día biofertilizante en suspensión líquida-sólida.

En la **Tabla 11**, se muestra el balance de materia. La primera columna menciona los elementos que conforman este balance y las columnas enumeran por orden alfabético las corrientes involucradas en el proceso.

Tabla 11. Balance de materia

Corriente		A	B	C	D	E
Flujo (kg/día)		6066.45	6066.45	5861.65	23446.59	23687.81
Fracción másica	Biomasa bambú	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00
	Agua	0.20	0.20	0.18	0.74	0.74
	Biochar	0.00	0.00	0.82	0.20	0.21
	Productos de combustión	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Glucosa	0.00	0.00	0.00	0.06	0.06
	Gases de respiración	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Aire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Bacterias	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Temperatura (°C)		25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

Corriente		F	G	H	I	J
Flujo (kg/día)		25153.22	24912.00	204.80	204.80	48.53
Fracción másica	Biomasa bambú	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Agua	0.71	0.71	0.76	0.76	0.00
	Biochar	0.19	0.19	0.00	0.00	0.00
	Productos de combustión	0.00	0.00	0.24	0.24	1.00
	Glucosa	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00
	Gases de respiración	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Aire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Bacterias	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00
Temperatura (°C)		25.00	25.00	25.00	715.00	25.00

Corriente		K	L	M	N	O
Flujo (kg/día)		156.27	156.27	26377.41	26377.41	6105.88
Fracción másica	Biomasa bambú	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Agua	1.00	1.00	0.95	0.95	0.40
	Biochar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Productos de combustión	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Glucosa	0.00	0.00	0.05	0.05	0.60
	Gases de respiración	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Aire	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Bacterias	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Temperatura (°C)		25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

Corriente		P	Q	R	S	T
Flujo (kg/día)		5433.51	793.04	1465.41	1465.41	241.22
Fracción másica	Biomasa bambú	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Agua	0.00	0.00	0.20	0.20	0.66
	Biochar	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22
	Productos de combustión	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Glucosa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06
	Gases de respiración	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Aire	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00
	Bacterias	0.00	0.00	0.80	0.80	0.05
Temperatura (°C)		25.00	25.00	25.00	25.00	25.00

Balance de energía

Posterior a un análisis de operaciones unitarias, se determinaron los equipos a los que se les requiere suministrar o retirar la cantidad de energía en las operaciones de condensación, combustión y/o calentamiento (véase **Apéndice IV**. Algoritmo de cálculo del balance de materia y energía).

Cabe destacar que la mayoría de las corrientes se trabajan a una temperatura de 25°C y presión de 1 atm (véase **Tabla 12**).

Tabla 12. Balance de energía

Equipo	Tipo de operación	Calor (BTU/h)
R-110	Reactor	1,690,227
E-110	Intercambiador de calor	-20,520

Capítulo IX - Estudio de Factibilidad Económica

Para valorar las posibilidades económicas de un proyecto se realiza una evaluación o estudio económico, valorando en primer lugar el monto del capital necesario para la inversión, después se estima los costos de producción y los ingresos anuales por la venta de los productos²³. Se finaliza con un análisis de rentabilidad para determinar si el proyecto se abandona o se invierte en él.

De acuerdo con Peters²⁴ existen distintas estimaciones de acuerdo con la exactitud, la cual está en función del grado de desarrollo del proyecto. Señala que existen cinco categorías que representan, en un rango de exactitud, la designación normalmente usada para propósitos de diseño. Cada categoría tiene asociada un margen de error en la estimación, es decir un rango de la variación.

La estimación de estudio o estimación por factores es la que corresponde a este proyecto, ya que está basada en el conocimiento de los equipos más importantes y tiene una exactitud probable de estimación de hasta $\pm 30\%$.

Se realiza una estimación de costos de equipo (véase **Tabla 13**) bajo un estudio elaborado por Guthrie²⁵, que contiene un banco de información de distintos equipos y sus respectivos precios. La evaluación se realiza apoyada del dimensionamiento de los equipos y posteriormente se realiza una actualización de costos al año 2019 a través de los indicadores CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost) publicados²⁶. Se calcula de la siguiente manera:

$$Costo_{\text{año actual}} = \frac{CEPCI_{\text{año actual}}}{CEPCI_{\text{año precio base}}} \times Costo_{\text{año base}}$$

$$CEPCI_{1969} = 113.7, \quad CEPCI_{2019} = 618.7$$

Se desarrolla la estimación de capital fijo de inversión (véase **Tabla 14**), mediante factores de estimación y su asignación porcentual, que son tomados de acuerdo a el rango del autor Peters, basados en la variación de distintos tipos de plantas industriales, de procesos diferentes, grandes instalaciones y construidas en sitios nuevos.

²³ (Jiménez Alcaide & Rodríguez Pascual, 2016)

²⁴ (Peters, Timmerhaus, & West, 1991)

²⁵ (Guthrie, 1969)

²⁶ (Chemical Engineering, 2019)

Según Vega-González²⁷, los productos tecnológicos tienen ciclos de vida cada vez más cortos. Cuando un producto está a punto de ingresar a la fase de declinación, se replantea el producto, que puede resultar en innovaciones graduales o radicales y esto es representado en una sucesión de tecnologías (véase **Ilustración 15**). Además, también menciona el autor que los ciclos de vida se han reducido hasta a seis meses en el caso de productos tecnológicos tales como la instrumentación industrial.

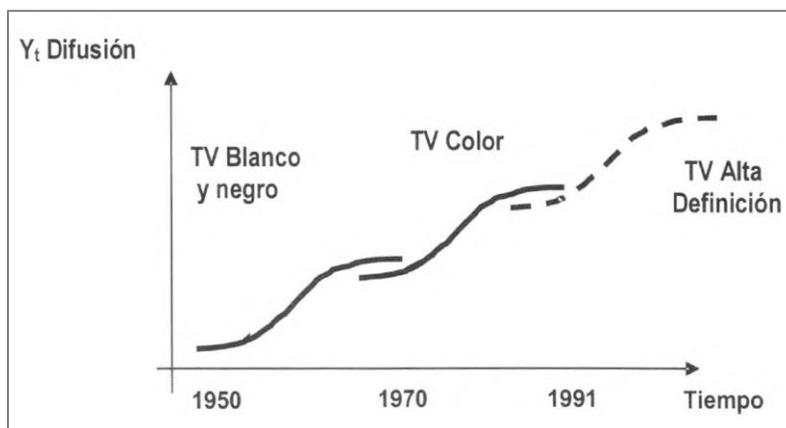


Ilustración 15. Sucesión de curvas de difusión de productos tecnológicos.

Nota. Fuente: (Vega-González, Evaluación, avalúo y ciclo de vida de la tecnología (Parte II), 2003)

La actualización de los costos al año 2019 no considera el ciclo de vida de las tecnologías que son presentadas en el banco de información para la estimación de costos de equipo. Es altamente probable que el ciclo de vida de las tecnologías estimadas terminó y por lo tanto el costo actualizado no incluye un reajuste en las posibles tecnologías que se están usando en el mercado.

El adquirir productos tecnológicos implica un riesgo natural no obstante el inversor deberá contemplar el riesgo mencionado en esta etapa del proyecto y por lo tanto la estimación de precios puntuales tendrá que revisarse y ser actualizado según la evolución del proyecto.

Por medio de costos unitarios de producción y venta se determinó el costo unitario total de un bote de biofertilizante de 20 L siendo de \$589.11 y con un precio aproximado de venta de \$619.00 con una utilidad del 5%.

²⁷ (Vega-González, Evaluación, avalúo y ciclo de vida de la tecnología (Parte I), 2003) (Vega-González, Evaluación, avalúo y ciclo de vida de la tecnología (Parte II), 2003)

El horizonte del proyecto es a 5 años y se proyecta que exista un crecimiento de ventas por año del 5% de acuerdo con lo reportado por INEGI²⁸, se valora que en el primer año el mercado consume alrededor de 448,500 botes de 20 L por año de biofertilizante.

Tabla 13. Costo de equipos

Clave	Equipo	Costo de equipo (Dólar USD)	Costo de equipo (Pesos MXN)
M-110	Agitador	9,629.7	187,393.6
M-220	Agitador	9,629.7	187,393.6
B	Cinta transportadora	7,211.6	140,337.0
C	Cinta transportadora	7,211.6	140,337.0
D	Tornillo transportador	8,822.6	171,688.2
E	Transportador vibratorio	1,638.6	31,886.7
R-220	Biorreactor	7,786.8	151,531.2
P-110	Bomba centrífuga	33,396.7	649,900.6
P-220	Bomba centrífuga	35,623.2	693,227.3
P-221	Bomba centrífuga	33,396.7	649,900.6
T	Elevador de cangilones	7,703.7	149,914.9
H-220	Filtro	2,219.4	43,189.8
E-110	Intercambiador de calor	3,603.6	70,125.3
M-110	Mezclador	94,739.5	1,843,629.8
M-220	Mezclador	94,739.5	1,843,629.8
C-220	Molino de bolas	4,035.3	78,526.8
R-110	Reactor de pirólisis	253,792.2	4,938,795.3
F-110	Tanque de almacenamiento	7,786.8	151,531.2
F-220	Tanque de almacenamiento	13,026.0	253,486.5
F-221	Tanque de almacenamiento	23,360.4	454,593.7
C-110	Triturador giratorio	336.3	6,543.9
Total		659,689.8	12,837,562.8

Nota: Tipo de cambio al 11 de noviembre de 2019 (1 USD = 19.46 MXN)

²⁸ (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, s.f.)

Tabla 14. Capital fijo de inversión

Componente	Capital Fijo de Inversión
Costos directos	
Compra del equipo	659,689.8
Compra de la instalación del equipo	263,875.9
Instalación de instrumentación y controles	87,958.6
Instalación de tubería	175,917.3
Instalación eléctrica	87,958.6
Obras civiles (incluyendo servicios)	87,958.6
Mejoras del terreno	87,958.6
Instalación de servicios	351,834.5
Terreno	43,979.3
Costos indirectos	
Ingeniería y supervisión	175,917.3
Gastos de construcción	175,917.3
Gastos legales	43,979.3
Pago a contratistas	87,958.6
Contingencia	219,896.6
Total (Dólar USD)	2,550,800.4
Total (Pesos MXN)	49,638,576.2

Nota. El desglose de los rubros correspondientes a esta tabla se puede encontrar en el **Apéndice V**. Rubros del capital fijo de inversión. Tipo de cambio al 11 de noviembre de 2019 (1 USD = 19.46 MXN).

Tabla 15. Estado de resultados

Rubro	Años				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ventas	277,393,844.61	291,263,536.84	305,826,713.68	321,118,049.37	337,173,951.83
Costo de producción	262,577,722.25	275,706,608.37	289,491,938.78	303,966,535.72	319,164,862.51
Utilidad Bruta	14,816,122.36	15,556,928.47	16,334,774.90	17,151,513.64	18,009,089.32
Gastos Generales	65,880.00	69,174.00	72,632.70	76,264.34	80,077.55
Gastos Administrativos	18,000.00	18,900.00	19,845.00	20,837.25	21,879.11
Gastos de Ventas	18,000.00	18,900.00	19,845.00	20,837.25	21,879.11
Utilidad de Operación	14,714,242.36	15,449,954.47	16,222,452.20	17,033,574.81	17,885,253.55
Depreciación	4,975,507.62	4,975,507.62	4,975,507.62	4,975,507.62	4,975,507.62
Amortización de Intangible	20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000.00	20,000.00
Gastos Financieros	2,419,216.21	907,239.57	0.00	0.00	0.00
Utilidad Antes de Impuestos	7,299,518.53	9,547,207.29	11,226,944.58	12,038,067.19	12,889,745.93
Impuestos (28%)	2,043,865.19	2,673,218.04	3,143,544.48	3,370,658.81	3,609,128.86
Utilidad Neta (Pesos MXN)	5,255,653.34	6,873,989.25	8,083,400.10	8,667,408.38	9,280,617.07

Tabla 16. Flujo de caja

Rubro	Años					
	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos por Venta						
Ventas		277,393,844.61	291,263,536.84	305,826,713.68	321,118,049.37	337,173,951.83
Valor Rescate de Activo Fijo						24,819,288.08
Valor Rescate de Capital Trabajo						1,002,116.22
Total Ingresos		277,393,844.61	291,263,536.84	305,826,713.68	321,118,049.37	362,995,356.13
Costos de producción		262,577,722.25	275,706,608.37	289,491,938.78	303,966,535.72	319,164,862.51
Gastos operativos		101,880.00	106,974.00	112,322.70	117,938.84	123,835.78
Impuestos		2,043,865.19	2,673,218.04	3,143,544.48	3,370,658.81	3,609,128.86
Inversión	50,807,442.38					
Total Egresos	50,807,442.38	264,723,467.44	278,486,800.41	292,747,805.97	307,455,133.37	322,897,827.15
Flujo Neto Económico (Pesos MXN)	-50,807,442.38	12,670,377.17	12,776,736.43	13,078,907.71	13,662,915.99	40,097,528.99

Tabla 17. Indicadores de evaluación

Valor Presente Neto (VPN)	6,218,294.49
Tasa Interna de Retorno (TIR)	19%
Periodo de recuperación	4 años
Retorno de la inversión (ROI)	21%
Punto de equilibrio	4,479 botes/mes

Nota. El Valor Presente Neto se estimó con una tasa de interés del 15%.

Los indicadores de evaluación presentados en la **Tabla 17** fueron calculados con los resultados de la **Tabla 16**. Las ecuaciones empleadas para dichos cálculos se presentan a continuación²⁹:

- Valor Presente Neto

$$VPN = -C_0 + \frac{C_1}{(1+r)} + \frac{C_2}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

- Tasa Interna de Retorno

$$0 = -C_0 + \frac{C_1}{(1+TIR)} + \frac{C_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{C_t}{(1+TIR)^t}$$

- Retorno de la Inversión

$$ROI = \frac{\text{Utilidad antes de impuestos}}{\text{Inversión}}$$

El proyecto es rentable porque el Valor Presente Neto mostrado es positivo, el cual realiza la comparación entre el valor presente de los flujos de efectivos futuros y la inversión inicial, se recomienda que el proyecto sea aceptado. La tasa de recuperación con la cual fue calculado este indicador es de 15%.

La Tasa Interna de Retorno, es un índice de rentabilidad. Representa el porcentaje o la tasa de interés que se gana sobre el saldo no recuperado de la inversión³⁰ y es mayor a la tasa del 15%.

El retorno de la inversión nos da información sobre el porcentaje de la inversión que regresa anualmente como ganancias, un retorno de la inversión de al menos 15% es aceptable.

²⁹ (Ross, Westerfield, & Jaffe, 2005)

³⁰ (Coss Bu, 2006)

El periodo de recuperación de la inversión es de 4 años y se considera como un tiempo razonable.

Capítulo X - Resultados y conclusiones

El comportamiento del uso de biofertilizantes y abonos naturales que se muestra en el estudio de mercado aumenta aproximadamente entre un 5-7% anual, debido al encarecimiento de los fertilizantes químicos y a la promoción de la agroecología, que hacen principalmente algunas instituciones académicas y algunas organizaciones ambientalistas³¹.

La zona propuesta para la construcción de la planta desarrollada en este trabajo es en las cercanías de Martínez de la Torre, Veracruz, ya que es uno de los centros citrícolas más importantes del país. De acuerdo con las características del suelo de esas regiones y con base en esa información se determinó que la localización más adecuada sería el municipio de Ayotoxco de Guerrero, Puebla. Con el uso del biofertilizante se puede ayudar a la restauración de la zona, debido a que posee daño por erosión.

La capacidad de diseño de la planta se estimó con la investigación de la *Situación actual de los mercados de fertilizantes y cítricos en México*, la cual indica que la producción estimada de biofertilizantes requerido en el Municipio de Martínez de la Torre es del orden de 8,900 toneladas anuales.

En el 2017 el 40% de la tecnología empleada fue biofertilización y se pretende abarcar el 10% del mercado.

La inversión es de \$50,807,443 pesos mexicanos y los ingresos por ventas anuales se evalúan en promedio en \$311,719,500 y se sabe que el proyecto es viable de acuerdo con los parámetros de rentabilidad mostrados.

Se diseñó un método de producción de biofertilizantes para cultivos de limón en Ayotoxco de Guerrero, Puebla, en el que se incluye el desarrollo de los documentos de ingeniería conceptual para la construcción de una planta. Estos documentos nos permitieron determinar que el proyecto es rentable por las características que posee.

El proceso propuesto en este trabajo tiene como materia prima bambú, ya que es uno de los principales absorbedores de dióxido de carbono siendo entre 200 a 400 toneladas de CO_{2eq} por hectárea³².

³¹ (Guzmán Flores, 2018)

³² (Zigor, 2019)

De acuerdo con el Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990-2017, emitido por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático³³, en el año 2017, el dióxido de carbono contribuyó con el 72.61% de los gases emitidos. Por lo tanto, la utilización de bambú como insumo primario favorece la disminución de gases de efecto invernadero y la captura de carbono.

México se fijó la meta ante la ONU de disminuir el 25% de metano y dióxido de carbono para el año 2030, por lo que la utilización de bambú como insumo primario favorecería el logro de dicha meta.

Si bien el cultivo de bambú en México no se ha podido establecer como un cultivo de importancia económica por falta de mercado³⁴, si hay en el país estados con riqueza de especies de bambú como lo son Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Jalisco y Nayarit³⁵. Además, las condiciones climáticas presentes en Ayotoxco de Guerrero, Puebla, que se encuentra en la Sierra Nororiental de México, favorecen el cultivo de bambú.

Por otro lado, la tecnología seleccionada, además tiene la ventaja de poder utilizar como materia prima bagazo de caña de azúcar ya que sus características fisicoquímicas son similares al bambú, por lo que se requería hacer modificaciones mínimas al proceso.

Recomendaciones

- Para trabajos que den seguimiento a este, se propone realizar un análisis de ciclo de vida del biofertilizante para tener claridad de cuánto dióxido de carbono se emite y se absorbe con la producción y uso de este.
- El diseño de un biofertilizante que se adecue a las necesidades nutricionales del árbol requiere sustancias y microorganismos específicos. A los microorganismos producidos en el biorreactor R-220 se recomienda complementarlos con otras bacterias que promuevan el crecimiento vegetal del árbol del cítrico de interés.
- Se sugiere que el tanque F-220 contenga una mezcla no sólo de glucosa y se añadan algunos macronutrientes y micronutrientes en proporciones adecuadas tomando en cuenta el aporte que otorgarán los microorganismos del biorreactor R-220.

³³ (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2017)

³⁴ (Aguirre-Cadena, y otros, 2018)

³⁵ (Rodríguez Marín, 2005)

- Para desarrollar la ingeniería de detalle, se recomienda realizar un estimado de costos que tenga menor incertidumbre con la finalidad de saber con precisión el monto de la inversión.

Apéndice

Apéndice I. Glosario

- Actinomicetos** Son organismos filamentosos que parecen ser unicelulares. Los filamentos tienen el diámetro de las bacterias y están con frecuencia ramificados y entrelazados, por lo cual son difíciles de contar. Los actinomicetos son mucho mayores y menos numerosos que las bacterias.
- Agroecología** Desarrollo científico con base a conocimientos científicos de la ecología y un conjunto de prácticas se propone desarrollar agroecosistemas con una mínima dependencia de agroquímicos e insumos de energía. Propone la regeneración de la fertilidad del suelo y el mantenimiento de la productividad y la protección de los cultivos.
- Bacterias** Son las formas más pequeñas y sencillas de la vida vegetal. Son organismos unicelulares, la mayor parte de los cuales representan forma esférica o de bastón.
- Detritos** Materiales vegetales muertos, como hojas, ramas y troncos caídos, hierba seca, desechos fecales de los animales, y en ocasiones sus cadáveres.
- Humus** Es un residuo de materia orgánica principalmente descompuesta por organismos como bacterias, hongos, protozoarios, acáridos, miriápodos, arácnidos, lombrices de tierra, caracoles, babosas y otros animales excavadores.
- Luvisoles** Del latín *luere*, lavar, son suelos que se encuentran sobre una gran variedad de materiales no consolidados, tales como las terrazas aluviales o los depósitos glaciales, eólicos, aluviales y coluviales. Son muy comunes en climas templado y fríos o cálidos húmedos con estacionalidad de lluvia y sequía. Se encuentran entre los suelos más fértiles por lo que su uso agrícola es muy elevado.
- Micorrizas** Son una asociación simbiótica entre algunos hongos del suelo (zigomicetos) y la raíz de la mayoría de las plantas. La raíz aprovecha los nutrimentos que el hongo toma del suelo y se los traslada a la planta y a su vez, el hongo toma de la planta el carbono necesario para su desarrollo.

- Phaeozem** Del griego *phaios*, oscuro y del ruso *zemlja*, tierra, es un tipo de suelo que se forma sobre material no consolidado. Son suelos porosos, fértiles y son excelentes tierras agrícolas. Tienen un horizonte superficial oscuro, rico en humus. Se encuentra en climas templados y húmedos con vegetación natural de pastos altos o bosques. La erosión eólica e hídrica son peligrosos serios para este tipo de suelo.
- Saprophytes primarios** Organismos especializados en alimentarse directamente de detritos.
- Saprophytes secundarios** Organismos que se alimentan de saprophytes primarios.
- Vertisoles** Del latín *vertere*, invertir, son suelos de climas semiáridos a subhúmedos y de tipo mediterráneo, con marcada estacionalidad de sequía y lluvias. Se caracterizan por su alto contenido de arcillas que se expanden con la humedad y se contraen con la sequía, lo que puede ocasionar grietas en esta última temporada. Esta propiedad hace que, aunque son muy fértiles, también sean difíciles de trabajar debido a su dureza durante el estiaje y son pegajosos en las lluvias.

Apéndice II. Objetivos de Desarrollo Sostenible

El desarrollo sostenible afronta enormes desafíos, actualmente muchas personas en el mundo viven en la pobreza y sin una vida digna y además dentro de los países como entre ellos van en aumento las desigualdades en oportunidades, riqueza y poder. Un reto sigue siendo la desigualdad de géneros. Para los jóvenes es preocupante el desempleo.

Los avances en materia de desarrollo alcanzados en las últimas décadas se ven amenazados por los riesgos mundiales para la salud, el aumento de la frecuencia y la intensidad de los desastres naturales, la escalada de los conflictos, el extremismo violento, el terrorismo que trae como consecuencia las crisis humanitarias y desplazamientos forzados.

Va en aumento el agotamiento de los recursos naturales y los efectos negativos de la degradación del medio ambiente, como la desertificación, la sequía, la degradación de las tierras, la escasez de agua dulce y la pérdida de biodiversidad y por ende se agudizan las dificultades que enfrenta la humanidad. Se peligran la supervivencia de muchas sociedades y sistemas de sostén biológico del planeta.

El aumento de la temperatura global, la elevación del nivel del mar, la acidificación de los océanos, y otros efectos más afectan gravemente las zonas costeras y países de baja altitud, todo lo anterior a causa del cambio climático, siendo este uno de los mayores retos de la época y sus efectos negativos limitan la capacidad de todos los países para alcanzar el desarrollo sostenible.

La Organización de las Naciones Unidas aprobó *la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*, que se realizó en 2015 en la Cumbre del Desarrollo Sostenible. Se muestra como un plan de acción en favor de las personas, el planeta y la prosperidad. Este plan será implementado mediante una alianza de colaboración por los países y partes interesadas.

En dicho documento se presentan los *17 Objetivos de Desarrollo Sostenible* (Ver **Ilustración 16**) y las 169 metas que giran en torno a ellos que son de carácter integrado e indivisible y conjugan las tres dimensiones del desarrollo sostenible: económica, social y ambiental, además que expone una visión del futuro ambiciosa y transformativa. Asimismo, los Objetivos y metas son universales y afectan al mundo entero, tanto a países en vías desarrollados como a países desarrollados.

Los Objetivos y metas incitarán acción en las siguientes esferas de la importancia crítica para la humanidad y el planeta durante los próximos 15 años desde su aprobación.

A continuación, se enlistan los Objetivos de Desarrollo Sostenible³⁶:

- Objetivo 1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo.
- Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible.
- Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades.
- Objetivo 4. Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos.
- Objetivo 5. Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y niñas.
- Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión del agua y el saneamiento para todos.
- Objetivo 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.
- Objetivo 8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos.
- Objetivo 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación.
- Objetivo 10. Reducir la desigualdad en los países y entre ellos.
- Objetivo 11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
- Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.
- Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

³⁶ (Organización de las Naciones Unidas, 2015)

- Objetivo 14. Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible.
- Objetivo 15. Proteger, reestablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad.
- Objetivo 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y construir todos los niveles instituciones eficaces e inclusivas que rindan cuentas.
- Objetivo 17. Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible



Ilustración 16. Objetivos de Desarrollo Sostenible

Apéndice III. Evaluación tecnológica

Tabla 18. Evaluación tecnológica

A1	tec1	Microorganismos
A2	tec2	Subproductos de origen vegetal

Parámetros		
0	-	10

							Calificación Total		
							A1	A2	
1	Evaluación técnica del proceso						10		
1.1	Concordancia de proceso con bases de diseño						10		
1.1.2	Capacidad y factor servicio						8	7	5
1.1.3	Especificaciones de materias primas						9	5	8
1.1.4	Especificaciones de productos						9	8	6
1.1.5	Disponibilidad de servicios auxiliares						8	6	5
1.1.6	Consideraciones de diseño						8	8	6
1.1.7	Flexibilidad						7	8	7
1.2	Características relevantes del proceso						8		
1.2.1	Esquema del proceso						9	7	4
1.2.2	Equipo						10	6	5
1.2.3	Condiciones de operación						8	4	8
1.2.4	Rendimientos						8	9	5
1.2.5	Características especiales de los productos						9	4	9
1.2.6	Pre o post tratamientos necesarios						9	8	5
1.3	Actualización del proceso						7	4	8
1.4	Flexibilidad del proceso						8		
1.4.1	Materia prima						8	4	8
1.4.2	Capacidad de operación						8	7	6
1.4.4	Automatización						8	9	5
1.4.5	Efecto en la inversión y en gastos de operación						8	7	3
1.5	Consumo de materias primas						8	4	7
1.6	Consumo de servicios auxiliares						8	5	8
1.7	Consumo de químicos y catalizadores						8	4	9
1.8	Mano de obra requerida						4		
1.8.1	Operación						10	9	3
1.8.2	Mantenimiento						7	7	2
1.9	Tratamiento de efluentes						6		

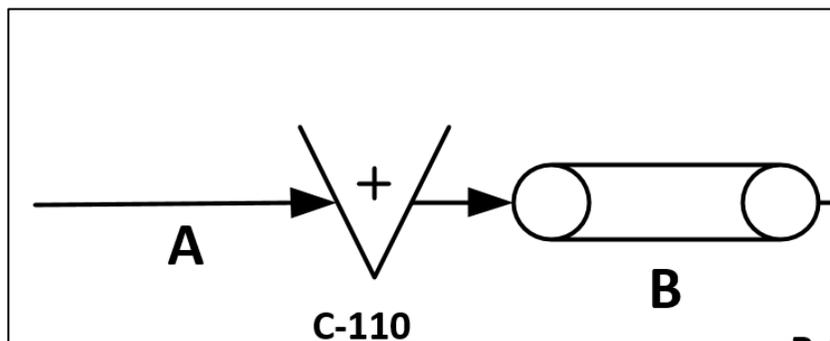
1.9.2		Sistemas de tratamiento			9	8	4	4.32	2.16
1.10		Impacto ecológico de la tecnología		7	1	8	8	0.56	0.56
1.11		Riesgos implícitos en la tecnología y sistemas de seguridad		5	1	7	5	0.35	0.25
2	Evaluación de aspectos técnicos complementarios		8						
2.1		Calidad de la información técnica suministrada		6	7	6	6	2.02	2.02
3	Evaluación económica financiera		10						
3.1		Inversión en terreno, edificios, materiales y equipo		8	4	6	3	1.92	0.96
4	Evaluación de aspectos plausibles		7						
4.1		Criterios tecnológicos		7					
4.1.2		Disponibilidad de la tecnología (nacional o extranjera)			7	5	5	1.72	1.72
4.1.3		Sensibilidad de la escala			6	3	8	0.88	2.35
4.1.4		Impacto ecológico de la tecnología			7	3	3	1.03	1.03
5	Aspectos estratégicos - técnicos		9						
5.1		Usar tecnología de punta		8	8	7	4	4.03	2.30
6	Aspectos normativos		8						
6.1		Leyes y reglamentos para compras del sector público		7	1	3	7	0.17	0.39
6.2		Reglamentos sobre seguridad e higiene		7	1	4	5	0.22	0.28
6.3		Normas sobre manejo de sustancias peligrosas		8	8	6	2	3.07	1.02
6.4		Normas ecológicas		8	1	4	6	0.26	0.38
TOTAL								105.60	89.33

Apéndice IV. Algoritmo de cálculo del balance de materia y energía

Balance de materia

A continuación, se detalla el algoritmo de cálculo y las consideraciones pertinentes en cada etapa de cálculo del balance de materia.

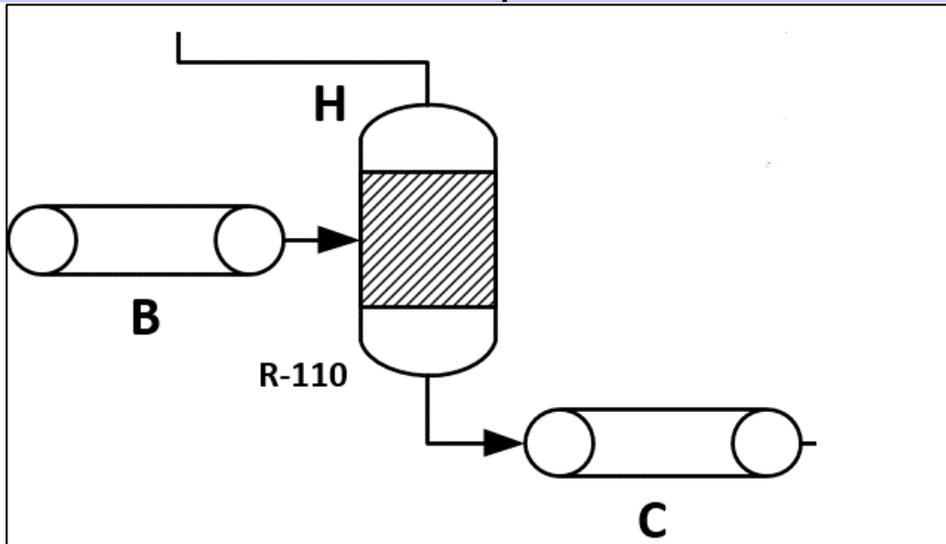
Equipo C-110
Operación: Triturado grueso
Proceso físico



Ecuaciones de
balance general de
la operación: $A = B$

Consideraciones: ninguna

Equipo R-110
Operación: Pirólisis
Proceso químico



Ecuaciones de balance general de la operación:

$$B = C + H$$

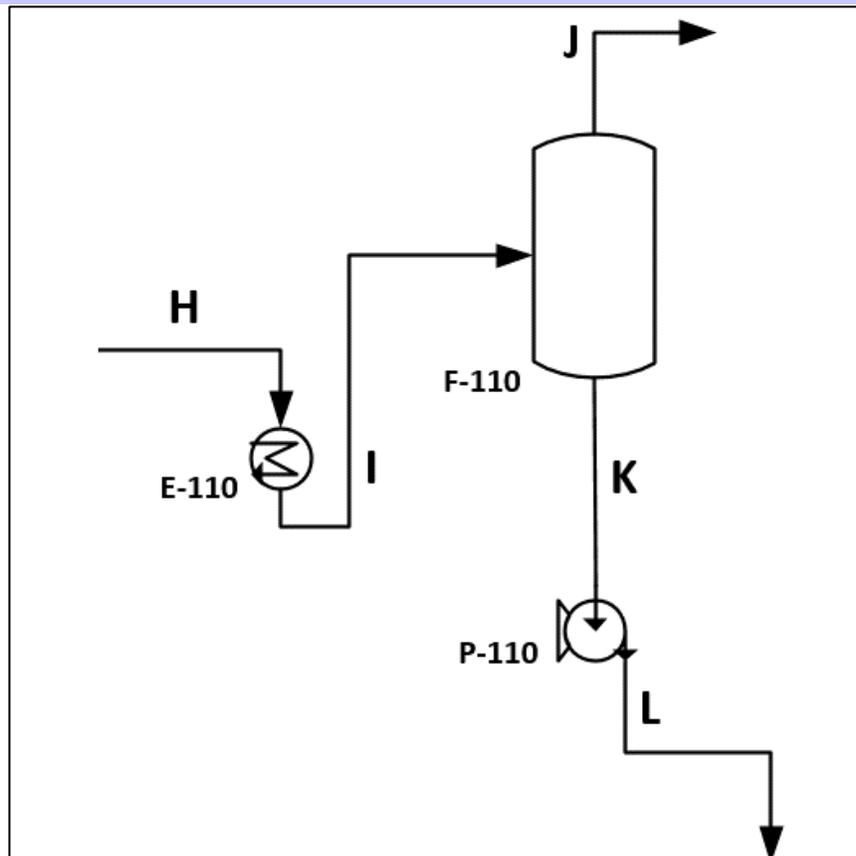
Consideraciones: Para la operación de pirólisis se considera un equipo llamado Kon-Tiki³⁷, basado en la pirolización de cortina de flama, el cual piroliza la biomasa capa a capa en un horno metálico cónico.

El gas que se emite es atrapado en las flamas y reacciona con el aire de combustión que entra al horno desde arriba. La energía convectiva y radiante de las flamas de arriba y de las capas de pirolización calientes que se encuentran debajo, calientan la capa de biomasa fresca, que se convierte en pirolizado.

En dichos artículos se reporta el porcentaje de humedad del biochar obtenido en 22% base seca, y con el porcentaje de humedad reportado se basó el balance de materia.

³⁷ (Cornelissen, y otros, 2016)

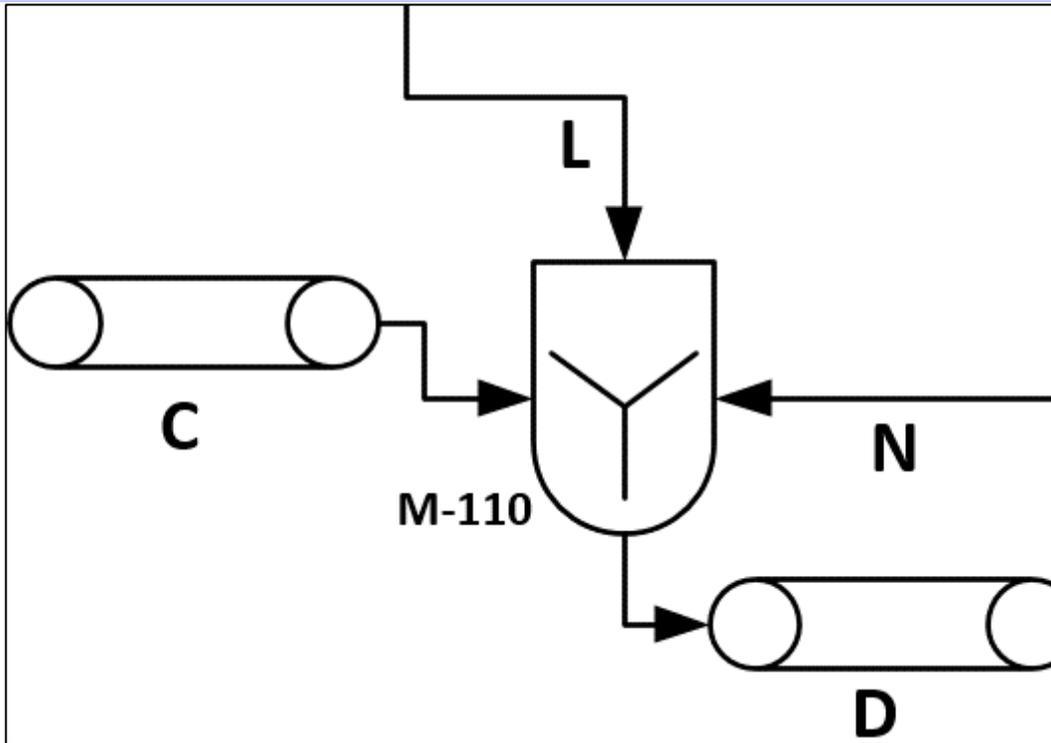
Equipo F-110
Operación: tanque de condensados
Proceso físico



Ecuaciones de balance general de la operación: $I = J + K$

Consideraciones: En el tanque de condensados (F-110), la primera consideración es que toda el agua existente condensa completamente y la segunda que la corriente J son gases producto de combustión.

Equipo M-110
Operación: mezclador
Proceso físico



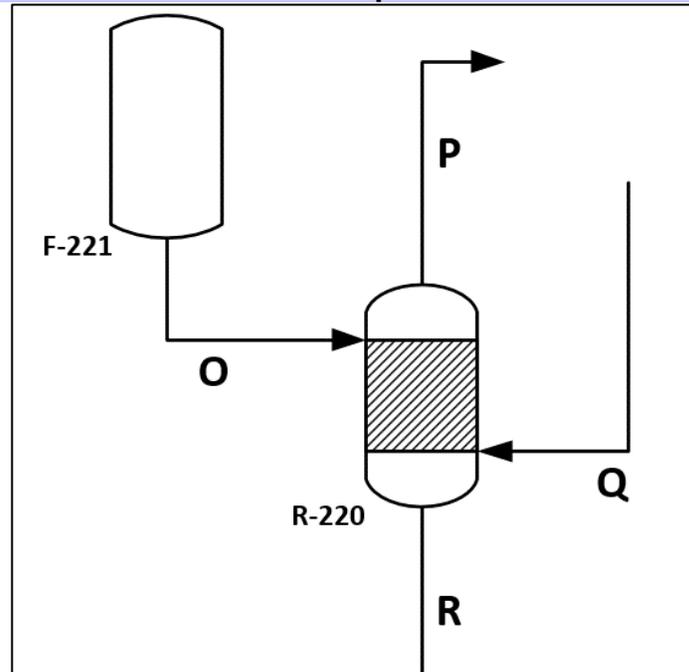
Ecuaciones de balance general de la operación:

$$C + L + N = D + [\text{Acumulación}]$$

Consideraciones: En el mezclado (M-110) se considera que la corriente N, será un flujo de 4.5 veces la masa de biochar por la capacidad de retención de agua reportada³⁸ que es aproximadamente de tres veces más, pero se considera una acumulación en el tanque de una y media veces más.

³⁸ (Lehmann & Joseph, 2009)

Equipo R-220
Operación: Fermentador
Proceso químico



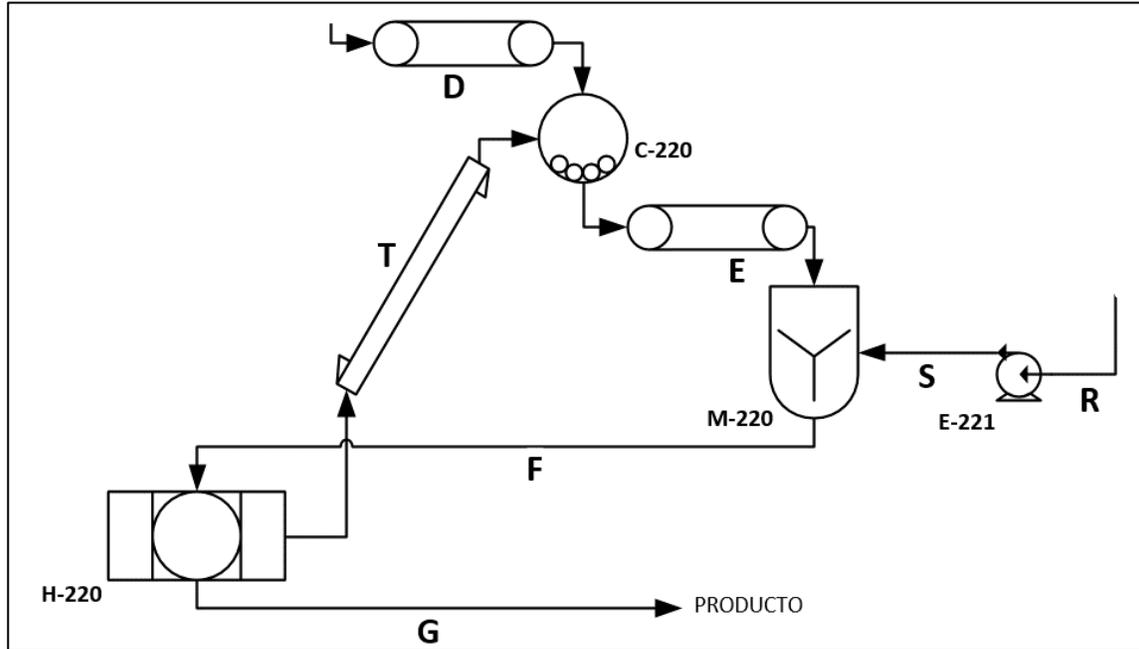
Ecuaciones de balance general de la operación: $O + Q = P + R$

Consideraciones: Para el fermentador propuesto (R-220), la corriente saliente contiene 80% de microorganismos, se toma un valor típico del coeficiente de rendimiento³⁹ (0.4 g/g), el coeficiente de velocidad de crecimiento de 0.11 h⁻¹ tomado del trabajo de tesis⁴⁰, la velocidad de muerte celular es despreciable, la cantidad de bacterias en la corriente Q es el 5% del flujo de la corriente D y la inoculación inicial es de 5 g de bacterias en el medio de cultivo.

³⁹ (Doran, 1995)

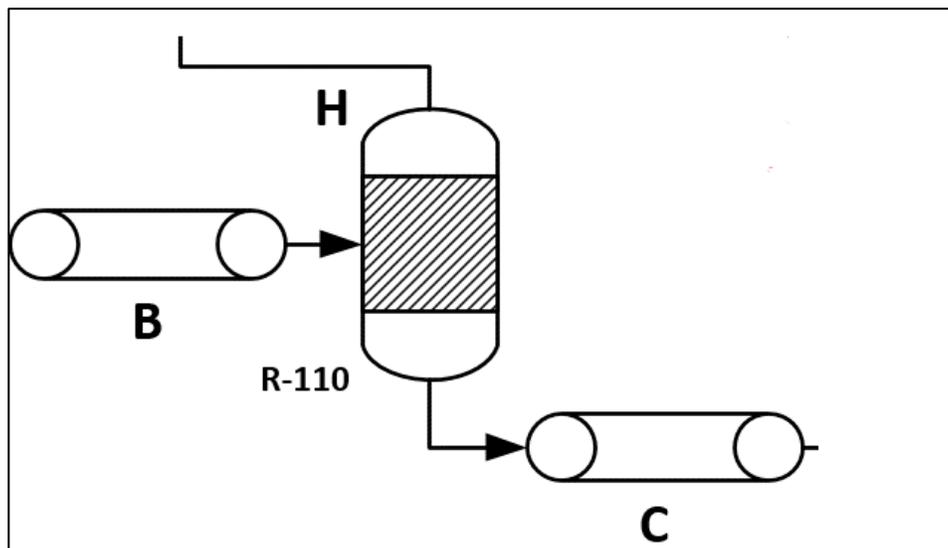
⁴⁰ (Hernández, 2003)

Sistema de recirculación
Operación: molino (C-220), mezclador (M-220), filtro (H-220)
Proceso físico



Ecuaciones de balance general del sistema de recirculación: $D + S = G$

Consideraciones: Para el sistema de recirculación que abarca las operaciones de molido (C-220), mezclado (M-220) y filtro (H-220), primeramente, la recirculación del sólido en la corriente T es el 10% la base del biochar contenida en la corriente F. Posterior, la cantidad de materia de biochar, glucosa y bacterias en la corriente T es del 10% en la corriente F y por último el agua contenida en la corriente T, equivale a la retención de agua permitida por el biochar que viene de la corriente F.

Balance de energía**Equipo R-110
Operación: Pirólisis
Proceso químico**

Ecuaciones $Q = B(PC)$
empleadas:

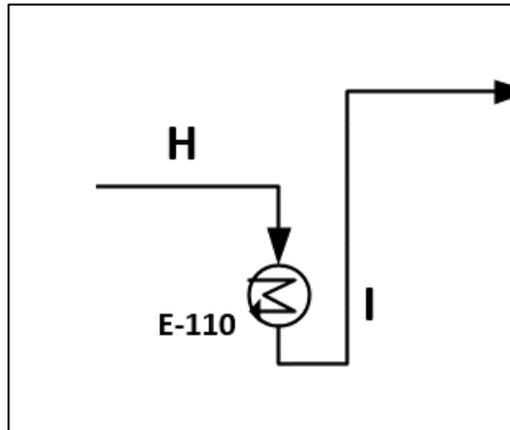
$B = \text{flujo del combustible}$

$PC = \text{poder calorífico}$

Consideraciones: El poder calorífico empleado para este el cálculo de la energía desprendida se consideró como biomasa de bagazo de caña⁴¹ ya que es la estructura más parecida al bambú que se encuentra reportada.

⁴¹ (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2019)

Equipo E-110
Operación: Intercambiador de calor
Proceso físico



Ecuaciones empleadas:

$$Q = \Delta \tilde{H} L$$

$$\Delta \tilde{H} = \sum_{i=1}^n \tilde{y}_i \tilde{C}_{p_m} \Delta T + \tilde{\lambda}_{H_2O} \tilde{Y}_{H_2O}$$

$$C_{p_m} = \tilde{a} + \tilde{b}T + cT^2 \quad \frac{\text{cal}}{\text{g mol}^\circ\text{K}}$$

$$W_0 = \frac{Q}{C_{p_0}(t_2 - t_1)}$$

Constantes⁴²:

Compuesto	a	b (10 ³)	c (10 ⁶)
Agua	7.256	2.298	0.283
Dióxido de carbono	6.339	10.14	-3.415

$$\tilde{\lambda}_{H_2O}^{25^\circ\text{C}} = 10,497 \frac{\text{kcal}}{\text{kgmol}}$$

$$C_{p_0} = 1 \frac{\text{BTU}}{\text{lb}^\circ\text{F}}$$

$$\rho_{H_2O} = 62.43 \frac{\text{lb}}{\text{ft}^3}$$

⁴² (Valiente & Tlaczin Stivalet, 1991)

Apéndice V. Rubros del capital fijo de inversión

La siguiente tabla contiene una lista representativa de los rubros de capital fijo correspondientes a una planta nueva y son tomados del autor Peters⁴³.

Tabla 19. Rubros del capital fijo de inversión.

Componente	Descripción
Costos directos	
Compra del equipo	Todos los equipos que figuran en el diagrama de flujo completo.
Compra de la instalación del equipo	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de todos los equipos que figuran en el diagrama de flujo. • Apoyos y soportes estructurales, aislaciones, pintura.
Instalación de instrumentación y controles	Compra, instalación, calibración.
Instalación de tubería	<ul style="list-style-type: none"> • Cañerías y tuberías para el proceso. • Soportes de cañerías, accesorios, válvulas. • Aislación de cañerías, equipos.
Instalación eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> • Equipos eléctricos. • Materiales eléctricos varios y mano de obra.
Obras civiles (incluyendo servicios)	<ul style="list-style-type: none"> • Obras civiles (edificios) para el proceso – subestructuras, superestructuras, plataformas, soportes, escaleras fijas y móviles, caminos de acceso, grúas, monorraíles, elevadores, ascensores. • Obras civiles (edificios) auxiliares – oficinas administrativas, consultorios médicos o dispensarios, cafetería, garage, depósito para productos, depósito para repuestos, guardia y seguridad, servicio contra incendios, edificios para el personal, laboratorio de investigaciones, laboratorio de control.

⁴³ (Peters, Timmerhaus, & West, 1991)

	<ul style="list-style-type: none"> • Talleres de mantenimiento – eléctrico, de cañerías, mecánico, de soldadura eléctrica, carpintería, de instrumentos. • Servicios para los edificios – electricidad, plomería, eliminación de polvos, acondicionamiento de aire, iluminación de ascensores, escaleras, teléfonos, pintura, sistema de riego, alarma de incendios.
Mejoras del terreno	Preparación del terreno – limpieza, nivelación, caminos, aceras, líneas de ferrocarril, cercos, estacionamiento.
Instalación de servicios	<ul style="list-style-type: none"> • Servicios auxiliares – vapor, agua, energía eléctrica, refrigeración, combustibles, eliminación de residuos y efluentes. • Instalaciones – pozos para obtener agua, tomas de agua provenientes de ríos, tratamiento de agua, tanques para almacenar agua, subestación eléctrica, almacenamiento de combustible, planta para el tratamiento de efluentes, protección contra incendios. • Equipos no pertenecientes al proceso – muebles de oficina, equipos de oficina, equipos de cafetería, equipos médicos y de seguridad, maquinaria de los talleres, automotores, equipos de laboratorio, estanterías, carretillas, equipos de limpieza, extintores de fuego, mangueras, equipos para la carga y descarga. • Distribución y embalaje – equipos para almacenar y manipular las materias primas y productos, equipos para embalar productos, estación de carga.
Terreno	<ul style="list-style-type: none"> • Medición y deslinde, honorarios. • Costo de la propiedad
Costos indirectos	
Ingeniería y supervisión	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de ingeniería – administrativos, de procesos, de diseño, de ingeniería general, confección de planos, ingeniería de costos, compras, expedición, reproducción, comunicaciones, modelos en escala, honorarios del asesor, viajes. • Ingeniería de la supervisión e inspección.
Gastos de construcción	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción, operación y mantenimiento de edificios e instalaciones temporales, oficinas, caminos, zonas de estacionamiento, ferrocarriles, electricidad, cañerías, comunicaciones, cercos. • Herramientas y equipos para la construcción.

	<ul style="list-style-type: none">• Supervisión de la construcción, contabilidad, conservación de plazos, compras, expedición.• Personal y gastos correspondientes a los depósitos, guardias.• Seguridad, médicos, beneficios marginales.• Autorizaciones, ensayos en obra, licencias especiales.• Impuestos, seguros, intereses.
Gastos legales	<ul style="list-style-type: none">• Identificación de regulaciones aplicables a nivel federal, estatal y local.• Preparación de las normas requeridas por las agencias reguladoras.• Adquisición de aprobación regulatoria.• Negociaciones contractuales.
Pago a contratistas	
Contingencia	

Bibliografía

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (Julio de 2017). *La Estrategia de la FAO sobre el Cambio Climático*. Recuperado el 6 de Abril de 2019, de <http://www.fao.org/3/a-i7175s.pdf>
- Aguirre-Cadena, J. F., Cadena-Iñiguez, J., Ramírez-Valverde, B., Juárez-Sánchez, J. P., Caso-Barrera, L., & Martínez-Carrera, D. (agosto de 2018). Sistemas de Producción de Bambú (*Guadua angustifolia* Kunth y *Bambusa oldhamii* Munro) en la Sierra Nororiental de Puebla, México. *Agroproductividad*, 11(8), 167-175.
- Anaya Durand, A., Barragán Acevedo, R., & Vergara Vega, A. (2013). *Manual de temas selectos de ingeniería de proyectos*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bucknell University. (s.f.). *Mammal Species of the World, Third Edition*. (B. Department, Editor) Recuperado el 18 de Enero de 2020, de <http://www.departments.bucknell.edu/biology/resources/msw3/browse.asp?id=14200667>
- Chemical Engineering. (May de 2019). Economic Indicators. *Chemical Engineering*, 84.
- Cornelissen, G., Pandit, N. R., Taylor, P., Pandit, B. H., Sparrevik, M., & Schmindt, H. P. (2016). Emissions and Char Quality of Flame-Curtain "Kon Tiki" Kilns for Farmer-Scale Charcoal/Biochar Production. *PLoS ONE*, 11(5).
- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. (2008). *Las micorrizas: una opción sostenible de manejo de suelos y nutrición de plantas*. Colombia: Produmedios.
- Coss Bu, R. (2006). *Análisis y evaluación de proyectos de inversión*. México: Limusa.
- Dao Ping, C. (1993). *Oficina Europea de Patentes (OEP) Patente nº EP0629598*.
- Demirbas, A. (2004). Effects of temperature and particle size on bio-char yield. *Journal of analytical and Applied Pyrolysis*(72), 243–248.
- Dibut Alvarez, B. (2009). *Biofertilizantes como insumo de una agricultura sostenible*. Habana: Editorial Universitaria.

- Doran, P. M. (1995). *Principios de ingeniería de los bioprocesos*. España: Acribia, S.A.
- Enciso L., A. (12 de Septiembre de 2019). México incumplirá meta 2020 en reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. *La Jornada*, pág. 38. Obtenido de <https://www.jornada.com.mx/2019/09/12/sociedad/038n1soc>
- Gasque Gómez, R. (2008). *Enciclopedia Bovina* (Primera ed.). (F. d. Zootecnia, Ed.) Distrito Federal, México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Gloobe, H. (1989). *Anatomía Aplicada del Bovino*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Grageda Cabrera, O. A., Díaz Franco, A., Peña Cabriales, J. J., & Vera Nuñez, J. A. (2012). Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(6), 1261-1274.
- Guthrie, K. (1969). Data and techniques for preliminary Capital Cost Estimating. *Chemical Engineering*, 76, 80-108.
- Guzmán Flores, J. (2018). *Fertilizantes químicos y biofertilizantes en México*. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Ciudad de México: Cámara de Diputados LXIII Legislatura. Recuperado el 28 de Mayo de 2019, de <http://www.cedrssa.gob.mx/files/10/64%20Fertilizantes%20qu%C3%ADmicos%20y%20biofertilizantes%20en%20M%C3%A9xico..pdf>
- Hammond, J., Shackley, S., Sohi, S., & Brownsort, P. (2011). Prospective life cycle carbon abatement for pyrolysis biochar systems in the UK. *Energy Policy*, 39(5), 2646-2655.
- Hernández, B. C. (2003). *Tesis. Crecimiento y formación de productos en cultivos aeróbicos y anaeróbicos de Bacillus subtilis con glucosa, xilosa y celobiosa*. Zacatepec, Morelos, México: Instituto Tecnológico de Zacatepec.
- Herrera Catalán, N. (18 de Diciembre de 2019). Bambú para contrarrestar el cambio climático. *BBC Mundo*. Obtenido de https://www.bbc.com/mundo/noticias/2010/12/101209_bambu_contra_cambio_climatico
- Hogares Juveniles Campesinos. (2012). *Guía Interactiva alfabética del campo* (Vol. 2). Bogotá, Colombia: Grania Hogares Juveniles.

- Ibarrola, R., Evar, B., & Reay, D. (Julio de 2013). Comercialización de biocarbón (biochar) en México. Edimburgo.
- Industria y Comercio Superintendencia. (2014). Tecnologías relacionadas con biofertilizantes. *Boletín tecnológico*.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2017). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero 1990 - 2017*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2019, de https://datos.abiertos.inecc.gob.mx/Datos_abiertos_INECC/Inventario_Nacional_de_Gases_de_Efecto_Invernadero/INEGyCEI_2017/INEGyCEI_1990-2017_IPCC_2006.xlsx
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (24 de Marzo de 2018). *Estudios e Investigaciones 2019 - 2013 en materia de mitigación del cambio climático*. Obtenido de <https://www.gob.mx/inecc/documentos/investigaciones-2018-2013-en-materia-de-mitigacion-del-cambio-climatico>
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (s.f.). *Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2015*. Recuperado el 7 de Agosto de 2019, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311180/Imagen_INEGYCEI_2015.pdf
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007*. Recuperado el 14 de Junio de 2019, de <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/2007/default.html#Tabulados>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *Censo Agrícola-Ganadero 1991*. Recuperado el 14 de Junio de 2019, de <https://www.inegi.org.mx/programas/cagf/1991/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *Edafología*. Recuperado el 31 de Julio de 2019, de <https://www.inegi.org.mx/temas/edafologia/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s.f.). *Encuesta Nacional Agropecuaria 2012*. Recuperado el 14 de Junio de 2019, de <https://www.inegi.org.mx/programas/ena/2012/default.html>
- Jiménez Alcaide, L., & Rodríguez Pascual, A. (2016). *El proyecto de una planta química*. Córdoba: UCOPress, Editorial de la Universidad de Córdoba.

- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management: science and technology*. London, UK: earthscan.
- Matsui, K. (2003). *Australia Patente nº AU2003261842*.
- Morales Ibarra, M. (2007). Los biofertilizantes. Una alternativa productiva, económica y sustentable. *Estudios agrarios*, 13(36), 93-119. Recuperado el 24 de Abril de 2019, de http://www.pa.gob.mx/publica/rev_36/Marcel%20Morales%20Ibarra.pdf
- Mordor Intelligence. (s.f.). *GLOBAL BIOFERTILIZERS MARKET - GROWTH, TRENDS AND FORECAST (2019-2024)*. Recuperado el 25 de Junio de 2019, de <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/global-biofertilizers-market-industry>
- Nebel J., B., & Wright T., R. (1999). *Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible, 6a. ed.* México: Prentice Hall.
- Ngo, P. T., Rumpel, C., Janeau, J.-L., Dang, D.-K., Doan, T. T., & Jouquet, P. (2016). Mixing of biochar with organic amendments reduces carbon removal after field exposure under tropical conditions. *Ecological Engineering*, 91, 378-380.
- ONU Medio Ambiente. (01 de Marzo de 2019). *Nueva Década de la ONU para la Restauración de los Ecosistemas, una gran oportunidad para seguridad alimentaria y la acción climática*. Recuperado el 13 de Agosto de 2019, de <https://www.unenvironment.org/es/news-and-stories/comunicado-de-prensa/nueva-decada-de-la-onu-para-la-restauracion-de-los>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Recuperado el Junio de 2019, de <https://undocs.org/es/A/70/L.1>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2008). *Base referencial mundial del recurso del suelo*. Recuperado el 26 de Julio de 2019, de <http://www.fao.org/3/a-a0510s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2016). *FAO*. Recuperado el 30 de Abril de 2019, de El cambio climático, la agricultura y la seguridad alimentaria: <http://www.fao.org/3/a-i5349s.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2017). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: Cambio climático*,

- agricultura y seguridad alimentaria. *40.º período de sesiones*, (pág. 14). Roma.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.). *Portal de Suelos de la FAO*. Recuperado el 10 de Octubre de 2018, de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-biodiversity/es/>
- Pandit, N. R., Mulder, J., Hale, S. E., Schmidt, H. P., & Cornelissen, G. (2017). Biochar from "Kon Tiki" flume curtain and other kilns: Effects of nutrient enrichment and kiln type on crop yield and soil chemistry. *PLoS ONE*, *12*(4).
- Peters, M. S., Timmerhaus, K. D., & West, R. E. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* (Fifth ed.). New York: McGraw-Hill Higher Education.
- Reklaitis, G. V. (1989). *Balances de Materia y Energía*. México: McGraw-Hill.
- Riviera-Cruz, M. d., Trujillo-Narcía, A., & Alejo Pereyra, D. E. (febrero de 2010). LOS BIOFERTILIZANTES INTEGRADOS CON BACTERIAS FIJADORAS DE N, SOLUBILIZADORAS DE P Y SUSTRATOS ORGÁNICOS EN EL CRECIMIENTO DE NARANJO AGRIO *Citrus aurantium* L. *Interciencia*, *35*(2), 113-119. Recuperado el 15 de Diciembre de 2019, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33913150006>
- Rodríguez Marín, R. M. (2005). *Tesis. Determinación de la distribución potencial de las especies nativas e introducidas de bambú en México*. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rodríguez Marín, R. M., & Biodiversidad, C. N. (2020). *GBIF | Global Biodiversity Information Facility*, 1.7. Recuperado el 16 de Julio de 2020, de Determinación de la distribución potencial de las especies nativas e introducidas de bambú en México.: <https://doi.org/10.15468/zebge3>
- Rodríguez Suppo, F. (1982). *Fertilizantes: Nutrición vegetal*. México: AGT Editor S.A.
- Ross, S. A., Westerfield, R. W., & Jaffe, J. (2005). *Finanzas corporativas* (Séptima ed.). México: McGraw-Hill Interamericana.
- Ruiz de Elvira, A. (2001). *Quemando el futuro. Clima y cambio climático*. España: NIVOLA libros ediciones.

- SAGARPA. (s.f.). *SIAP*. Recuperado el 29 de Julio de 2019, de Dulce como la naranja...: <http://siaprendes.siap.gob.mx/contenidos/1/03-citricos/hago-0.html#>
- Salazar, B. (Diciembre de 2016). Enfrentando el cambio climático. *La Revista Agraria*, 12-15.
- Salgado García, S., & Núñez Escobar, R. (2012). *Manejo de Fertilizantes Químicos y Orgánicos*. México: Biblioteca Básica de Agricultura.
- Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. (2017). *Cítricos. Limón, naranja y toronja mexicanos*. México: SAGARPA.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. (2018). *Atlas Agroalimentario 2012-2018*. Recuperado el 17 de Mayo de 2019, de https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (04 de Septiembre de 2019). *Registro Nacional de Emisiones (RENE)*. Obtenido de Lista de combustibles 2019 que se considerarán para identificar a los usuarios con un patrón de alto consumo, así como los factores para determinar las equivalencias en términos de barriles equivalentes de petróleo: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/428334/Lista_de_combustibles_2019.pdf
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2012). *Suelos*. Recuperado el 26 de Julio de 2019, de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe_12/pdf/Cap3_suelos.pdf
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (14 de 08 de 2015). ACUERDO que establece los gases y compuestos de efecto invernadero que se agrupan para efectos de reporte de emisiones, así como sus potenciales de calentamiento. *Diario Oficial de la Federación*. Recuperado el 17 de Abril de 2019, de http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/dof_acuerdo_de_agrupacion.pdf
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2016). *Registro Nacional de Emisiones (RENE)*. Recuperado el 16 de Mayo de 2019, de Guía de Usuario Registro Nacional de Emisiones (RENE):

http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/cicc/20160623_guia_rene.pdf

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (14 de Septiembre de 2017). *Rumiantes: los que sí clasifican*. Recuperado el 2018 de Enero de 2020, de <https://www.gob.mx/siap/articulos/rumiantes-los-que-si-clasifican>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (s.f.). *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola*. Recuperado el 27 de Julio de 2019, de <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (s.f.). *Avance de Siembras y Cosechas Resumen por Estado*. Recuperado el 27 de Julio de 2019, de http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/ResumenProducto.do

Shackley, S., & Thompson, M. (2012). Lost in the mix: will the technologies of carbon dioxide capture and storage provide us with a breathing space as we strive to make the transition from fossil fuels to renewables? *Climate Change*, 110, 101-121.

Shackley, S., Hammond, J., Gaunt, J., & Ibarrola, R. (2011). The feasibility and costs of biochar deployment in the UK. *Carbon Management*, 2(3), 335-356.

Smebye, A. B., Sparrevik, M., Schmidt, H. P., & Cornelissen, G. (2017). Life-cycle assessment of biochar production systems in tropical rural areas: Comparing flame curtain kilns to other production methods. *Biomass and Bioenergy*, 101, 35-43.

Thompson, L., & Troeh, F. (1998). *Los suelos y su fertilidad* (Cuarta ed.). España: Reverté.

UNFCCC. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. (2007). *United Nations Climate Change*. Recuperado el 23 de Abril de 2019, de https://unfccc.int/resource/docs/publications/unitingonclimate_spa.pdf

Valiente, A., & Tlacatzin Stivalet, R. P. (1991). *Problemas de balance de materia y energía*. México: Alhambra Mexicana.

Vega-González, L. R. (2003). Evaluación, avalúo y ciclo de vida de la tecnología (Parte I). *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 4(3), 145-156. Recuperado el 18 de Junio de 2020, de <http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2003.04n3.012>

- Vega-González, L. R. (2003). Evaluación, avalúo y ciclo de vida de la tecnología (Parte II). *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 4(4), 207-224. Recuperado el 18 de Junio de 2020, de <http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2003.04n4.017>
- Vogt, G. M., Vogt, H. S., & Walter, H. K. (1995). *España Patente nº ES2165529*.
- Wiljan, H., Niefnecker, U., Muck, O., Kubler, H., Schnell, R., Carra, R., & Wild, M. (1992). *España Patente nº ES2083617*.
- Zhang, L. Y. (1994). *Estados Unidos Patente nº WO1995004814*.
- Zigor, A. (13 de Septiembre de 2019). El bambú emerge como herramienta de desarrollo sostenible. *El País*. Obtenido de https://elpais.com/sociedad/2019/09/13/actualidad/1568409941_200834.html