

# INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL



UNIDAD PROFESIONAL  
INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERÍA Y  
CIENCIAS SOCIALES Y ADMINISTRATIVAS



SECCIÓN DE ESTUDIOS  
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

## PROTOTIPO DE CULTIVO DE MAGUEY Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SUSTENTABLES DE SUS DERIVADOS

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

PRESENTA:

**ING. JORGE RAYMUNDO SILVA**

DIRECTORES DE TESIS:

**M. EN C. MARIO AGUILAR FERNÁNDEZ  
DR. ALEJANDRO DANIEL CAMACHO VERA**

CIUDAD DE MÉXICO, AGOSTO 2016

# Acta de revisión de tesis



SIP-14-BIS

## INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

### ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, siendo las 09:00 horas del día 24 del mes de mayo del 2016 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de UPIICSA para examinar la tesis titulada:

"PROTOTIPO DE CULTIVO DE MAGUEY Y SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN SUSTENTABLES DE SUS DERIVADOS"

Presentada por el alumno:

RAYMUNDO

Apellido paterno

SILVA

Apellido materno

JORGE

Nombre(s)

Con registro:

B	1	4	1	1	1	8
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:


MAESTRÍA EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

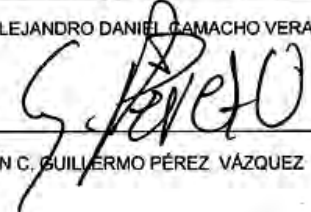
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA  
Directores de tesis

  
M. EN C. MARIO AGUILAR FERNÁNDEZ


  
DR. ALEJANDRO DANIEL CAMACHO VERA

  
DR. IGOR ANTONIO RIVERA GONZÁLEZ

  
M. EN C. GUILLERMO PÉREZ VÁZQUEZ

  
DRA. MARIANA MARCELINO ARANDA

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

  
LAI. JAIME ARTURO MENESES SALVÁN



# Carta de cesión de derechos

---

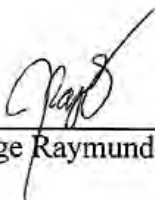


***INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL***  
***SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO***

## ***CARTA CESIÓN DE DERECHOS***

En la Ciudad de México, D.F. el día 28 del mes de Junio del año 2016, el que suscribe C. Jorge Raymundo Silva, alumno del Programa de Maestría en Ingeniería Industrial, con número de registro B141118, adscrito a la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la UPIICSA-IPN, manifiesto que es el autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del M. en C. Mario Aguilar Fernández y del Dr. Alejandro Daniel Camacho Vera y ceden los derechos del trabajo titulado “Prototipo de Cultivo de Maguey y Simulación de Sistemas de Producción Sustentables de sus Derivados”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o directores del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección [ing.jray@gmail.com](mailto:ing.jray@gmail.com). Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

  
\_\_\_\_\_  
C. Jorge Raymundo Silva

# Proyectos de investigación

---

Este trabajo fue desarrollado con el apoyo de los proyectos de investigación de la secretaria de investigación y posgrado del instituto politécnico nacional que se indican:

- **SIP 20151711:**  
Opciones de sistemas productivos para suelos pobres en zonas semiáridas
- **SIP 20150486:**  
Acercamiento a la micro y pequeña empresa familiar rural: Proponiendo estrategias para la continuidad del negocio
- **SIP 20161280:**  
Reintroducción de maguey y gusano rojo como alternativas de negocio sustentable, para suelos pobres en zonas semiáridas
- **SIP 20160626:**  
Acercamiento a la micro y pequeña empresa familiar rural: Implementando estrategias para la continuidad del negocio

# Agradecimientos

---

Como decía el poeta colombiano Álvaro Mutis, *“Cuando la gratitud es tan absoluta las palabras sobran”*. Sin embargo en mi opinión, jamás está de más expresarlas:

Me llena de felicidad y orgullo concluir esta ardua tarea, que es la elaboración de una tesis de maestría y poder compartir este logro con todas las personas que me ayudaron a cumplirlo, desde una pequeña opinión o comentario de un amigo hasta una orden directa de uno de mis asesores de cambiar algo, a todos les agradezco profundamente su ayuda y apoyo incondicional y a aquellos que no mencione por mi mala memoria, mi más sincero agradecimiento.

A mis directores de tesis el maestro Mario y el Dr. Camacho, muchas gracias por hacer posible la realización de este trabajo, muchas gracias por su paciencia, tiempo y dedicación, no solo son increíbles profesores sino también increíbles personas.

A mis profesores de la maestría, gracias por formarme como ingeniero, gracias por compartir sus conocimientos conmigo. Gracias Dra. Mariana por darme la oportunidad de participar en esta investigación, por ser la primera piedra de lo que estoy seguro será un gran proyecto. Gracias maestro Guillermo y Dr. Igor por sus recomendaciones sobre cómo mejorar mi trabajo.

A mis padres Jorge y Patricia, por darme la vida y su apoyo en todo lo que realice, creer en mí como nadie más. Gracias papá, gracias mamá, gracias a ambos por tus consejos y enseñanzas, por su amor incondicional, por impulsarme a ser mejor persona.

A mis hermanas Karla y Karen, gracias por siempre creer en mí, por darme su apoyo y por competir sanamente con nuestros logros académicos.

A mis abuelos Carlos y Martha, gracias por su sabiduría, por compartir sus experiencias de vida y por estar conmigo en todos los momentos importantes de mi vida. Gracias a toda mi familia que de alguna manera me alentaron a seguir adelante.

A los nuevos amigos que conseguí al realizar este trabajo, los estudiantes del Dr. Camacho (ENCB) y de la Dra. Mariana (UPIICSA): Johaly, Dulce, Juan Carlos, Christopher, David, Trinidad y Francisco, gracias por apoyarme, por compartir las faenas, asolearse conmigo y por brindarme su ayuda. A mis amigos de la maestría: Paola, Yunuem, Alberto, Fernando, Gerizim, Xavier y Edgar, gracias por sus opiniones y comentarios sobre mi trabajo, por la diversión y aventuras que compartimos, por estar conmigo en este trayecto.

Al Señor Porfirio por permitirnos el acceso a su parcela para desarrollar este trabajo, gracias especialmente por su ayuda y conocimientos sobre el campo y principalmente gracias por creer en este proyecto.

Al Instituto Politécnico Nacional, gracias por darme una carrera en ESIME y ahora una Maestría en UPIICSA. Gracias por darme la oportunidad de conocer a tantas personas maravillosas. Gracias por ser mi *alma mater*.

*“Incluso si las cosas no salen según lo planeado, es crucial recordar los momentos más pequeños que componen las historias más grandes en la vida, porque esos pequeños momentos siempre serán los más dulces recuerdos.”*

# Resumen

---

La agricultura tradicional intensiva, la alta densidad poblacional y las condiciones climáticas del Altiplano mexicano están relacionadas con altos niveles de erosión, baja productividad agrícola y pobreza en muchas zonas. El maguey es una buena opción para recuperar suelos y retener humedad, además de producir derivados de interés comercial. A fin de evaluar la viabilidad de sistemas productivos sustentables basados en maguey, se estableció una Unidad de Producción Rural, reintroduciendo el cultivo de maguey pulquero (*Agave salmiana*), en la localidad de San Antonio Portezuelo, Puebla. Por medio de muestreos aleatorios estratificados periódicos, se determinó su viabilidad, reproducción vegetativa, incremento de biomasa y se calculó la ecuación de crecimiento. Se emplearon estos parámetros para plantear la cadena de Markov y calcular el modelo matricial de Leslie para simular el crecimiento poblacional en número de individuos, biomasa y para calcular los regímenes de extracción de equilibrio a cinco años. Además, con base a sus respectivas patentes, se realizaron los modelos de simulación de los sistemas de producción de inulina de agave y cerveza de agave. Los cálculos indican una producción de biomasa del orden 26 ton/ha/año con un potencial de 480 ton/ha en cinco años. Esto permite afirmar la viabilidad de dichos sistemas de producción para crear negocios sustentables y así influenciar de manera positiva a nivel social, económico y ambiental en las condiciones de la localidad de estudio.

## **Palabras Clave:**

Maguey, *Agave salmiana*, cálculo de incremento, simulación de procesos, modelo matricial de Leslie, inulina de agave, cerveza de agave, negocio sustentable.



# Abstract

---

Traditional intensive agriculture, high population density and climatic conditions of the Mexican high plateau are associated with high levels of erosion, low agricultural productivity and poverty in many areas. The agave is a good option to recover and retain soil moisture, besides producing derivatives of commercial interest. In order to assess the viability of sustainable production systems based on agave, a Rural Production Unit was established, by reintroducing the cultivation of maguey pulquero *Agave salmiana*, in the locality of San Antonio Portezuelo, Puebla. Through stratified random sampling, their, biomass increase, viability and vegetative reproduction were determined; in addition the growth equation was calculated. These parameters were used to propose the Markov chain and calculate the Leslie matrix model to simulate population growth in number of individuals and biomass, as well to calculate equilibrium extraction regimes for the next five years. Besides, based on their respective patents, simulation models for production systems of agave inulin and agave beer were made. Estimates indicate a production of biomass by 26 ton/ha/year with a potential of 480 ton/ha over five years. This allows us to affirm the viability of agave production systems to create sustainable businesses and thus positively influence social, economic and environmental conditions of the study site.

**Key words:**

Maguey, *Agave salmiana*, biomass increase calculation, process simulation, Leslie matrix, agave inulin, agave beer, sustainable business.



# Índice

---

Acta de revisión de tesis.....	ii
Carta de cesión de derecho.....	iii
Proyectos de Investigación.....	iv
Agradecimientos.....	v
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice de figuras.....	xii
Índice de tablas.....	xiv
Prefacio.....	xv
CAPÍTULO 1: Introducción.....	1
1.1 Sitio de estudio.....	1
1.1.1 Estado de Puebla.....	2
1.1.2 Municipio General Felipe Ángeles.....	3
1.1.3 Localidad de San Antonio Portezuelo.....	7
1.2 Planteamiento del problema.....	10
1.3 Marco teórico.....	12
1.3.1 La agricultura en México.....	12
1.3.2 La planta de maguey en México.....	15
1.3.3 Desarrollo local en México.....	18
1.3.4 Desarrollo sustentable.....	21
1.3.5 Sistemas de producción.....	27
1.3.6 Análisis Estadístico.....	31
1.3.7 Desarrollo de un prototipo.....	32
1.3.8 Simulación de procesos.....	34
1.4 Pregunta de investigación.....	40
1.5 Objetivo de investigación.....	40

1.6	Enfoque de la investigación.....	41
1.7	Alcance de la investigación .....	41
CAPÍTULO 2: Métodos y materiales .....		42
2.1	Método de investigación.....	42
2.1.1	Método cuantitativo .....	45
2.1.2	Método tecnológico .....	46
2.1.3	Método empírico inductivo.....	46
2.1.4	Método de simulación de sistemas .....	47
2.2	Revisión de literatura.....	49
2.3	Herramientas para el análisis de datos .....	58
2.3.1	Análisis estadístico .....	58
2.3.2	Análisis de regresión y curvas de ajuste .....	60
2.4	Diagrama de transición de estados y cadena de Markov .....	61
2.5	Modelo matricial de Leslie .....	63
2.6	Método de desarrollo de prototipos.....	67
2.7	Modelos de producción de los derivados del maguey .....	69
2.7.1	Modelo de producción de Inulina de agave.....	70
2.7.2	Modelo de producción de cerveza de agave.....	77
2.8	Material y equipo para la investigación .....	85
2.8.1	Material y equipo para el prototipo de UPR .....	85
2.8.2	Material y equipo para la obtención de Inulina de agave.....	86
2.8.3	Material y equipo para la obtención de Cerveza de agave .....	87
CAPÍTULO 3: Resultados.....		88
3.1	Vista general del Sistema de producción .....	88
3.2	Descripción del Sistema de producción .....	90
3.3	Prototipo de UPR: Cultivo de maguey.....	91
3.3.1	Identificación de requerimientos.....	91
3.3.2	Desarrollo del prototipo .....	94
3.3.3	Utilización del prototipo .....	95

3.3.4	Revisión del prototipo .....	96
3.4	Resultados estadísticos de la investigación.....	97
3.4.1	Selección de la muestra .....	97
3.4.2	Recolección de datos .....	97
3.4.3	Análisis de datos.....	106
3.4.4	Análisis de muestras aleatorias estratificadas .....	114
3.5	Modelo matricial de Leslie del cultivo de agaves .....	118
3.5.1	Recopilación de datos y división de clases .....	118
3.5.2	Desarrollo de la Matriz de Leslie .....	120
3.6	Sistema de producción de inulina de agave.....	133
3.7	Sistema de producción de cerveza de agave .....	138
CAPÍTULO 4:	Discusión .....	143
4.1	Análisis interno .....	143
4.1.1	Prototipo de Unidad de Producción Rural .....	144
4.1.2	Matriz de Leslie del cultivo de agave .....	145
4.1.3	Inulina de agave .....	146
4.1.4	Cerveza de agave.....	148
4.2	Análisis externo .....	150
4.2.1	Prototipo de Unidad de Producción Rural .....	151
4.2.2	Inulina de agave .....	153
4.2.3	Cerveza de agave.....	155
4.2.4	Potencial de ventas del cultivo de agave .....	157
CAPÍTULO 5:	Conclusiones .....	158
5.1	Futuras investigaciones .....	160
Referencias.....		164
Productos de investigación.....		169

# Índice de figuras

---

Figura 1.1 Los tres pilares del desarrollo sustentable (Parris & Kates, 2003). .....	22
Figura 1.2 El "modelo de la muñeca rusa" del desarrollo sustentable (Levett, 1998). .....	23
Figura 1.3 Modelo del espacio justo y seguro para la humanidad (Raworth, 2012). .....	26
Figura 1.4 Esquema básico del sistema de producción (Carro & González, 2003). .....	27
Figura 1.5 Concepción de la estadística descriptiva (García, 2005). .....	31
Figura 1.6 Interfaz del software Arena. ....	39
Figura 2.1 Diagrama del proceso cuantitativo (Hernandez-Sampieri et al., 2010). .....	43
Figura 2.2 Diagrama del proceso de investigación. ....	45
Figura 2.3 Pasos para un estudio de simulación (Banks & Randall, 1998). .....	48
Figura 2.4 Interés geográfico de la palabra clave "Agave" (Google Trends, 2015). .....	50
Figura 2.5 Interés geográfico de la palabra clave "Desarrollo local" (Google Trends, 2015). .....	52
Figura 2.6 Interés geográfico de la palabra clave " <i>Sustainable Business</i> " (Google Trends, 2015). .....	54
Figura 2.7 Interés geográfico de la palabra clave "Sistema de producción" (Google Trends, 2015). .....	56
Figura 2.8 Diagrama de transición de estados. ....	62
Figura 2.9 Diagrama de cambio de estado. ....	62
Figura 2.10 Método de desarrollo de prototipos (Senn, 1992). .....	67
Figura 2.11 Diagrama del proceso de producción de inulina (Legorreta & Ogura, 2002). .....	72
Figura 2.12 Diagrama del proceso de producción de Cerveza de agave (Soltero, 2007). .....	79
Figura 3.1 Propuesta del Sistema de producción. ....	89
Figura 3.2 Tamaño de parcela .....	91
Figura 3.3 Parcela en San Antonio Portezuelo, Puebla. ....	92
Figura 3.4 Obtención de agaves. ....	92
Figura 3.5 Registro de datos. ....	93
Figura 3.6 Tiempo de espera para iniciar el cultivo. ....	93
Figura 3.7 Plantación de agaves. ....	94
Figura 3.8 Registro de ubicación. ....	94
Figura 3.9 Determinación del incremento de biomasa. ....	95
Figura 3.10 Seguimiento de la plantación. ....	96
Figura 3.11 Regresión exponencial de la población de maguey. ....	107

Figura 3.12 Diagrama de caja de la variable altura. ....	108
Figura 3.13 Diagrama de caja de la variable peso.....	109
Figura 3.14 Gráfica de barras de clases de alturas. ....	111
Figura 3.15 Gráfica de barras de clases de pesos. ....	113
Figura 3.16 Regresión polinomial del incremento en biomasa. ....	117
Figura 3.17 Cadena de Markov del cultivo de agave con 5 clases.....	120
Figura 3.18 Cadena de Markov del cultivo de agave con 13 clases.....	121
Figura 3.19 Gráfica de columnas apiladas de número de agaves por clase. ....	125
Figura 3.20 Gráfica de columnas apiladas de biomasa por clase. ....	128
Figura 3.21 Gráfica del nivel de equilibrio de agaves según su extracción. ....	130
Figura 3.22 Gráfica nivel de equilibrio de biomasa según su extracción. ....	131
Figura 3.23 Modelo de simulación de producción de inulina de agave. ....	134
Figura 3.24 Resumen de entidades del modelo de inulina de agave. ....	135
Figura 3.25 Resumen de colas de espera del modelo de inulina de agave. ....	136
Figura 3.26 Resumen de los recursos del modelo de inulina de agave. ....	137
Figura 3.27 Modelo de simulación de producción cerveza de agave. ....	139
Figura 3.28 Resumen de entidades del modelo de cerveza de agave.....	140
Figura 3.29 Resumen de colas de espera del modelo de cerveza de agave. ....	141
Figura 3.30 Resumen de los recursos del modelo de cerveza de agave. ....	142
Figura 4.1 Diagrama de entidades del modelo de inulina de agave.....	147
Figura 4.2 Diagrama de entidades del modelo de cerveza de agave.....	149

# Índice de tablas

---

Tabla 1.1 Información de la localidad (INEGI, 2010a; SEDESOL, 2010).	7
Tabla 1.2 Indicadores de carencia en viviendas (INEGI, 2005, 2010b).	8
Tabla 1.3 Indicadores de Marginación (CONAPO, 2005, 2011).	9
Tabla 1.4 Clases de procesos de producción (Bueno, 2004).	28
Tabla 2.1 Artículos por año con la palabra clave “Maguey” (Web of Science, 2015).	51
Tabla 2.2 Artículos por año con la palabra clave “Desarrollo local” (Web of Science, 2015).	53
Tabla 2.3 Artículos por año con la palabra clave “Negocio sustentable” (Web of Science, 2015).	55
Tabla 2.4 Artículos por año con la palabra clave “Sistema de producción” (Web of Science, 2015).	57
Tabla 3.1 Muestra aleatoria estratificada #1.	98
Tabla 3.2 Muestra aleatoria estratificada #2.	100
Tabla 3.3 Muestra aleatoria estratificada #3.	102
Tabla 3.4 Muestra aleatoria estratificada #4.	104
Tabla 3.5 Estadística descriptiva de la población de agaves.	106
Tabla 3.6 Valores del diagrama de caja de la variable altura.	108
Tabla 3.7 Valores del diagrama de caja del peso.	109
Tabla 3.8 Valores para definir la frecuencia de alturas.	110
Tabla 3.9 Frecuencia de alturas.	110
Tabla 3.10 Valores para definir la frecuencia de pesos.	112
Tabla 3.11 Frecuencia de pesos.	112
Tabla 3.12 Promedio de incrementos en las 4 muestras.	114
Tabla 3.13 Incremento en biomasa en las 4 muestras.	116
Tabla 3.14 División de clases de agaves para matriz de Leslie.	119
Tabla 3.15 Matriz de Leslie de 5x5 del cultivo de agave.	120
Tabla 3.16 Matriz de Leslie de 13x13 del cultivo de agave.	123
Tabla 3.17 Simulación del número de agaves a lo largo de 6 años.	124
Tabla 3.18 Clases con su peso promedio.	126
Tabla 3.19 Simulación de biomasa promedio a lo largo de 6 años.	127
Tabla 4.1 Contenido porcentual de inulina en diversas plantas (Moshfegh et al., 1999).	154
Tabla 4.2 Información nutrimental: Cerveza de agave & Cerveza tradicional (Soltero, 2007).	156
Tabla 4.3 Estimación de ventas por producto.	157

# Prefacio

---

La idea de desarrollar este trabajo de investigación surgió por parte de la Dra. Mariana Marcelino (UPIICSA) quien me motivó con uno de sus nuevos proyectos: un prototipo de cultivo de maguey que utilizaría sus derivados como productos para sistemas sustentables. En el cual nos brindaría su ayuda y conocimientos el M. en C. Mario Aguilar Fernández (UPIICSA) y el Dr. Alejandro Camacho (ENCB). Este trabajo se beneficia de la experiencia acumulada del trabajo comunitario y de campo de varios años de la Dra. Marcelino y del Dr. Camacho, por lo tanto, se continúa con el desarrollo del proyecto con la participación de otros camaradas politécnicos.

Se deben investigar soluciones para impulsar el desarrollo local y ponerlas en práctica, una de ellas es la propuesta en este trabajo al presentar como negocio sustentable al maguey y sus derivados. El objetivo de este trabajo es establecer un prototipo de cultivo de maguey para determinar su viabilidad e incremento en biomasa y diseñar modelos de simulación del incremento poblacional y en biomasas para abastecer sistemas de producción de derivados comerciales del maguey, buscando beneficios a nivel social, económico y ambiental.

La presentación del documento es con base en los lineamientos internacionales establecidos en la norma ISO 7144-86 (ISO, 1986). Mientras que la estructura de redacción del trabajo es: Introducción, Métodos, Resultados y Discusión, mejor conocida como formato IMRD (Weissberg & Buker, 1990; Wilkinson, 1991). De igual forma se tomó en cuenta las directrices que marca el Instituto Politécnico Nacional para elaborar una tesis de grado, escritos en el reglamento de Estudios de Posgrado.



El presente trabajo reconoce ampliamente la deuda con los investigadores que han precedido en los temas abordados dentro de la tesis por lo que se documenta cuidadosamente cada fuente, de manera que las contribuciones anteriores reciban el crédito apropiado. Para sustentar la investigación científica las fuentes de citas se encuentran escritas por medio del modelo de referencias bibliográficas APA (*American Psychological Association*) formato de la 6° edición (APA, 2000). Cabe aclarar que todas las figuras, tablas, diagramas, cálculos estadísticos y redacciones que no cuentan con referencia bibliográfica son de creación propia.

Todas las referencias bibliográficas se realizaron con la ayuda del software libre *Mendeley Desktop versión 1.15.3*. La edición del texto se realizó en el software de *Microsoft Office Word 2007*. Todos los títulos principales y subtítulos se encuentran en negritas y con fuente diferente al texto principal, la tipografía en cursiva denota términos en otros idiomas diferentes al español y términos técnicos. Los cálculos estadísticos, tablas y graficas se realizaron con el software *Microsoft Office Excel 2007*. Y las simulaciones presentadas con el software *Arena de Rockwell Automation versión 14.70*.

La estrategia de búsqueda consistió en analizar artículos científicos referentes a los temas tratados dentro de la tesis, en bases de datos académicos a los cuales tenemos acceso como estudiantes del IPN, entre las principales se encuentran CONRICyT y *Web of Science*, esta última la más utilizada en este trabajo. Con el fin de realizar una tendencia de palabras clave y elaborar la investigación presente.

El capítulo 1, presenta la información general de la localidad en donde se realizó el estudio, también presenta el marco teórico con todos los temas que fueron necesarios para el desarrollo de la investigación y termina con la redacción de la pregunta de investigación, su objetivo a lograr, el enfoque que se tomó y el alcance esperado.

El capítulo 2, describe los métodos y materiales que se ocuparon dentro de la investigación y desarrollo de la misma, principalmente el transcurso metodológico que se necesitó para elaborar los modelos de simulación que utilizan a los derivados del maguey como producto.

El capítulo 3, enuncia los resultados obtenidos en esta investigación, muestra las observaciones más relevantes por medio de tablas, imágenes y descripciones escritas que explican a detalle los sistemas de producción.

El capítulo 4, analiza los resultados alcanzados en la simulación de los sistemas de producción propuestos. A través de la interpretación de estos resultados se explica las evidencias obtenidas y las aportaciones de este trabajo, así como los posibles nuevos estudios que pueden surgir de la investigación realizada.

Antes de dar por finalizado el prefacio quiero agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico que me brindaron bajo su programa de becas de posgrado. También al Instituto Politécnico Nacional, a la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, y a la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería y Ciencias Sociales y Administrativas por darme la oportunidad de desarrollarme como ingeniero a nivel licenciatura y a nivel maestría y grabar en mí el lema y filosofía de vida: “La técnica al servicio de la Patria”.

# CAPÍTULO 1: Introducción

En el mercado de la actualización los negocios se ven forzados a generar nuevas ideas para destacar en el entorno y así obtener ventajas competitivas. En este capítulo se presenta la información general de la localidad en donde se realizó el estudio. Posteriormente se presenta el marco teórico con todos los temas que fueron necesarios para el desarrollo de la presente investigación. El capítulo termina con la redacción de la pregunta de investigación, su objetivo a lograr, el enfoque que se tomó y el alcance esperado.

## 1.1 Sitio de estudio

El siguiente apartado presenta la información principal de la localidad rural obtenida de documentos oficiales de organizaciones gubernamentales como: el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), el Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal (INAFED), la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) y el Consejo Nacional de Población (CONAPO). Se comienza con la información sobre el estado de Puebla, donde se encuentra la localidad, continuando con su municipio General Felipe Ángeles y finalizando con la localidad donde se realizó el estudio, San Antonio Portezuelo. Se pretende reunir y analizar la información para establecer el contexto general de la localidad así como la problemática y los recursos con los que cuenta.

## 1.1.1 Estado de Puebla

El Estado de Puebla colinda al norte con Hidalgo y Veracruz, al sur con Oaxaca y Guerrero al este con Veracruz y Oaxaca, y al oeste con Guerrero, Morelos, Edo. México, Tlaxcala e Hidalgo. Es el vigésimo primer estado más grande del país ocupando el 1.7% del total del territorio nacional, por cantidad de población es el quinto estado más poblado después del Distrito Federal, Estado de México, Veracruz y Jalisco. El 40.5% es población económicamente activa y el 22% de esta se dedica al sector primario. Puebla cuenta con 217 municipios conformados por 6,400 localidades, de las cuales Puebla y Tehuacán son las más representativas de acuerdo a su tasa poblacional.

El estado de Puebla aporta el 3.6% al Producto Interno Bruto (PIB), el noveno en orden de importancia por su contribución después del Distrito Federal, Estado de México, Nuevo León, Jalisco, Campeche, Veracruz, Guanajuato y Tabasco. Su aportación se debe principalmente a las industrias manufactureras y al comercio, con respecto a la agricultura, ganadería y aprovechamiento forestal, pesca y caza, Puebla es el noveno estado que mayor aporta a este rubro con un 4.5% nacional (INEGI, 2012).

La distribución de las actividades económicas del Estado de acuerdo a su superficie son: el 47.3% del total de su territorio se utiliza para la actividad agropecuaria o forestal, de las cuales el 41.6% son ejidales y el 52.9% son propiedad privada. Los derechos sobre la tierra son en un 91.4% propia y el 88.2% de las tierras se cosecha bajo temporal. Sus principales cultivos son: alfalfa verde, avena forrajera, chile verde, sorgo, jitomate, tomate verde, trigo de grano, frijol y maíz de grano, siendo este último el de mayor importancia. Para la comercialización de sus productos agropecuarios cuenta con 3 centrales de abasto, 154 mercados públicos y 240 tianguis (INEGI, 2009).

## 1.1.2 Municipio General Felipe Ángeles

### Reseña Histórica

La región que ocupa el municipio fue fundada por grupos nahuas, asentados en el lugar, de nombre Nochtitlán; antes de 1923 se llamaba San Pablo de las Tunas, dado que en ese lugar se da mucho el nopal y por lo consiguiente la tuna; pertenecía al municipio de Quecholac. El 4 de septiembre de 1923, por gestiones del Capitán Enrique Claudio Pozos se decretó su constitución del municipio, tomando el nombre del General Felipe Ángeles; se formó con las juntas auxiliares de Santiago Tenango, Santa Úrsula y San Antonio Portezuelo y por la ranchería de Candelaria Portezuelo. La cabecera municipal adoptó el nombre de General Felipe Ángeles, en honor de ese ilustre militar (INAFED, 2011).

### Toponimia

El glifo de su fundación es un nopal, formado por la parte verde, la roja es la vitalidad, y la amarilla la flor del nopal. En la parte de arriba tiene dos tunas. Aduciendo el nombre antiguo de *Nochtitlán*, que significa "Lugar de nopales"; sus radicales nahuas son, "*nochtli*", nopal, y "*tlán*", lugar.

### Localización

El municipio General Felipe Ángeles se localiza en la parte central del estado de Puebla. Sus coordenadas geográficas son: los paralelos 18° 59'00" y 19° 04'06" de latitud norte, y los meridianos 97° 04'06" y 97° 43'00" de longitud occidental. Limita al norte con Mazapiltepec de Juárez y Soltepec, al sur colinda con: Quecholac; al este con Acatzingo y al oeste con San Juan Atenco y San Salvador el Seco.

## **Extensión**

El municipio tiene una superficie de 73.99 km<sup>2</sup>, que lo ubica en el lugar 145 con respecto a los demás municipios del estado.

## **Orografía**

El municipio se ubica dentro de la región morfológica del Valle de Tepeaca, limitando al norte por las estancias meridionales de La Malinche, al sur por la Sierra del Tentzo, al este por los Llanos de San Andrés y al oeste por el Valle de Puebla. Tiene como característica principal que el suelo es eminentemente calizo y a los yacimientos de mármol que le han dado renombre al municipio de Tecali. El relieve del municipio está determinado por la presencia de la alta y grande sierra que cruza el oriente y que continúa por el municipio de Chalchicomula de Sesma (Ciudad Serdán); alcanza más de 700 m de altura y culmina en los Cerros Chalconquiahuitl, El Coyote y el Ocotal. El resto del municipio muestra un descenso constante en dirección noreste-sureste, fuerte al principio y suave al extremo suroeste. La altura del municipio oscila entre 2,120 y 2,900 metros sobre el nivel del mar (msnm).

## **Clima**

En el municipio se presentan dos climas:

1. Clima templado subhúmedo con lluvias en verano, se presenta al sur y oriente del municipio.
2. Clima templado subhúmedo sin lluvias en verano, se presenta al centro y oeste del municipio.

## Hidrografía

El municipio no cuenta con corrientes superficiales importantes, sólo es bañado por arroyos intermitentes provenientes de la sierra que se alza al oriente.

## Principales Ecosistemas

La Sierra que cruza el oriente del municipio está cubierta de asociaciones boscosas de pino y encino con vegetación secundaria arbustiva; en ella se encuentran especies, como pino, encino, roble, táscate, madroño, escobilla, jarilla, zacatón y liendrilla.

Por último, el cerro que se localiza al sureste está cubierto de matorral desértico rosetófilo con cirios e intermedio entre las zonas temporales y los bosques de la sierra, posee pequeñas áreas de pastizal inducido, que presentan signos de erosión

## Características y Uso de Suelo

En el municipio se identifican suelos pertenecientes a tres tipos:

1. *Litosol*: Son suelos de menos de 10 cm de espesor sobre roca o tepetate. No son aptos para cultivos de ningún tipo y solo pueden destinarse a pastoreo. Cubren la sierra que cruza el oriente del municipio.
2. *Cambisol*: Son suelos adecuados para actividades agropecuarias con actividad moderada a buena según la fertilización a que sean sometidos. Por ser arcillosos y pesados tienen problemas de manejo. Es el suelo predominante, cubre el occidente del municipio.
3. *Regosol*: Son suelos formados por material suelto que no sea aluvial reciente, como dunas, cenizas volcánicas, playas, etc. Su uso varía según su origen, son muy pobres en nutrientes, prácticamente infértiles. Se localizan en el extremo oriental y áreas reducidas al sureste del municipio.



## **Recursos naturales**

Existe madera en el Monte de la Candelaria, yacimientos de mármol y suelos calizos.

## **Fauna**

Mamíferos: conejo, mapache, zorrillos, coyotes, tejón, tuzas, ardillas y víboras.

Aves: Paloma tehuacanera, gorrión y otras especies.

## **Tradiciones**

Celebración patronal en honor a San Pablo el 29 de junio. Tres días antes del domingo de ramos se celebra una convivencia en el monte de Candelaria Portezuelo, que es un bosque donde esperan "La Palma" que se trae del estado de Veracruz. Se festeja el 15 de septiembre fiestas patrias. El 1 y 2 de noviembre el día de los muertos con ofrendas y visitas a los panteones, 12 de diciembre en honor a la Virgen de Guadalupe, Navidad y Año nuevo.

## **Caracterización de Ayuntamiento**

El H. Ayuntamiento de General Felipe Ángeles 1996-1999 está conformado por: Presidente municipal, Síndico, 6 Regidores de mayoría relativa y 2 Regidores de representación proporcional.

Se tienen las siguientes comisiones: Gobernación, Hacienda, Obras Públicas, Salud, Ecología, Educación, Industria y Comercio, Agricultura y Ganadería.

## **Reglamentación Municipal**

- Bando de Policía y Buen Gobierno
- Reglamento interno.

### 1.1.3 Localidad de San Antonio Portezuelo

San Antonio Portezuelo es una localidad perteneciente al municipio de General Felipe Ángeles, en el estado de PUEBLA. En la tabla 1.1, se muestra la información principal de la localidad de San Antonio Portezuelo en base al catálogo de entidades federativas, municipio y localidades del INEGI así como los datos particulares fueron obtenidos del Programa para el Desarrollo de Zonas prioritarias de la SEDESOL.

Datos actuales						
Clave INEGI	210650003					
Clave de la entidad	21					
Nombre de la Entidad	Puebla					
Clave del municipio	065					
Nombre del Municipio	General Felipe Ángeles					
Grado de marginación municipal 2010	Medio					
Clave de la localidad	0003					
Nombre de la localidad	San Antonio Portezuelo					
Estatus al mes de Agosto 2014	Activa					
Año	2005			2010		
Datos demográficos	Hombres	Mujeres	Total	Hombres	Mujeres	Total
Total de población en la localidad	1,515	1,652	3,167	1,676	1,839	3,515
Viviendas particulares habitadas	674			788		
Grado de marginación de la localidad	Alto			Alto		
Grado de rezago social localidad	Medio			Medio		

Tabla 1.1 Información de la localidad (INEGI, 2010a; SEDESOL, 2010).

## Actividades económicas de la localidad

La comunidad de San Antonio de Portezuelo tiene una población total de 3,515 habitantes, de los cuales 1,194 (33.97%) del total son personas económicamente activas. Las familias de la comunidad desempeñan diversas actividades económicas para obtener mayor remuneración. Los oficios más comunes son albañilería, operadores de maquinaria pesada, venta de productos y servicios, misceláneas y restaurantes a orilla de carretera. Los habitantes dueños de parcelas realizan dos actividades principalmente: la cría y engorda de especies porcina, ovina, bovina y avicultura, misma que desarrollan de forma intensiva y la siembra de cultivos principalmente maíz y frijol (INEGI, 2010b). En la tabla 1.2, se analiza la carencia en viviendas, principalmente calidad, espacios y servicios básicos con los que debería contar un hogar. Se hace una comparativa de valores y porcentajes entre el año 2005 y 2010 en base al censo de población y vivienda.

San Antonio Portezuelo	2005		2010	
	Valor	%	Valor	%
Viviendas particulares habitadas	674		788	
<b>Carencia de calidad y espacios de la vivienda</b>	-	-	-	-
Viviendas con piso de tierra	86	12.84	58	7.39
<b>Carencia de acceso a los servicios básicos en las viviendas particulares habitadas</b>	-	-	-	-
Viviendas sin drenaje	136	20.30	41	5.24
Viviendas sin luz eléctrica	22	3.26	15	1.92
Viviendas sin agua entubada	27	4.02	51	6.50
Viviendas sin sanitario	45	6.68	37	4.70

Tabla 1.2 Indicadores de carencia en viviendas (INEGI, 2005, 2010b).

Conforme a los indicadores de la INEGI la tabla 1.3, muestra las estimaciones en porcentaje que fueron tomadas en cuenta para evaluar el grado de marginación de la localidad como Alto, es base a los estudios realizados por la CONAPO. También analiza los indicadores que provocan que el grado de marginación en la localidad sea de nivel Alto con base al Censo de Población y Vivienda del INEGI y la ENIGH (Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares).

<b>San Antonio Portezuelo</b>	<b>2005</b>	<b>2011</b>
Población total	3,167	3,515
% Población de 15 años o más analfabeta	16.89	11.97
% Población de 15 años o más sin primaria completa	42.33	34.91
% Viviendas particulares habitadas sin excusado	5.19	4.70
% Viviendas particulares habitadas sin energía eléctrica	3.26	1.92
% Viviendas particulares habitadas sin agua entubada	4.02	6.50
% Ocupantes por cuarto en viviendas particulares habitadas	53.87	1.47
% Viviendas particulares habitadas con piso de tierra	12.84	7.39
% Viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador	72.11	64.34
Índice de marginación	-0.50943	-0.49259
Grado de marginación	Alto	Alto
Lugar que ocupa en el contexto nacional	-	67,559

Tabla 1.3 Indicadores de Marginación (CONAPO, 2005, 2011).

## 1.2 Planteamiento del problema

Hoy en día una de las más grandes metas para la sociedad y la economía sin duda es el impulsar el crecimiento y desarrollo local, es decir, promover la mejora en las estructuras sociales y económicas de las comunidades rurales. El desarrollo local se basa en la identificación y aprovechamiento de los recursos de cada territorio y de los factores económicos y no económicos, entre estos últimos cabe mencionar: los recursos sociales, culturales, históricos, etc. La utilización de estos recursos debe de ser en forma sustentable esto para no tener un impacto negativo en el balance ecológico, ya que el satisfacer las necesidades del presente no debe comprometer el equilibrio del medio ambiente.

Se requiere investigar sobre opciones para impulsar el desarrollo local y ponerlas en práctica, una de ellas es la propuesta en este trabajo al presentar un prototipo de cultivo de maguey y aprovechar sus derivados. La localidad en donde se desarrolla este trabajo, no cuenta con ningún tipo de sistema de este tipo por lo tanto una de las metas centrales de esta investigación es la de desarrollar tal sistema que aproveche los recursos de la localidad y con esto se genere un negocio sustentable utilizando los derivados del maguey para así promover el desarrollo local. "El maguey representa uno de los recursos naturales de mayor importancia desde el punto de vista económico, social y agroecológico en el altiplano mexicano. La importancia del uso del maguey se remonta a la época prehispánica, cuando los pueblos indígenas del centro y norte del país encontraron en esta planta una fuente de materia prima para elaborar una gran cantidad de productos" (García-Herrera, Méndez-Gallegos, & Talavera-Magaña, 2010).

Con base en lo anterior, la presente investigación se realiza con el fin de identificar los recursos naturales, los factores económicos y no económicos así como la mano de obra y las tierras de cultivo con las que dispone la localidad de San Antonio Portezuelo. Una vez identificados estos recursos se presenta un prototipo de Unidad de Producción Rural y la simulación de procesos que utilizan a los derivados del maguey como productos, con el fin de impulsar el desarrollo sustentable de la localidad, entendiendo a la sustentabilidad: como a la búsqueda de satisfacer las necesidades de la generación actual sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (ONU, 1987).

## **1.3 Marco teórico**

El presente apartado describe los puntos clave de la investigación a desarrollar, así como los conocimientos necesarios para comprender los modelos de simulación que utilizan los derivados del maguey como producto. Se comienza con una breve definición de estos puntos para posteriormente abordar a los avances hechos en México.

### **1.3.1 La agricultura en México**

En el último siglo han ocurrido cambios sin precedentes en la cobertura y uso del suelo alrededor del mundo. Se estima que cientos de millones de hectáreas de bosques se han transformado para darles un uso agrícola y pecuario desde 1850 (Lambin, Turner, & Helmut, 2001).

Ya que México no ha sido ajeno a este proceso es conveniente conocer el contexto histórico de su degradación ambiental. Es probable que la actividad agrícola se restringiera al principio a zonas ideales, como los ambientes lacustres y ribereños, donde las condiciones de humedad y fertilidad permitían el uso intensivo del suelo. Más tarde, la actividad se extendió a zonas menos propicias, donde fue necesario practicar una agricultura nómada (Yúnez, 2010).

El sector agropecuario en México ha sufrido una serie de cambios y adaptaciones a lo largo de los años, tanto por modificaciones en las condiciones de la tierra, las variaciones en el clima y los cambios en las demandas de la sociedad. En ocasiones esto se ha hecho al modificar las prácticas de manejo de las unidades agropecuarias y por la sustitución de cultivos o razas, entre otras causas.



## Los impactos del cambio climático en la agricultura mexicana

El ritmo acelerado de cambio climático incluye consecuencias como el derretimiento de glaciares, el aumento de las precipitaciones y de la frecuencia de eventos meteorológicos extremos, y modificaciones en las estaciones del clima, todo esto, junto con el aumento de la población y de los ingresos a nivel mundial, amenaza la seguridad alimentaria en todas partes. La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático. El aumento de las temperaturas termina por reducir la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y plagas. Los cambios en los regímenes de lluvias aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo (FAO, 2009).

El cambio climático afectará severamente la producción y los ingresos agrícolas y pecuarios en México. En algunas partes del país la producción de maíz y frijol decrecerá por el incremento de la temperatura y la reducción de las precipitaciones, así como por la mayor recurrencia de eventos extremos como sequías e inundaciones. Por su parte, el sector pecuario presentará problemas ante la caída de forraje derivadas de una menor precipitación y un incremento de la temperatura. Lo anterior impactará directamente a la producción de carne y leche (Yúnez, 2010).

Resulta necesario continuar con el desarrollo de medidas concretas de mitigación y adaptación al cambio climático, tanto para productos específicos como para todo el sector agropecuario. Resulta conveniente rescatar variedades endémicas adaptadas, de manera natural a distintas condiciones climatológicas y a plagas, y usarlas en distintas regiones para aprovechar sus propiedades, de forma tal que puedan ser preservadas para su eventual uso en caso de ser necesario (SAGARPA, 2012a).

El cambio climático afectará de diversas maneras a las diferentes regiones de México. Desde un punto de vista global, pocas de las predicciones son favorables para la producción agrícola. En el Norte, las sequías prevalecerán; en el centro del País las heladas e inundaciones amenazarán los cultivos; en el Sur, aumentarán las lluvias extremas y huracanes (Greenpeace, 2009).

Es ampliamente aceptado que las temperaturas seguirán aumentando durante el próximo siglo, a nivel global y nacional (INE, 2009; Solomon et al., 2007). Para algunas regiones de México como Tlaxcala, un incremento de las temperaturas podría ser benéfico, en particular a través del incremento de las temperaturas mínimas nocturnas. Para otras regiones, como Chihuahua, Sonora o Aguascalientes, extremas olas de calor amenazarán a los cultivos y al ganado (INE, 2010). El Instituto Nacional de Ecología (INE) prevé que el calentamiento podría ser de 2 a 4 grados, particularmente en las partes centrales y norte del país (INE, 2006).

A diferencia de las tendencias de cambio en las temperaturas, los cambios en los patrones de lluvia son ampliamente discutidos. Algunas regiones de México podrían ver un incremento de las precipitaciones, aunque la falta de consenso sobre las modelaciones dificulta la identificación de estas zonas. Donde hay lluvia, es posible que los eventos aumenten en intensidad debido a las capacidades de retención de agua de la atmósfera. Sin embargo, con un aumento de las temperaturas globales es muy probable que la humedad del suelo se deteriore dado que el agua se evapora y que las plantas regulan su temperatura mediante el proceso de la evapotranspiración (INE., 2010; Zapata, 2009).

### 1.3.2 La planta de maguey en México

Fenómenos como el cambio climático y la actual crisis financiera mundial resaltan la importancia de darle un manejo integral y sustentable a los recursos naturales, a fin de mantener el equilibrio en los ecosistemas. En México los Agaves desde épocas precolombinas destacan en importancia por el uso de se les ha dado. Actualmente este recurso aunque con problemas en su uso y manejo, recobra vigencia desde el punto de vista socioeconómico y agroecológico por los beneficios que trae a los pobladores del medio rural y al medio ambiente donde se desarrolla (García-Herrera et al., 2010).

Dentro de los grupos de plantas que han sostenido a los pobladores de México a lo largo de su desarrollo se encuentran los magueyes, los cuales tienen su máxima expresión en términos de diversidad y evolución en este país aunque se desarrollan en toda América. Se considera que estas plantas son un orgullo de la flora mexicana. En la actualidad debe asumirse una gran responsabilidad para conservar y manejar racionalmente esta herencia vegetal, para mantener los procesos ecológicos naturales que se desarrollan en los ecosistemas donde habitan, además de asegurar la disponibilidad de dichas plantas para atender las necesidades de los pobladores que aún en estos tiempos de cambio, usan este valioso recurso vegetal (Alanís-Flores & González-Álvarez, 2010).

En Mesoamérica, muchas variantes notables de maguey se conservaron y evolucionaron al ser trasplantadas de su medio natural a zonas cercanas a los campamentos de los recolectores, así como a solares y parcelas de los agricultores, donde probablemente ocurrieron nuevas combinaciones genéticas, con mejores rendimientos y calidad de fibra, alimento, bebida u otros productos especiales (Colunga-Garcia, Estrada-Loera, & May-Pat, 1996; Gentry, 1982; Parsons & Parsons, 1990).

La palabra agave proviene del griego y significa “admirable”. El género *Agave* es originario de América, especialmente de México de donde fue llevado a otros países (Gentry, 1982). Taxonómicamente este género se ubica dentro de las *Agaváceas* y es el más importante de la familia. El género *Agave* está constituido por 155 especies de las cuales existen 116 en México cifra que corresponde al 75% del total (García-Mendoza, 1994) y de las aproximadamente 273 especies de los ocho géneros de la familia *Agaváceae*, 205 (75%) crecen en México, siendo 151 (55%) endémicas (García-Mendoza & Galván, 1994).

El maguey es una planta de la familia *Agaváceae* que crece en el altiplano semiseco y frío de México. Este *Agave* se distribuye principalmente en el valle de México y en los estados de México, Hidalgo, Puebla y Tlaxcala. Los antiguos habitantes de esa zona lo cultivaron para extraer del centro de su tallo un jugo (aguamiel) que al fermentarse se convierte en pulque, una bebida de bajo grado alcohólico. De sus grandes y carnosas hojas, conocidas como pencas se obtienen fibras para diversos usos (Flores et al., 2009).

### **El Maguey Pulquero**

El maguey Pulquero, conocido también como maguey manso, y cuyo nombre científico es *Agave salmiana*, es el más productor de miel o aguamiel y se cultiva casi exclusivamente para la elaboración de pulque. Su verdadera zona de producción es más bien fría que templada, y se desarrolla perfectamente entre los 2,200 y 2,700 msnm. Es una planta que resiste las prolongadas sequías e inclemencias de las zonas semiáridas de los Estados de Hidalgo, Tlaxcala, México y Puebla; en donde muchas veces solo llueve una vez al año, pero, en cambio, las heladas son muy fuertes y muy frecuentes en las estaciones de otoño e invierno (Macedo, 1950).

En los terrenos con gran humedad produce mucha aguamiel, pero de mala clase. Se ha adaptado muy bien al suelo y al medio ambiente de esas regiones, en las que, hace años, se encontraban grandes extensiones cubiertas de magueyes que proporcionaban bienestar a una multitud de individuos de todas las clases sociales (Macedo, 1950).

La variedad consta de raíz fibrosa, de un tallo grueso y corto, del que salen hojas, conocidas más bien como pencas, que son gruesas, verdes, sésiles, cóncavas y con púas en los bordes y en el extremo; tienen un revestimiento de una tela apergaminada muy resistente, que prácticamente les sirve para impedir la evaporación de los jugos de la planta; todas las hojas se encuentran colocadas alrededor del tallo formando una roseta (Pinkava, 1985). Como la mayoría de magueyes cultivados, ha perdido la cualidad de reproducirse por semilla, su propagación se hace generalmente por hijuelos, que son pequeñas matitas que nacen al pie de las plantas adultas (Macedo, 1950).

El agave es una planta nativa México que ha brindado innumerables beneficios al hombre. Muchos productos que a partir de ella se obtiene, están posicionados a nivel mundial como el tequila de reconocida identidad y calidad como producto mexicano. (SAGARPA, 2008). El mezcal y el pulque son bebidas ancestrales que se siguen elaborando de manera tradicional, éste último tratando de recuperar el auge de otro tiempo. Esta planta también sirve de hospedero para larvas que son muy apreciadas tanto en la gastronomía nacional como en la internacional. Por lo tanto el agave es una planta de gran importancia socioeconómica para México (Castro-Díaz & Guerrero-Beltrán, 2013).

### 1.3.3 Desarrollo local en México

En los últimos años, la propuesta del desarrollo local como alternativa frente a los efectos de la pobreza, la exclusión social, la desigualdad, la precarización del trabajo, el desempleo masivo, la destrucción del medio ambiente y de la biodiversidad, ha ganado fuerza en diversos ámbitos, pero particularmente entre las propuestas de organizaciones, movimientos y luchas sociales que están teniendo lugar en distintos espacios nacionales y locales de diversos países. Desde la década de 1990 y lo que va del presente siglo, se ha dado en la región latinoamericana un creciente número de experiencias locales que han ido validando la importancia del desarrollo local, en relación con las posibilidades que tiene para generar un desarrollo incluyente, equitativo y democrático, siempre que la gestión se lleve a cabo de manera asociada entre los diferentes sectores de la sociedad y gobierno, por lo que también el tema de la gobernanza local ha cobrado relevancia en años recientes (Mota & Díaz, 2008).

El motor del desarrollo son las capacidades humanas, que expresadas con libertad para ser y hacer en la vida social, política y económica de una comunidad estimulan la productividad de una región, y amplían el bienestar de la población (Sen, 1998). Aunque existe consenso a nivel conceptual sobre la importancia del desarrollo local y sus elementos clave, como la potenciación de las capacidades locales y la participación; no lo hay respecto a cómo llevarlo a la práctica. Una de las propuestas más recientes es el desarrollo local, el cual fomenta la colaboración de las dependencias gubernamentales con los actores del territorio; su validez depende de identificar los factores determinantes para lograr el desarrollo local e incorporar las lecciones surgidas de las experiencias de sus aplicaciones (Balente-Herrera, Díaz-Puente, & Parra, 2012).

La dinámica del crecimiento entre las regiones de nuestro país está generando una creciente diferencia en términos de desarrollo, no sólo entre estados sino de manera más aguda entre municipios, muchos de los cuales enfrentan un panorama de creciente abandono poblacional. Impulsar el desarrollo de las regiones más pobres del país es importante desde un punto de vista de justicia, para atender a las personas que viven en situación de pobreza, y también para impulsar un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales. Más aún, cobra sentido en términos de seguridad nacional, pues es en muchas de estas zonas pobres existe presencia del narcotráfico, particularmente en las zonas montañosas. En la medida en que los programas de desarrollo locales o regionales se construyen, operan y evalúan con el concurso de sus habitantes, se obtienen una serie de beneficios que van desde el fortalecimiento de la democracia participativa, la construcción de redes sociales, hasta la identificación de alternativas de innovación para el desarrollo (Flores, 2009).

El panorama de los gobiernos locales de México resulta complejo y diverso al iniciarse la segunda década del nuevo milenio; ello debido a las formas que están adquiriendo las capacidades del gobierno municipal para atender los retos de su desarrollo territorial reciente, y cómo esas formas pueden considerarse una nueva pauta de evolución institucional. La mayoría de los gobiernos ubicados en los municipios se caracterizaba por una estructura administrativa poco desarrollada, resultado de la limitada disponibilidad de recursos económicos, pero con amplias capacidades de contacto y comunicación con la población. Aunque sus posibilidades de extraer recursos por medios fiscales eran también limitadas, eran compensadas por fuertes lazos de carácter político y cultural que sostenían a las autoridades municipales y que les permitían actuar con eficacia en situaciones difíciles, movilizándolo para ello recursos sociales (Cabrero, 2004; Ziccardi, 2003)

Las relaciones entre las capacidades institucionales y el desarrollo territorial no han evolucionado de forma igual para todos los gobiernos locales de México. La mayoría de los gobiernos locales tienen limitantes institucionales para asumir todas las funciones que la era de la gobernanza les ofrece. Los municipios enfrentan, en este sentido, problemas que involucran procesos y definiciones más amplios que los que hay en su propio entorno; sus recursos económicos son limitados; carecen de recursos humanos capacitados; su andamiaje institucional y jurídico es insuficiente y la información con que cuentan para la toma de decisiones es escasa y fraccionada (Cabrero, 2004; SEDESOL, 2004)

Es claro que el desarrollo local se construye de “abajo hacia arriba” difícilmente podría ser de otra manera. El desarrollo local es un proceso de tipo endógeno. Por ello requiere de alianzas en el espacio local, requiere de cooperación entre actores, requiere de capital social, requiere de acuerdos y de una acción pública local de alta intensidad (Cabrero, 2004; Rosas-Baños & Lara-Rodríguez, 2013).

El mayor reto para la planeación del desarrollo local con participación ciudadana es lograr una adecuada combinación entre las visiones sectorial, regional y entre niveles de gobierno. Si queremos avanzar en esquemas descentralizados y participativos, se recomienda fortalecer a la institución municipal con mejores capacidades, instrumentos de gestión y recursos fiscales, y algunos mecanismos institucionales que permitan la continuidad de su acción, promoviendo la cultura democrática de acción pública local. Finalmente, el reto no está sólo en lograr el crecimiento económico sino en crear las condiciones que les permita a los más pobres generar avances reales y duraderos (Sosa, 2011).



## 1.3.4 Desarrollo sustentable

### El Informe Brundtland

El documento “Nuestro Futuro Común” (nombre original del Informe Brundtland) fue el primer intento de eliminar la confrontación entre desarrollo y sustentabilidad. Presentado en 1987 por la Comisión Mundial Para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU, en la que participaron científicos y políticos provenientes de 21 países y distintas ideologías, encabezados por la doctora noruega Gro Harlem Brundtland, la Comisión trabajó analizando la situación del mundo en ese momento y demostró que el camino que la sociedad global había tomado estaba destruyendo el ambiente por un lado y dejando a cada vez más gente en la pobreza y la vulnerabilidad. Dicho documento postuló principalmente que la protección ambiental había dejado de ser una tarea nacional o regional para convertirse en un problema global. Todo el planeta debía trabajar para revertir la degradación actual. También señaló que debíamos dejar de ver al desarrollo y al ambiente como si fueran cuestiones separadas. El Informe dice que “ambos son inseparables”. La importancia de este documento no sólo reside en el hecho de lanzar el concepto de **desarrollo sustentable**, entendido como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones, sino que este fue incorporado a todos los programas de la ONU y sirvió de eje, por ejemplo, a la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro en 1992.

## Análisis de la Sustentabilidad: Diagrama de Venn vs Modelo de la muñeca rusa.

Otra forma de definir el desarrollo sustentable es la forma en que se mide (Parris & Kates, 2003). La elección y la distribución de los indicadores realizados por diferentes países indirectamente apuntan a una teoría de desarrollo sustentable. Por ejemplo, uno puede preguntarse si estos indicadores deben imitar la teoría generalizada de los tres pilares de la sustentabilidad. Según esta teoría, para lograr la sustentabilidad es necesario que el medio ambiente, la sociedad y la economía encuentren un equilibrio natural, a estos tres conceptos se les suele llamar los tres pilares del desarrollo sustentable. Estos tres pilares se superponen y crean tres subcategorías: habitables, viables y equitativas. A menudo se representan como tres círculos superpuestos y siete combinaciones diferentes como se puede ver en la figura 1.1.

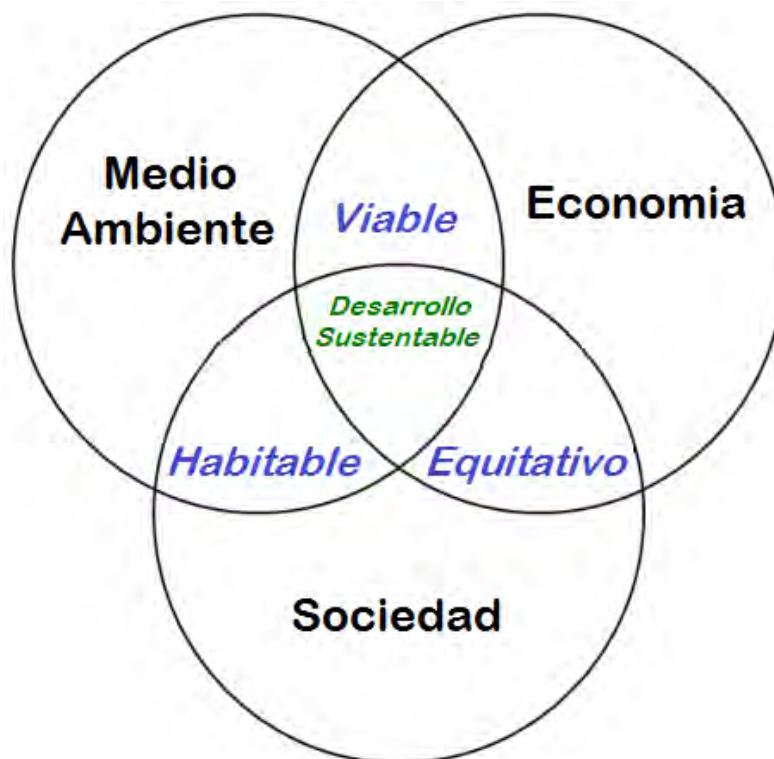


Figura 1.1 Los tres pilares del desarrollo sustentable (Parris & Kates, 2003).

Otra teoría o "visión" de cómo se debe lograr la sustentabilidad es un concepto llamado "el modelo de la muñeca rusa" (Levett, 1998). Su hipótesis es que el componente ambiental del sistema es el más importante. Si la parte ambiental está dañada o muy desgastada, la sustentabilidad no se puede lograr porque la vida como la conocemos, se pondría en peligro y se tendría el peligro de una extinción global. Las economías, así como las sociedades no son las primeras condiciones para la supervivencia global. La percepción de esta visión de la sustentabilidad es a menudo representado como círculos anidados unos dentro de otros, de ahí el nombre del "modelo de la muñeca rusa", presentado en la figura 1.2.

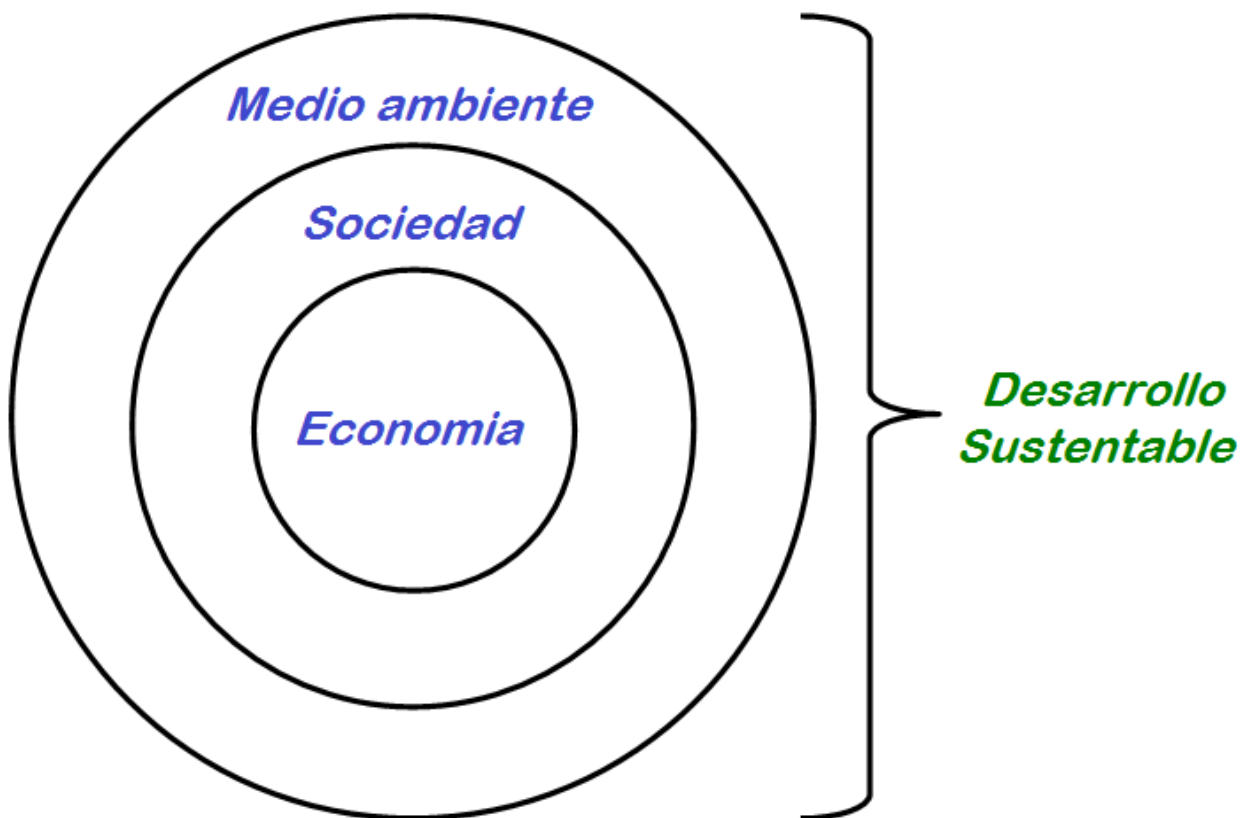


Figura 1.2 El "modelo de la muñeca rusa" del desarrollo sustentable (Levett, 1998).

## **Teoría de la sustentabilidad débil y fuerte**

Existen muchas teorías del desarrollo sustentable, pero las dos mencionadas antes son las mejor conocidas. Son representaciones de sustentabilidad débil (diagrama de Venn de los tres pilares) y sustentabilidad fuerte (modelo de la muñeca rusa). La sustentabilidad débil asume que la producción y el capital humano son sustituibles por el capital natural (Ayres, Van den Bergh, & Gowdy, 1998), esto lleva que el ingreso per cápita mejore, pero los daños causados a la naturaleza son irreversibles y este es uno de los principales argumentos en contra de la sustentabilidad débil. La teoría de los tres pilares de la sustentabilidad se asocia con la sustentabilidad débil porque los tres pilares son iguales y se considera que tienen el mismo valor cuando en realidad no es así.

Por otro lado, la teoría de la sustentabilidad fuerte es cuando el capital natural no puede ser sustituido por otro tipo de capital. El modelo de la muñeca rusa de Levett se asocia con la sustentabilidad fuerte porque la preservación del medio ambiente se considera el fundamento y la condición sin la cual no existe la sustentabilidad. La diferencia entre la sustentabilidad fuerte y débil reside en una especie de debate económico, en el cual se trata de decidir si se le puede poner un precio en la naturaleza y a la destrucción del medio ambiente.

## **El espacio justo y seguro para la humanidad**

La evolución del concepto del DS y la evidencia de impacto ambiental acelerado y sus consecuencias para la humanidad, han llevado a los especialistas del tema a proponer un análisis más amplio a fin de buscar soluciones óptimas en todos los niveles de la sociedad.

Kate Raworth investigadora de la organización Oxfam (la cual agrupa a 94 países con fines de erradicar la pobreza y la injusticia), propone el “Modelo del espacio justo y seguro para la humanidad”, denominado también el “doughnut model” (Raworth, 2012). En él, reflexiona sobre el panorama a escala mundial, tanto de la pobreza humana como de la degradación medioambiental. Aquí, las 11 dimensiones de la base social son ilustrativas y se basan en las prioridades de los gobiernos para Río + 20. Las nueve dimensiones del techo del medio ambiente se basan en los límites planetarios establecidas por Johan Rockström Director Ejecutivo del Centro de Resiliencia de Estocolmo (Rockström et al., 2009).

El modelo de la figura 1.3 basa su estructura en la erradicación de la pobreza a través de garantizar los recursos necesarios, para una sociedad que se desarrolla en un ambiente con elementos de la naturaleza. La base central es el bienestar social, a partir del aseguramiento de la comida para el 13% del mundo, que simplemente representa el 1% de la oferta alimentaria actual; llevar energía al 19% de la población que actualmente no cuenta con ella y disminuir el porcentaje de la población con pobreza (actualmente de un 21%) que vive con 1.25 dólares diarios. El modelo incorpora los fundamentos del DS, para garantizar la de vida de todas las personas; los límites sobre la base de las normas, del medio ambiente, del aspecto social y la perspectiva local y global.

Así, la propuesta se basa en primero garantizar un bienestar social por medio de seguridad alimentaria, ingresos, agua y saneamiento, cuidado de la salud, educación, energía, igualdad de género, equidad social, voz, trabajo y resistencia. El modelo incorpora la protección del agua y de la tierra, así como las condiciones del cambio climático. El desarrollo económico sustentable y garantizar el ingreso, la comida y la educación, como elementos sociales.



Figura 1.3 Modelo del espacio justo y seguro para la humanidad (Raworth, 2012).

El DS puede entenderse como un rango de posibilidades donde en un extremo están países con capacidad económica, científica y tecnológica donde es posible una aproximación al DS, y en el otro extremo quedan los países pobres y algunos pequeños, en los que no se logra el DS y donde el binomio pobreza-deterioro ambiental limita a esas sociedades. Entre esos extremos quedan muchos países, incluido México. Donde se ubique el país dependerá del buen manejo e implantación del DS con sus efectos en el desarrollo económico, el nivel de vida de la gente y la preservación del ecosistema (Camacho et al., 2016).

### 1.3.5 Sistemas de producción

Como ilustra la figura 1.4, un sistema de producción consiste en insumos, procesos, productos y flujos de información, que lo conectan con los clientes y el ambiente externo. Los insumos incluyen recursos humanos (trabajadores), capital (equipo e instalaciones), materiales y servicios comprados, tierra y energía (Carro & González, 2003).

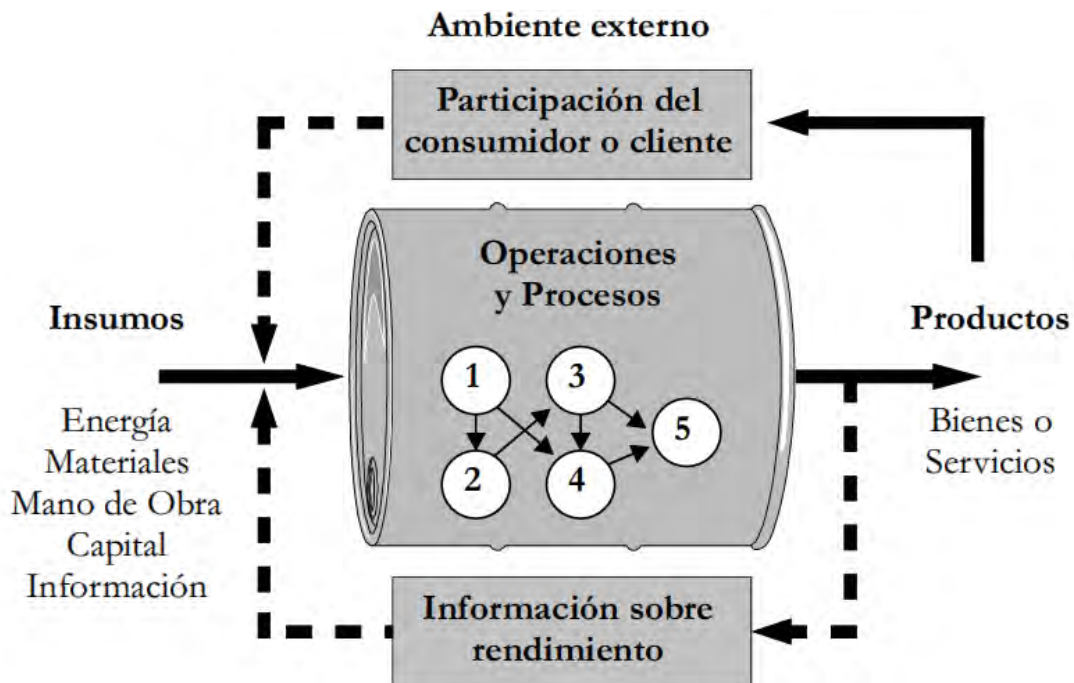


Figura 1.4 Esquema básico del sistema de producción (Carro & González, 2003).

Un proceso es cualquier actividad o grupo de actividades mediante las cuales uno o varios insumos son transformados y adquieren un valor agregado, obteniéndose así un producto para un cliente. Los tipos de insumos que se utilizan varían de una industria a otra. Si la operación es de manufactura, se harán necesarios los insumos de capital y energía para las máquinas, instalaciones y herramientas. También se necesitará mano de obra para operar y mantener el equipo tanto como los insumos necesarios que formarán la base del proceso de conversión de materia prima a producto terminado (Carro & González, 2003).

La figura 1.4, se aplica no sólo a una empresa completa sino también al trabajo de sus diferentes departamentos, porque cada uno de éstos recibe insumo y utiliza diversos procesos para suministrar productos o servicios a sus clientes. Tanto las organizaciones de manufactura como las de servicios tiene clientes finales o externos y clientes intermedios o internos, los externos son los que reciben el producto final y los internos lo que reciben los insumos del taller o departamento anterior a ellos. No sólo las entradas (insumos) y salidas (productos o servicios) varían de un tipo de actividad a otra; también el proceso de transformación o conversión, núcleo central del sistema, presenta características diferenciales para cada caso específico. Cada acción de transformación que da lugar a cambios en los insumos se denomina operación y la secuencia de operaciones requerida para completar un ciclo determinando de transformación es llamada proceso. Las clases de procesos se pueden apreciar en la tabla 1.4.

### Clases de procesos de producción

CARACTERÍSTICAS	PROCESOS
<b>Rendimiento temporal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Continuo.</b> Producción en serie.</li> <li>➤ <b>Intermitente.</b> Producción por pedido.</li> </ul>
<b>Gama de productos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>De producción simple</b></li> <li>➤ <b>De producción múltiple:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Producción independiente.</li> <li>• Producción conjunta.</li> <li>• Producción alternativa.</li> </ul> </li> </ul>
<b>Secuencia de actividades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Monoetapa.</b> Sistema de fabricación.</li> <li>➤ <b>Bietapa.</b> Sistema de fabricación y montaje simples.</li> <li>➤ <b>Multietapa.</b> Sistema de fabricación y montaje múltiples.</li> </ul>
<b>Nivel de integración</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ <b>Centralizado:</b> Sistema monoplanta.</li> <li>➤ <b>Descentralizado:</b> Sistema multiplanta.</li> </ul>

Tabla 1.4 Clases de procesos de producción (Bueno, 2004).



En un primer lugar, se puede hablar de dos tipos de producción:

- **Producción continua.** Procesos en los que la transformación de materias primas en productos se realiza de forma ininterrumpida en el tiempo. Ejemplos conocidos son: plantas de refinación de petróleo, plantas petroquímicas, altos hornos, etc. También se puede incluir en esta tipología los procesos repetitivos de producción en masa (caso de las cadenas de montaje de automóviles, de electrodomésticos, o del calzado, embotelladoras, y otros bienes duraderos o no duraderos). El lograr economías de escala es el objetivo de estos procesos.
- **Producción intermitente.** Procesos que no requieren continuidad en el tiempo. Actúa con productos no tipificados y los componentes del proceso pueden ser polivalentes o con función múltiple. Es el ejemplo de las obras públicas, construcción naval y talleres de reparación, entre otros. La llamada producción por pedido o por encargo es una forma típica de esta producción intermitente.

En una segunda instancia, los procesos de producción pueden clasificarse atendiendo al número y diversidad de sus salidas gamas de productos obtenidos. De esta manera se puede hablar de:

- **Producción simple.** Proceso que elabora un solo tipo de producto de características técnicas homogéneas.
- **Producción múltiple.** Proceso que obtiene varios productos diferenciados y que técnicamente pueden ser interdependientes o no. En el primer caso se habla de producción múltiple independiente o con procesos simultáneos; en el segundo, si del proceso se obtienen diferentes productos con factores comunes, se define la producción compuesta o conjunta, y si los factores se pueden aplicar alternativamente a uno u otro proceso y producto, se tiene la producción alternativa.

En tercer lugar, los procesos de producción se pueden ordenar según las fases o etapas en las que se desarrollan los flujos de operaciones, a saber:

- **Producción monoetapa.** Procesos en los que la transformación se efectúa en un solo flujo de operaciones (sistema de fabricación convencional). Responde al concepto más elemental de sistema, como si fuera una «caja negra».
- **Producción bietapa.** Procesos en los que se diferencian dos fases o flujos de operaciones con diferentes características técnicas: fabricación y montaje; por ello, se puede hablar de dos categorías de «artículos»: componentes y productos acabados, respectivamente.
- **Producción multietapa.** Procesos complejos en los que se integran diferentes flujos de operaciones o etapas, tanto de fabricación de partes y componentes de las líneas de producción, como del montaje de estos componentes en subconjuntos y de estos en conjuntos o productos terminados.

Finalmente, en una cuarta instancia, los procesos productivos se organizan en virtud del nivel de integración o agregación de los elementos del sistema:

- **Producción centralizada.** Procesos en los que sus elementos se integran en una sola planta o taller industrial.
- **Producción descentralizada.** Procesos en los que sus elementos se descomponen o se repiten en más de una planta transformadora, por lo que se tiene un sistema multiplanta o localizado en diferentes puntos. Situación que exige determinado sistema logístico para combinar y transportar los elementos productivos.

## 1.3.6 Análisis Estadístico

La estadística descriptiva se dedica a recolectar, ordenar, analizar y representar a un conjunto de datos obtenidos en una investigación (ver figura 1.5), con el fin de describir apropiadamente las características de esta. Las primeras conclusiones obtenidas tras un análisis descriptivo, es un estudio calculando una serie de medidas de tendencia central, para ver en qué medida los datos se agrupan o dispersan en torno a un valor central así como agrupar dichos datos en frecuencias y representarlos en tabulaciones o gráficas.



Figura 1.5 Concepción de la estadística descriptiva (García, 2005).

Hay pocas actividades en las que el impacto del reciente progreso de la estadística se haya dejado sentir con más fuerza que en la Ingeniería y la dirección industrial. Las contribuciones de la Estadística a los problemas de producción, al uso eficiente de materiales y mano de obra, a la investigación básica y al desarrollo de nuevos productos. Lo mismo que en otras ciencias, la Estadística se ha convertido en una herramienta vital para el ingeniero, y por consiguiente, se ha hecho necesarios ciertos conocimientos de Estadística sin los que el ingeniero no podrá apreciar, entender o aplicar gran parte del trabajo desarrollado en su campo (Miller & Freund, 2004).

## 1.3.7 Desarrollo de un prototipo

El desarrollo de prototipos proporciona un camino para adquirir información que describe los requerimientos y características de un sistema; además de facilitar su evaluación de factibilidad. Esta metodología de desarrollo también brinda experiencia en el empleo del sistema antes de su desarrollo e implantación en su totalidad (Senn, 1992).

El término prototipo se refiere a un modelo que funciona para una aplicación de un sistema. El prototipo no contiene todas las características o lleva a cabo la totalidad de las funciones necesarias del sistema final. Más bien incluye elementos suficientes para permitir a las personas utilizar el prototipo propuesto para determinar qué les gusta, qué nos les gusta e identificar aquellas características que deben cambiarse o añadirse. El proceso de desarrollo y empleo de un prototipo tiene cinco características:

1. El prototipo es una aplicación que funciona.
2. La finalidad del prototipo es probar varias suposiciones formuladas
3. Los prototipos se crean con rapidez
4. Los prototipos evolucionan a través de un proceso iterativo
5. Los prototipos tiene un costo bajo de desarrollo

La finalidad del desarrollo de prototipos se entiende mejor al examinar las razones para seleccionar esta estrategia y la forma en que incrementa el nivel de productividad en el desarrollo de sistemas (Senn, 1992).

## Usos de los prototipos

El desarrollo de prototipos tiene dos usos principales:

1. **El primer uso del prototipo** es el de identificar y aclarar los requerimientos que debe satisfacer un sistema. Describir las características necesarias para satisfacer la aplicación de un sistema completo.
2. **El segundo uso del prototipo** es verificar la factibilidad del diseño de un sistema. Los creadores pueden experimentar con diferentes características del prototipo y evaluar la reacción y respuesta del sistema. Crear un prototipo y evaluar el diseño por medio de su uso, mostrar la factibilidad del diseño o sugerir la necesidad de encontrar otras opciones.

## Etapas del método de prototipos

El desarrollo de un prototipo para una aplicación se lleva a cabo en una forma ordenada, sin importar las herramientas utilizadas. Se divide en los siguientes pasos:

- Identificación de requerimientos conocidos
- Desarrollo de un modelo de trabajo
- Utilización del prototipo
- Repetición del proceso
- Revisión del prototipo

### **1.3.8 Simulación de procesos**

En los últimos años, el uso de programas de simulación en todos los aspectos de la vida moderna se ha expandido en forma espectacular, y la simulación de procesos no ha sido una excepción. La principal ventaja del uso de la computación en la simulación de procesos industriales, es que se puede realizar con relativa facilidad largos y tediosos problemas de cálculo, además del control de los procesos y la predicción de comportamientos futuros de una planta. Esta capacidad permite la exploración, sin consumo excesivo de tiempo ni de dinero, de alternativas de proceso, de los efectos de cambios en parámetros y variables del proceso, la observación de cambios en la calidad de los productos y la optimización de las plantas existentes. En la ingeniería, la simulación de procesos ha llegado a constituir una herramienta ya común en todos sus áreas (Valderrama, 2003).

La simulación es una herramienta de trabajo que nació lentamente, en paralelo con la aparición de la computadora, y que poco a poco se he impuesto gracias a la mayor velocidad y capacidad que las computadoras han ido ofreciendo a la industria. La creciente utilización de la computadora en la simulación de procesos industriales ha sido posible gracias al desarrollo de las técnicas numéricas y al empleo de nuevos lenguajes de simulación. Su potencia creciente permite a los ingenieros de diseño la simulación en tiempo real en el funcionamiento y control de equipos complejos tales como compresores, calderas de vapor, turbogeneradores, etc. con el objeto de mejorar el rendimiento en su utilización. La aplicación de las computadoras se ha expandido a muchas áreas industriales, tanto en las áreas de distribución como en las de proceso (Creus, 2007).

## Simulación de Procesos en la Industria

La Simulación de Procesos resume toda la teoría relacionada con un proceso en el cual se reemplazan las situaciones reales por otras creadas artificialmente, de las cuales se deben aprender ciertas acciones, habilidades y hábitos. En los últimos años, la simulación de procesos ha llegado a ser una herramienta adecuada y oportuna de apoyo para el diseño, caracterización, optimización y monitoreo del funcionamiento de procesos industriales. Para aplicar estas simulaciones existen en la actualidad una gran variedad de Simuladores de Procesos (Martínez et al., 2000).

La simulación de procesos es una herramienta moderna que se ha hecho indispensable para la solución adecuada de los problemas de proceso. Permite efectuar el análisis de plantas en operación y llevar a cabo las siguientes tareas, las cuales son comunes en las diversas ramas de la industria:

- Detección de cuellos de botella en la producción.
- Predicción de los efectos de cambios en las condiciones de la planta.
- Optimización de las variables de operación.
- Optimización del proceso cuando cambian las características de los insumos.
- Análisis de nuevos procesos para nuevos productos.
- Evaluación de alternativas de proceso para reducir el consumo de energía.
- Análisis de condiciones críticas de operación.
- Transformación de un proceso para desarrollar otras materias primas.
- Análisis de factibilidad y viabilidad de nuevos procesos.
- Optimización del proceso para minimizar la producción de desechos.
- Entrenamiento de operadores e ingenieros de proceso.
- Investigación de la factibilidad de automatización de un proceso.

## Aplicaciones

En principio, la simulación de procesos puede ser útil en todas las etapas del desarrollo de un proyecto industrial. En las diferentes etapas de un proyecto, puede haber necesidad de realizar simulaciones con diferentes niveles de sofisticación. La simulación de procesos puede usarse en las siguientes etapas del desarrollo de un proyecto industrial:

- **Investigación y desarrollo:** Una simulación sencilla se puede usar para probar la factibilidad técnica y económica del proyecto.
- **Etapla crítica en la toma de decisiones:** Se prueban diferentes alternativas de proceso y condiciones de operación y se toman decisiones.
- **Planta piloto:** Simulación con modelos más sofisticados para obtener mejores estimaciones de las condiciones de operación a escala industrial.
- **Diseño:** La simulación proporciona todos los datos de proceso requeridos para el diseño detallado de los diferentes equipos.
- **Simulación de plantas existentes:** Puede ser muy útil cuando es necesario cambiar las condiciones de operación, o cuando se quieren sustituir materias primas.

Se puede concluir que la simulación de procesos constituye un elemento muy importante para tomar una decisión más científica y responsable. Tanto el diseño como la operación se pueden facilitar mediante la simulación del proceso o de sus partes. En primer lugar, es muy difícil que la dirección de la empresa permita a los ingenieros introducir arbitrariamente cambios en una instalación que opera satisfactoriamente por el simple hecho de ver qué es lo que ocurre. Además, los modelos matemáticos de los procesos se pueden manipular mucho más fácilmente que las plantas reales (Himmelblau & Bischoff, 2004).



## Simulación utilizando el Software Arena

Arena es un software de modelación y simulación de diferentes áreas de negocio. Se ha diseñado para analizar el impacto de los cambios que suponen los complejos y significativos rediseños asociados a la cadena de suministros, procesos, logística, distribución, almacenaje y servicio. Tiene gran flexibilidad y cubre gran cantidad de aplicaciones a modelar con cualquier nivel de detalle (Altiok & Melamed, 2007; Rockwell Automation, 2007). Un escenario típico incluye:

- Análisis detallado del tipo de sistema.
- Análisis de servicio al cliente y sistemas de dirección orientados al cliente.
- Análisis de cadenas de suministro globales que incluyen almacenamiento, transporte y sistemas logísticos.
- Predicción del funcionamiento de sistemas en función de medidas clave como costos, tasa de salida de piezas, tiempos de ciclo y utilización.
- Identificación de los procesos que causan cuello de botella así como colas producidas por la sobreutilización de recursos.
- Planificación del personal, equipos y requerimientos de material.

Arena se ha diseñado en base al lenguaje de programación SIMAN (*Simulation and Analysis*). SIMAN modela un sistema discreto utilizando la orientación al proceso; es decir, en un modelo de sistema particular, se estudian las entidades que se mueven a través del sistema. Una entidad para SIMAN es un cliente o un objeto que se mueve en la simulación y que posee características únicas conocidas como atributos. Los procesos denotan la secuencia de operaciones o actividades a través de los que se mueven las entidades, siendo modeladas por el diagrama de bloques (Rockwell Automation, 2005).

Arena es un entorno gráfico que asiste en la implementación de modelos en el paradigma orientado al proceso. Contiene un conjunto de bloques que representan gráficamente los diversos tipos de procesos agrupados en categorías en función de su complejidad. Los bloques se enlazan para representar el flujo de entidades entre ellos. Asiste para representar gráficamente la animación del proceso, pudiendo fijar el aspecto gráfico de las entidades que fluyen. También permite fácilmente crear cuadros en los que se muestren los valores de variables del modelo según transcurre la simulación. Recopila datos de estadísticas de la simulación; los cuales se pueden visualizar mediante informes al final de la misma. Permite incluir módulos de usuario elaborados en otros lenguajes de programación, tales como FORTRAN, C o Visual Basic. Con este último tiene una fácil integración, ya que contiene una herramienta que permite editar, compilar y enlazar código realizado en este lenguaje. Tiene incorporadas librerías Visual Basic que permite presentar o tomar datos de hojas de cálculo Microsoft Excel (Rockwell Automation, 2005).

Arena Software es un simulador intuitivo gracias a que la programación está basada en la colocación y unión gráfica de distintos módulos de proceso. El entorno de modelado de Arena consta de tres zonas que se pueden apreciar en la figura 1.6:

- A. Ventana del diagrama de flujo del modelo (*Model window flowchart view*). En este espacio se construye el diagrama de bloques que conforman el modelo de simulación del proceso. En esta ventana pueden observarse también los elementos gráficos y animaciones de las simulaciones.
- B. Ventana de hoja de cálculo (*Model window spreadsheet view*). En esta ventana se pueden comprobar y modificar los parámetros correspondientes a los bloques (procesos) y a las entidades.

C. Barra de Proyectos (*Project Bar*). Este espacio tiene varios paneles desplegables que permiten diseñar el modelo. Dichos paneles contienen los módulos necesarios para construir el modelo, así como otros elementos como los informes estadísticos de las simulaciones o un panel de navegación que facilita la localización del modelo de la ventana A.

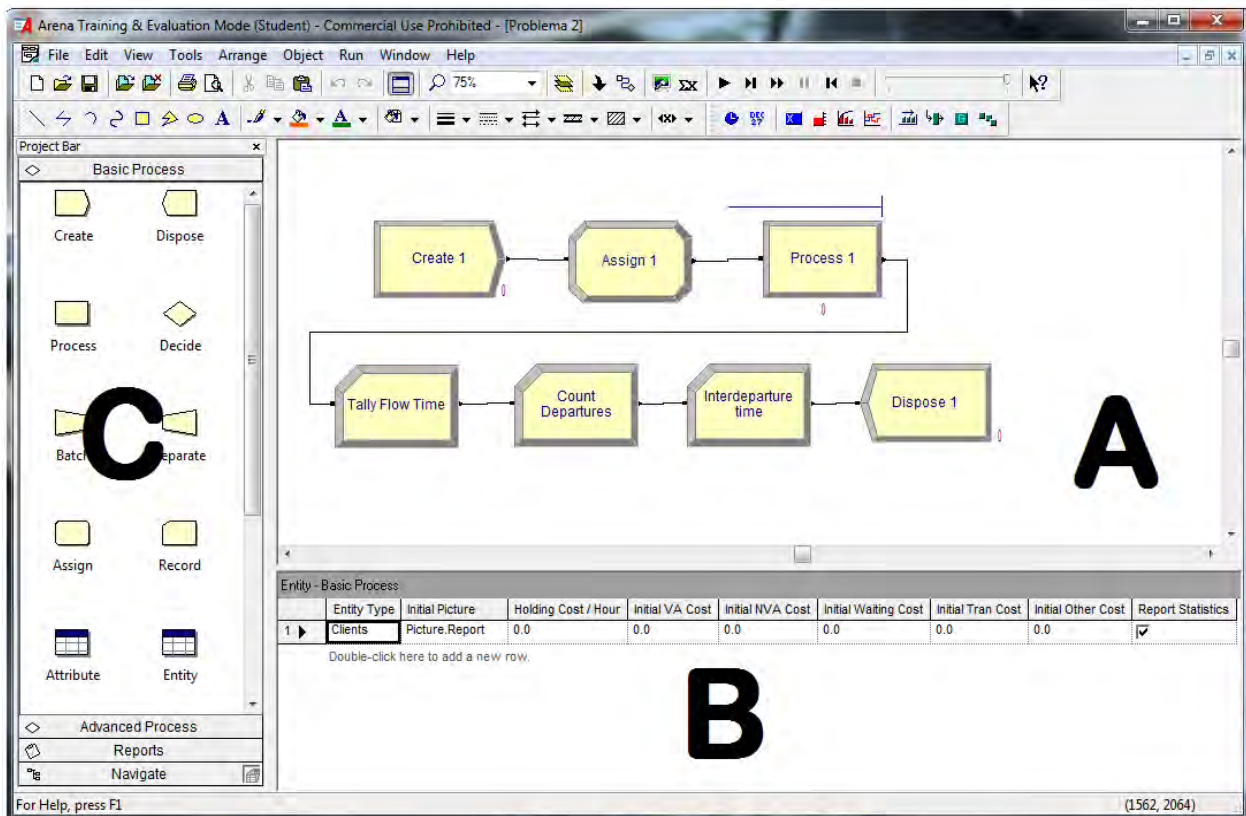


Figura 1.6 Interfaz del software Arena.

## 1.4 Pregunta de investigación

La falta de desarrollo local en las comunidades rurales ocasiona que los habitantes tengan que encontrar formas alternas para obtener recursos económicos que solventen las necesidades básicas de sus familias, dejando así las actividades locales en segundo plano por oficios mal pagados en ciudades cercanas a su lugar de origen. Mediante el estudio de la localidad de San Antonio Portezuelo se busca reintroducir el cultivo del maguey y plantear un sistema de producción de los derivados del maguey como producto que ayude a aumentar la rentabilidad en las actividades primarias de la comunidad rural, basada en estrategias y prácticas de negocios sustentables. Lo cual lleva a plantear la siguiente pregunta:

*¿Es posible reintroducir el cultivo del maguey en la localidad de estudio y determinar los parámetros de crecimiento, y emplearlos como base para la simulación y la evaluación de un sistema de producción sustentable de los derivados del maguey?*

## 1.5 Objetivo de investigación

Establecer un prototipo de cultivo de maguey (Unidad de Producción Rural) para determinar su viabilidad e incremento en biomasa y emplear esos parámetros para diseñar modelos de simulación de crecimiento poblacional y de sistemas de producción de derivados comerciales como son la inulina de agave y la cerveza de agave, buscando beneficios a nivel social, económico y ambiental, en la localidad de San Antonio Portezuelo, Puebla.

## 1.6 Enfoque de la investigación

El desarrollo de la investigación tiene un enfoque cuantitativo. La meta radica en reconocer el contexto actual de la localidad de San Antonio Portezuelo, Puebla, comprendiendo la mecánica de su ambiente en tiempos, procesos, recursos naturales y económicos. Lo cual otorgará la comprensión y el conocimiento indispensable para establecer una propuesta de negocio sustentable competente al usar diversos sistemas de producción para aprovechar de manera correcta dichos recursos.

## 1.7 Alcance de la investigación

Este trabajo recopiló y analizó información del prototipo de cultivo de maguey en la localidad de San Antonio Portezuelo. Lo cual permitió generar modelos de simulación que emplea a los derivados del maguey como producto, que con los debidos ajustes pueden ser trasladados a localidades similares que cuenten con las siguientes características:

- Poseer tierras en zonas áridas del altiplano mexicano poco productivas para la agricultura de temporal.
- Contar con la experiencia de trabajar en las actividades primarias del campo.
- Visión de emprendedor.
- Deseo por aprender temas de gestión y nuevas técnicas sustentables de negocios.
- Disposición para obtener beneficios a mediano o largo plazo.
- Conciencia sobre el legado a las generaciones futuras a través del cuidado de los recursos del suelo y agua.

# CAPÍTULO 2: Métodos y materiales

Este capítulo se describirá a detalle los métodos y materiales que se ocuparon dentro de la investigación y desarrollo de la misma. De igual forma se explica la revisión literaria de las palabras clave en las bases de datos. El capítulo finaliza con el transcurso metodológico que se necesitó para elaborar los modelos teóricos que se ocuparon para el análisis de los datos obtenidos y los modelos de simulación que utilizan a los derivados del maguey como producto.

## 2.1 Método de investigación

En el caso de este trabajo de investigación se utilizó principalmente el enfoque cuantitativo, que presenta un conjunto de procesos secuenciales y probatorios. Cada etapa precede a la siguiente y no podemos “brincar o eludir” pasos por ejemplo no es posible recolectar o analizar datos si previamente no hemos desarrollado el diseño o definido la muestra, el orden es riguroso, aunque, desde luego podemos redefinir alguna fase. Parte de una idea, que va acotándose y, una vez delimitada, se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica. De las preguntas se determinan variables; se desarrolla un plan para probarlas (diseño); se miden las variables en un determinado contexto; se analizan las mediciones obtenidas (con frecuencia utilizando métodos estadísticos), y se establece una serie de conclusiones. Este proceso se representa en la figura 2.1 (Hernandez-Sampieri, Fernandez, & Baptista, 2010).

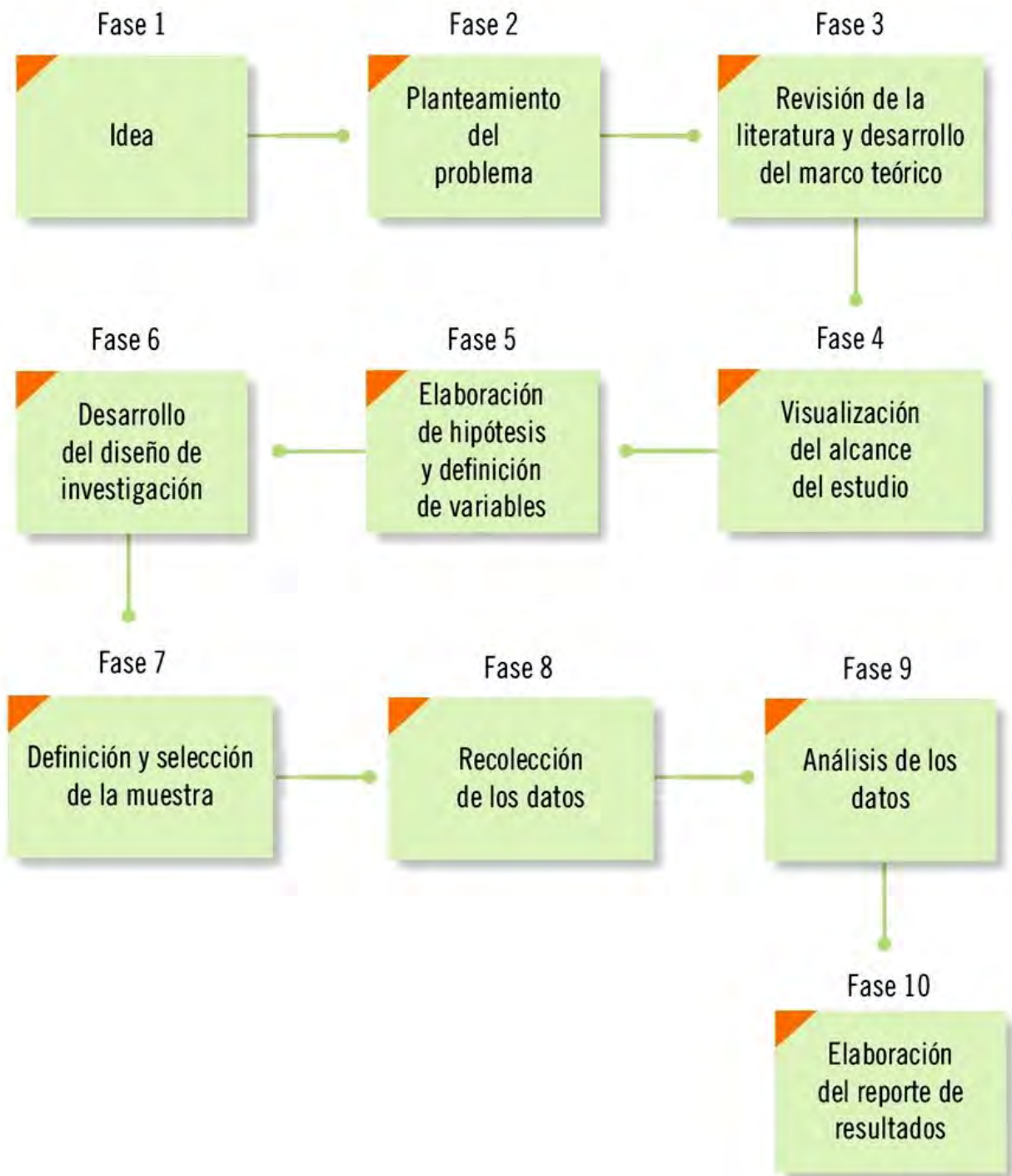


Figura 2.1 Diagrama del proceso cuantitativo (Hernandez-Sampieri et al., 2010).

El diagrama del proceso de investigación se compone por 10 fases que se explicarán brevemente a continuación y posteriormente a detalle dentro de este trabajo de investigación:

- **Fase 1: La idea.** El aprovechamiento de los derivados del maguey para utilizarlos como productos innovadores dentro del mercado actual.
- **Fase 2: Situación Problemática.** Las dificultades que presenta la agricultura en México principalmente la pobreza y la erosión.
- **Fase 3: Revisión Literaria.** Se realizó la tendencia de las palabras claves así como la revisión de artículos de investigación referentes al tema dentro de la base de datos *Web of Science*.
- **Fase 4: Alcance del estudio.** La investigación será exploratoria y descriptiva.
- **Fase 5: Definición de variables.** Las variables utilizadas son peso, altura y ganancia de biomasa de los magueyes.
- **Fase 6: Diseño de Investigación.** Este trabajo se apoya principalmente en el Método Tecnológico y el Método Empírico Inductivo.
- **Fase 7: Selección de la muestra.** El total de la población dentro de la plantación es de 462 magueyes y se tomaron 4 muestras diferentes de 60 individuos.
- **Fase 8: Recolección de datos.** La recolección de datos se dividió en 4 fechas diferentes, con una separación de aproximadamente de 3 meses entre ellas, para así poder registrar el crecimiento en peso y altura de la plantación.
- **Fase 9: Análisis de los datos.** Los datos recolectados se analizaron por medio de estadística descriptiva.
- **Fase 10: Reporte de Resultados.** El resultado final de esta investigación es la simulación de sistemas de producción que utilizan a los derivados del maguey como producto.



## 2.1.1 Método cuantitativo

Al basarse en el método cuantitativo de investigación y en sus fases presentadas anteriormente se generó un propio diagrama del proceso que se puede apreciar en la figura 2.2, este diagrama se construyó con la información de la investigación efectuada.

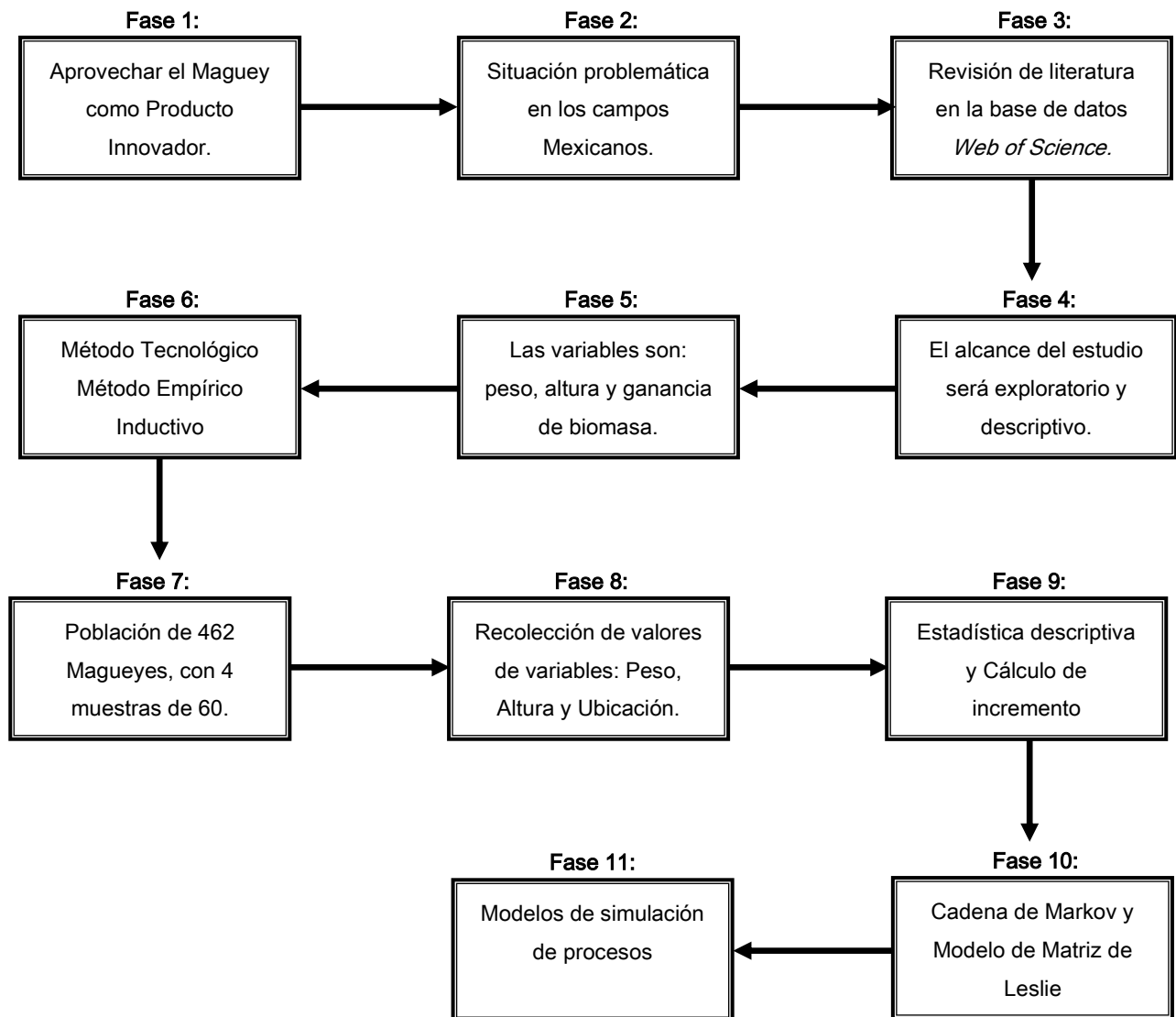


Figura 2.2 Diagrama del proceso de investigación.

La investigación científica se define como la serie de pasos que conducen a la búsqueda de conocimientos mediante la aplicación de métodos y técnicas. Dentro de esta investigación se utilizarán en conjunto los siguientes métodos:

## **2.1.2 Método tecnológico**

Involucra procesos de investigación, conocimiento y acción que se interrelacionan, este proceso supone el diseño y la proyección como metodología. Es decir, el hacer tecnológico gira en su rasgo metodológico más general, como la planificación previa de alguna cosa. Abarca las actividades y eventos que transcurren entre el reconocimiento de un problema y la especificación proyectual de una solución para el mismo, que sea funcional, económica y satisfactoria.

## **2.1.3 Método empírico inductivo**

Es el método científico que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares. Se trata del método científico más usual, en el que pueden distinguirse cuatro pasos esenciales:

1. La observación de los hechos para su registro.
2. La clasificación y el estudio de estos hechos.
3. La derivación inductiva que parte de los hechos y permite llegar a una generalización.
4. La contrastación (verificación de resultados).

## 2.1.4 Método de simulación de sistemas

Basado en las observaciones de diseños de muchos sistemas industriales similares y de proyectos de simulación, se divide el ciclo de vida de un proyecto de sistema típico en las siguientes etapas básicas (Banks & Randall, 1996, 2001). La figura 2.3, muestra los pasos que componen un estudio típico de simulación:

- **Formulación del problema.** Clarificar el estado del problema y definir los objetivos de estudio.
- **Establecer objetivos y un plan de proyecto global.** Planear el calendario y recursos para el proyecto.
- **Conceptualización del modelo.** Extraer las características esenciales del problema y completar el diseño del modelo.
- **Colección de datos.** Identificar y coleccionar datos de entrada para el modelo.
- **Traducir el modelo.** Construcción o programación del modelo.
- **Verificación.** Probar el modelo para ver si es correcto y completo.
- **Validación.** Determinar si el modelo es una representación actual del sistema real.
- **Diseño experimental.** Determinar cómo y cuales experimentos son requeridos.
- **Producción de corridas y análisis.** Correr el modelo para generar resultados para escenarios reducidos.
- **¿Más corridas?** Determinar si son necesarias si son más corridas y cuáles.
- **Documentación y reporte.** Documentar el proyecto, el modelo y los resultados.
- **Implementación.** Poner los resultados en uso.

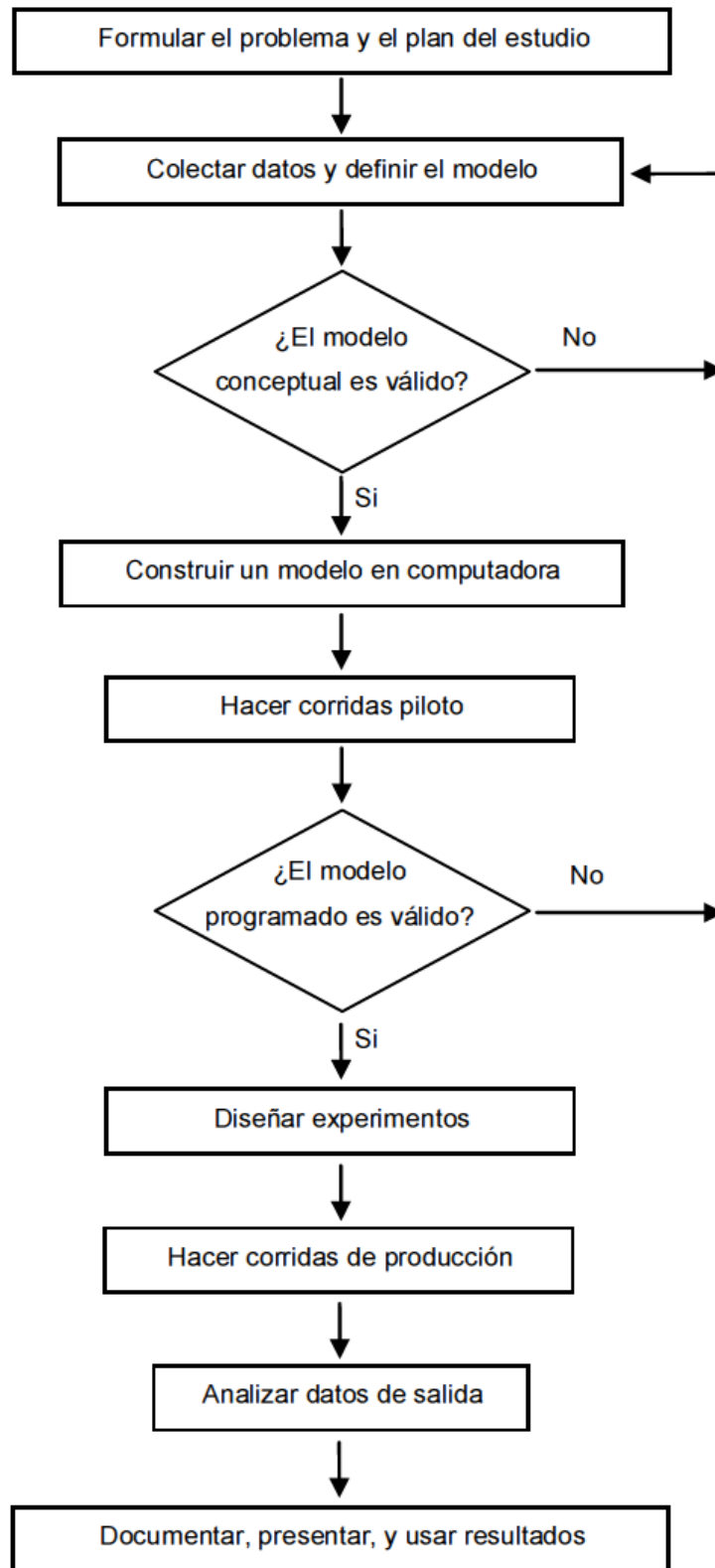


Figura 2.3 Pasos para un estudio de simulación (Banks & Randall, 1998).

## 2.2 Revisión de literatura

En el proceso de revisión, se adoptaron los principios de una revisión sistemática: (Jesson et al., 2011).

1. Mapeo del campo de estudio
2. Búsqueda completa de lo general a lo particular
3. Evaluación de la calidad
4. Extracción de datos
5. Síntesis
6. Redacción del texto

En primer lugar, se desarrolló un plan de investigación que comprende los temas de interés, las palabras clave, y un conjunto de criterios de inclusión y exclusión. De esta manera y siguiendo la metodología anterior se buscó información en la base de datos: *Web of Science* (*WOF* por sus siglas en ingles).

Como primer paso se identificó el lugar de estudio: la localidad de San Antonio Portezuelo situado en el Municipio de General Felipe Ángeles en el Estado de Puebla. Como segundo paso se buscaron referencias relacionadas con el cultivo de agave, información sobre el maguey como plata originaria de México, sobre su biología, ecología y manejo, así mismo sobre la inulina de agave y la cerveza de agave como producto comercial.

## Tendencia de la palabra clave “Agave”

En Google Trends, herramienta de Google que muestra los términos de búsqueda más populares, se realizó una búsqueda con la palabra "Agave" (ver figura 2.4), para observar su interés geográfico y así saber qué países se interesan en el tema y su tendencia de búsqueda. Los números representan el volumen de búsquedas con relación al punto más alto en el mapa, que es siempre 100.



Figura 2.4 Interés geográfico de la palabra clave “Agave” (Google Trends, 2015).

En Google Académico, que es un buscador de Google especializado en artículos de revistas científicas, enfocado en el mundo académico, al realizar una búsqueda con la palabra "Maguey", aproximadamente se encontraron 15,200 resultados relacionados. Y al usar “Maguey en México”, resultaron aproximadamente 14,300.

Al utilizar la base de datos *Web of Science* en el mes de mayo del 2015, con el perfil de búsqueda siguiente se ubicaron y recuperaron los siguientes artículos (ver tabla 2.1), acompañados de una gráfica de publicaciones anuales para analizar la tendencia en la literatura científica de la palabra clave “Maguey”.

Palabra Clave	Área de búsqueda	Artículos Publicados	Artículos Recuperados	Gráfica de Artículos publicados por año
TITULO: ("Maguey")	Área de Investigación: (Todas las bases)	52	4	
TEMA: ("Maguey en México")	Área de Investigación: (Todas las bases)	12	3	
TEMA: ("Maguey en Puebla, México")	Área de Investigación: (Todas las bases)	0	0	*Sin gráfica

Tabla 2.1 Artículos por año con la palabra clave "Maguey" (Web of Science, 2015).

Al utilizar la palabra clave "Maguey" se recuperaron 7 artículos de la base de datos *Web of Science*, estos artículos principalmente hablaban de los beneficios de la planta de agave así como de su aprovechamiento en el país de México. Cada uno de estos artículos es de divulgación científica y con diferentes autores.

## Tendencia de la palabra clave “Desarrollo local”

En Google Trends, herramienta de Google que muestra los términos de búsqueda más populares, de igual forma se realizó una búsqueda con la palabra "Desarrollo local" (ver figura 2.5), para observar su interés geográfico y así saber qué países se interesan en el tema y su tendencia de búsqueda. Los números representan el volumen de búsquedas con relación al punto más alto en el mapa, que es siempre 100.



Figura 2.5 Interés geográfico de la palabra clave “Desarrollo local” (Google Trends, 2015).

En Google Académico, que es un buscador de Google especializado en artículos de revistas científicas, enfocado en el mundo académico, al realizar una búsqueda con la palabra "Desarrollo local", aproximadamente se encontraron 813,000 resultados relacionados. Y al usar “Desarrollo local en México”, resultaron 242,000.

Al utilizar la base de datos *Web of Science* en el mes de mayo del 2015, con el perfil de búsqueda siguiente se ubicaron y recuperaron los siguientes artículos (ver tabla 2.2), acompañados de una gráfica de publicaciones anuales para analizar la tendencia en la literatura científica de la palabra clave “Desarrollo local”.



Palabra Clave	Área de búsqueda	Artículos Publicados	Artículos Recuperados	Gráfica de Artículos publicados por año
TITULO: ("Desarrollo Local")	Área de Investigación: (Todas las bases)	108	18	
TITULO: ("Desarrollo Local en México")	Área de Investigación: (Todas las bases)	5	3	
TEMA: ("Desarrollo Local en Puebla, México")	Área de Investigación: (Todas las bases)	0	0	*Sin gráfica

Tabla 2.2 Artículos por año con la palabra clave "Desarrollo local" (Web of Science, 2015).

Al utilizar la palabra clave "Desarrollo local" se recuperaron 21 artículos de la base de datos, los artículos mencionan que los países en desarrollo entre ellos México aplican planes de desarrollo en comunidades rurales para aprovechar los recursos naturales y así ayudar a los habitantes. Cada uno de estos artículos es de divulgación científica y con diferentes autores.

## Tendencia de la palabra clave “Negocio sustentable”

En Google Trends, herramienta de Google que muestra los términos de búsqueda más populares, de igual forma se realizó una búsqueda con la palabra "*Sustainable Business*" (ver figura 2.6), se buscó el termino en ingles puesto que en español no arrojo ningún resultado con interés geográfico. Los números representan el volumen de búsquedas con relación al punto más alto en el mapa, que es siempre 100.



Figura 2.6 Interés geográfico de la palabra clave "*Sustainable Business*" (Google Trends, 2015).

En Google Académico, que es un buscador de Google especializado en artículos de revistas científicas, enfocado en el mundo académico, al realizar una búsqueda con la palabra "Negocio sustentable", aproximadamente se encontraron 35,600 resultados relacionados. Y al usar "Negocio sustentable en México", resultaron 19,300.

Al utilizar la base de datos *Web of Science* en el mes de mayo del 2015, con el perfil de búsqueda siguiente se ubicaron y recuperaron los siguientes artículos (ver tabla 2.3), acompañados de una gráfica de publicaciones anuales para analizar la tendencia en la literatura científica de la palabra clave "Negocio sustentable".

Palabra Clave	Área de búsqueda	Artículos Publicados	Artículos Recuperados	Gráfica de Artículos publicados por año
TITULO: ("Sustainable Business")	Área de Investigación: (Todas las bases)	431	34	
TEMA: ("Sustainable Business México")	Área de Investigación: (Todas las bases)	46	4	
TEMA: ("Negocio Sustentable en Puebla, México")	Área de Investigación: (Todas las bases)	0	0	*Sin gráfica

Tabla 2.3 Artículos por año con la palabra clave "Negocio sustentable" (Web of Science, 2015).

Al utilizar la palabra clave "Negocio sustentable" se recuperaron 38 artículos de la base de datos *Web of Science*, estos artículos principalmente hablaban de las estrategias que se utilizan para integrar la sustentabilidad a un sistema de producción y los beneficios que lleva el desarrollar un negocio con perspectiva sustentable. Cada uno de estos artículos es de divulgación científica y con diferentes autores.

## Tendencia de la palabra clave “Sistema de producción”

En Google Trends, herramienta de Google que muestra los términos de búsqueda más populares, de igual forma se realizó una búsqueda con la palabra "Sistema de producción" (ver figura 2.7), cabe aclarar que la búsqueda se realizó con el termino en español para observar su interés geográfico en países de habla hispana. Los números representan el volumen de búsquedas con relación al punto más alto en el mapa, que es siempre 100.



Figura 2.7 Interés geográfico de la palabra clave “Sistema de producción” (Google Trends, 2015).

En Google Académico, que es un buscador de Google especializado en artículos de revistas científicas, enfocado en el mundo académico, al realizar una búsqueda con la palabra "Sistema de producción", aproximadamente se encontraron 1,210,000 resultados relacionados. Y al usar “Sistemas de producción en México”, resultaron 115,000.

Al utilizar la base de datos *Web of Science* en el mes de mayo del 2015, con el perfil de búsqueda siguiente se ubicaron y recuperaron los siguientes artículos (ver tabla 2.4), acompañados de una gráfica de publicaciones anuales para analizar la tendencia en la literatura científica de la palabra clave “Sistema de producción”.

Palabra Clave	Área de búsqueda	Artículos Publicados	Artículos Recuperados	Gráfica de Artículos publicados por año																																										
TEMA: ("Sistema de producción")	Área de Investigación: (Todas las bases)	617	12	<table border="1"> <caption>Artículos publicados por año (2002-2015)</caption> <tr><th>Año</th><td>2002</td><td>2003</td><td>2004</td><td>2005</td><td>2006</td><td>2007</td><td>2008</td><td>2009</td><td>2010</td><td>2011</td><td>2012</td><td>2013</td><td>2014</td><td>2015</td></tr> <tr><th>Artículos</th><td>5</td><td>8</td><td>10</td><td>20</td><td>18</td><td>25</td><td>50</td><td>60</td><td>65</td><td>80</td><td>90</td><td>92</td><td>78</td><td>10</td></tr> </table>	Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Artículos	5	8	10	20	18	25	50	60	65	80	90	92	78	10												
Año	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015																																
Artículos	5	8	10	20	18	25	50	60	65	80	90	92	78	10																																
TITULO: ("Production System México")	Área de Investigación: (Todas las bases)	57	6	<table border="1"> <caption>Artículos publicados por año (1995-2014)</caption> <tr><th>Año</th><td>1995</td><td>1996</td><td>1997</td><td>1998</td><td>1999</td><td>2000</td><td>2001</td><td>2002</td><td>2003</td><td>2004</td><td>2005</td><td>2006</td><td>2007</td><td>2008</td><td>2009</td><td>2010</td><td>2011</td><td>2012</td><td>2013</td><td>2014</td></tr> <tr><th>Artículos</th><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>2</td><td>1</td><td>5</td><td>2</td><td>1</td><td>3</td><td>0</td><td>6</td><td>3</td><td>2</td><td>5</td><td>6</td><td>6</td><td>5</td></tr> </table>	Año	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Artículos	0	1	0	1	1	0	2	1	5	2	1	3	0	6	3	2	5	6	6	5
Año	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014																										
Artículos	0	1	0	1	1	0	2	1	5	2	1	3	0	6	3	2	5	6	6	5																										
TEMA: ("Sistema de producción en Puebla, México")	Área de Investigación: (Todas las bases)	2	2	<table border="1"> <caption>Artículos publicados por año (2011-2014)</caption> <tr><th>Año</th><td>2011</td><td>2012</td><td>2013</td><td>2014</td></tr> <tr><th>Artículos</th><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	Año	2011	2012	2013	2014	Artículos	1	0	0	1																																
Año	2011	2012	2013	2014																																										
Artículos	1	0	0	1																																										

Tabla 2.4 Artículos por año con la palabra clave "Sistema de producción" (Web of Science, 2015).

Al utilizar la palabra clave "Sistema de producción" se recuperaron 20 artículos de la base de datos, dichos artículos discutían de los diferentes sistemas de producción que hay hoy en día. Cada uno de estos artículos es de divulgación científica y con diferentes autores.

## 2.3 Herramientas para el análisis de datos

A continuación se comenta sobre las técnicas y los modelos que se utilizaron para el análisis de datos que fueron recopilados en esta investigación.

### 2.3.1 Análisis estadístico

La estadística se ha convertido en un método efectivo para describir con un nivel de confianza los valores de datos de diferentes áreas científicas, y sirve como herramienta para relacionar y analizar estos datos. Las técnicas de estadística descriptiva utilizadas en este trabajo se realizaron en el software *Microsoft Excel*, una aplicación de hojas de datos especializada en análisis matemáticos. Dichas técnicas se mencionan a continuación:

#### Técnicas de muestro

**Muestreo aleatorio simple**, es aquel método que asigna una probabilidad igual de selección a todas y cada una de las muestras posibles y distintas. Siendo esta probabilidad  $1/C_n^N$ , donde  $N$  representa al tamaño de la población y  $n$  el tamaño de la muestra (Gutiérrez & Panteleeva, 2014).

**Muestreo estratificado**, cuando se tiene una población que puede ser dividida en varias subpoblaciones a las que llamamos estratos, pensamos en un muestreo de tipo estratificado. Este método es flexible en cuanto a la selección de la muestra en cada estrato. Es válido señalar aquí que los estratos se construyen sin importar que sean contiguos o no. Además, es importante decir que tanto el tamaño de la población total como el de cada estrato deben ser conocidos (Gutiérrez & Panteleeva, 2014).

## **Medidas de tendencia central**

Las medidas de tendencia central son valores que se ubican al centro de un conjunto de datos ordenados y nos indican en torno a qué valor (central) se distribuyen. Las medidas de tendencia central son:

- La media aritmética
- La mediana
- La moda

## **Medidas de dispersión de la tendencia central**

Las medidas de dispersión, también llamadas medidas de variabilidad, muestran la variabilidad de una distribución, indicando por medio de un número si las diferentes puntuaciones de una variable están muy alejadas de la media. Cuanto mayor sea ese valor, mayor será la variabilidad, y cuanto menor sea, más homogénea será a la media. Algunas medidas de dispersión muy utilizadas son:

- El rango
- La varianza
- La desviación estándar
- El coeficiente de variación

## **Distribución de frecuencia**

Se le llama “distribución de frecuencias” a la agrupación de datos en categorías mutuamente excluyentes que indican el número de observaciones en cada categoría. Esto proporciona un valor añadido a la agrupación de datos. La distribución de frecuencias presenta las observaciones clasificadas de modo que se pueda ver el número existente en cada clase (Alvarado & Obagi, 2008).

## Representaciones gráficas

Tras la recolección de datos, su organización y cuantificación, es útil la representación gráfica, ésta nos permite con un simple vistazo obtener información relevante de la población o la muestra (Gutiérrez & Panteleeva, 2014). Entre los más usados tenemos:

- La gráfica de barras
- El histograma
- El diagrama de caja con valores extremos

### 2.3.2 Análisis de regresión y curvas de ajuste

El análisis de regresión es uno de los métodos más utilizados para hacer estimaciones, y se emplea cuando existe relación entre dos o más variables. Se basa en las observaciones que se realizan para cada una de las variables, donde se da a conocer una ecuación matemática que indica la relación de estas. La ecuación se utiliza para poder estimar valores futuros que puede tener una variable. En cualquier tipo de problema se deben tener muy bien estudiadas e identificadas las variables que existen en dicho problema, a estas variables se les conoce como variable dependiente ( $y$ ), y variable independiente ( $x$ ). Cuando es usada la regresión permite encontrar una ecuación y trazar una línea que se acerque lo más posible a los puntos dados. La regresión se emplea en la estimación de una relación que puede existir en una población (Stevenson, 2000).

#### Ajuste de curvas

Al concluir la fase de recolección de datos de un experimento, el investigador cuenta normalmente con un conjunto de medidas de alguna variable dependiente en relación con ciertos valores seleccionados de una variable independiente.



Por lo regular, para ajustar una curva a los datos (expresar la relación funcional por medio de una ecuación matemática). Generalmente se trata de buscar una expresión matemática única que represente los valores de forma tan exactamente como sea posible. Este constituye un problema difícil porque, entre otras cosas, ajustar un número infinito de ecuaciones matemáticas diferentes a un conjunto finito de observaciones es teóricamente imposible. Por lo tanto, se recurre a probar el nivel de ajuste de los datos a algunas opciones preestablecidas y con ayuda de software se evalúan opciones frecuentes como las funciones exponenciales o polinomiales y se procede a medir el nivel de ajuste mediante estadísticos como el coeficiente de determinación denotado por  $R^2$ , el cual tiene valores entre 0 y 1, mientras más cercano el valor esté de 1, más preciso será el modelo.

## **2.4 Diagrama de transición de estados y cadena de Markov**

Los diagramas de transición de estados (DTE) representan acciones o procesos que dependen del tiempo de un sistema, es decir, son modelos gráficos del comportamiento de un sistema en base al tiempo. Las posiciones en un diagrama de transición se representan usualmente con un círculo o rectángulo y se les llama estados. Los estados se conectan mediante flechas o aristas, estas flechas tienen etiquetas que indican que clase de condición es necesaria para pasar de un estado a otro (Ravi & Ullman, 1998).

### **Estados del diagrama**

Los principales componentes del diagrama son los estados y las flechas, que representan los cambios de estado (ver figura 2.8). Cada rectángulo representa un estado en el que se puede encontrar el sistema. Un estado representa algún comportamiento del sistema que es observable y perdura durante un periodo finito, se le puede definir como un conjunto de circunstancias y atributos que caracterizan un proceso en un tiempo dado.

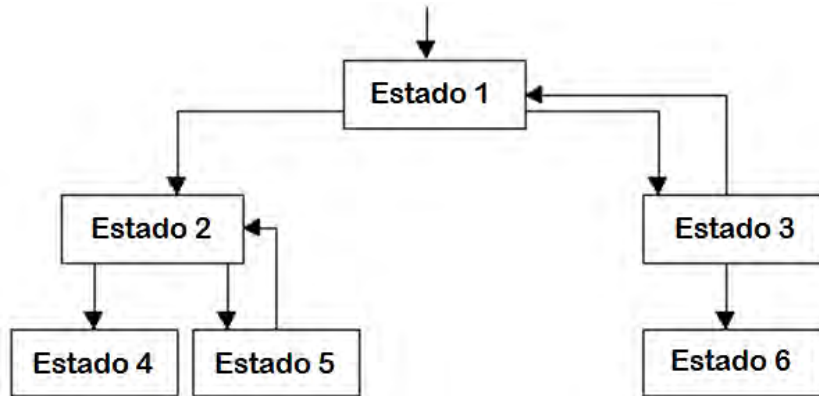


Figura 2.8 Diagrama de transición de estados.

### Cambios de estado

Los cambios de estados válidos en un DTE se muestran conectando pares relevantes de estados con una flecha. Es muy común que cualquier estado pueda llevar a un número arbitrario de estados sucesores. Normalmente el sistema tendrá solo un estado inicial, pero puede tener múltiples estados finales.

### Condiciones y acciones

Para completar el DTE necesitamos tomar en cuenta dos conceptos: las condiciones que causan un cambio de estado y las acciones que el sistema toma cuando cambia de estado. Las condiciones y acciones se muestran junto a la flecha que conecta los dos estados relacionados. Una condición es un acontecimiento en el ambiente externo o interno que el sistema es capaz de detectar (ver figura 2.9).

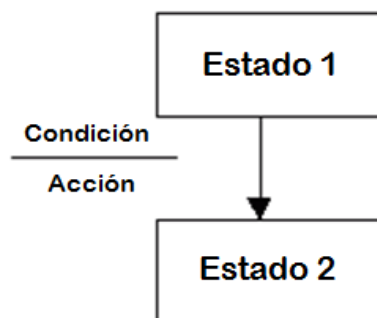


Figura 2.9 Diagrama de cambio de estado.

## 2.5 Modelo matricial de Leslie

Cuando la variación de una población se realiza en función del tiempo, obtenemos un proceso (continuo o discreto) que recibe el nombre de fluctuación o crecimiento de la población, la cual es la base para poder abordar la dinámica de poblaciones cuyo objetivo además de estudiar los cambios numéricos que sufren las poblaciones, busca determinar sus causas, predecir su comportamiento y analizar sus consecuencias ecológicas. Analizaremos en esta sección un importante modelo de crecimiento de poblaciones denominado 'Matriz de Leslie' en honor del autor del método, el fisiólogo Patrick Holt Leslie 1900 - 1974.

El modelo de Leslie es comúnmente el que más utilizan los demógrafos para el crecimiento de una población agrupar a los organismos por "edades" o en intervalos regulares de tiempo.

Supongamos que la edad máxima alcanzada por un individuo de una población sea  $L$  años y que esta población la dividimos en  $n$  clases de edades. Cada clase, es evidente que tendrá  $L/n$  años de duración. Por lo tanto, podemos construir la siguiente expresión:

$$\begin{array}{rcl} 1 & \dots & [0, \frac{L}{n}) \\ 2 & \dots & [\frac{L}{n}, \frac{2L}{n}) \\ \vdots & & \vdots \\ n-1 & \dots & [\frac{(n-2)L}{n}, \frac{(n-1)L}{n}) \\ n & \dots & [\frac{(n-1)L}{n}, L] \end{array}$$

Supongamos que en el momento inicial ( $t = 0$ ) conocemos el número de individuos que hay en cada uno de los intervalos. Llamaremos  $x_1(0)$  al número de individuos existentes en el intervalo  $i$ -ésimo en el momento inicial. Podemos construir el vector:

$$x(0) = (x_1(0), x_2(0), \dots, x_n(0))$$

Conocido con el nombre de **vector de la distribución inicial de las edades**. Al pasar el tiempo, por causas biológicas (nacimientos, envejecimiento, muertes), el número de individuos que hay en cada una de las clases se va modificando. Lo que pretendemos es ver cómo evoluciona el vector  $x(0)$  de distribución inicial con el tiempo.

La manera más fácil de proceder, para estudiar el proceso de envejecimiento es hacer observaciones de la población en tiempos discretos  $t_0, t_1, \dots, t_k, \dots$ . El modelo de Leslie requiere que la duración entre dos tiempos consecutivos de observación sea igual a la duración de los intervalos de edad; esto es:

$$t_0 = 0; t_1 = \frac{L}{n}, t_2 = \frac{2L}{n}; \dots; t_k = \frac{kL}{n}; \dots$$

Bajo esta hipótesis todas los individuos de la clase  $(i + 1)$  en el tiempo  $t_{k+1}$  estaban en la clase  $(i)$  en el tiempo  $t_k$  (suponiendo que no existen muertes ni nacimientos).

Los procesos de nacimiento y muerte entre dos tiempos consecutivos de observación se pueden describir mediante los siguientes parámetros demográficos:

- Al **promedio del número de descendencia** que tiene un individuo durante el tiempo que permanece en la clase de orden  $i$ , lo llamaremos  $a_i$  con  $i = 1, 2, \dots, n$ .
- La **fracción de la población** que están en la clase  $i$  y se espera que sobrevivan y pasen a la clase de orden  $i + 1$  la llamaremos  $b_i$  con  $i = 1, 2, \dots, n - 1$ .

Es evidente, según las definiciones dadas que:

$$1. a_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, n.$$

$$2. 0 < b_i \leq 1 \text{ con } i = 1, 2, \dots, n - 1.$$

El caso  $b_i = 0$ , no puede ocurrir ya que esto supondría que ningún individuo viviría más allá de la clase  $i$ . También supondremos que hay al menos un  $a_i > 0$  lo que garantiza que habrá nacimientos. A la clase donde  $a_i > 0$  la llamaremos clase fértil. Sea el vector de distribución de las edades en el tiempo  $t_k$ :

$$x(k) = (x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k))$$

El número de individuos de la primera clase en el tiempo  $t_k$  vendrá dado, únicamente por las nacidas entre los tiempos  $t_{k-1}$  y  $t_k$ . Podemos escribir:

$$x_1(k) = a_1x_1(k-1) + a_2x_2(k-1) + \dots + a_nx_n(k-1) \text{ [Ec. A]}$$

Por otro lado, el número de individuos en la clase de orden  $i + 1$  con  $i = 1, 2, \dots, n - 1$  en el tiempo  $t_k$  es igual al número de individuos de la clase de orden  $i$  en el tiempo  $t_{k-1}$  que todavía están vivos en el tiempo  $t_k$ .

$$x_{i+1}(k) = b_ix_i(k-1), \quad i = 1, 2, \dots, n - 1 \text{ [Ec. B]}$$

Expresando matricialmente [Ec. A] y [Ec. B] tenemos:

$$\begin{pmatrix} x_1(k) \\ x_2(k) \\ \vdots \\ x_n(k) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_{n-1} & a_n \\ b_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0, & 0, & \cdots & b_{n-1} & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1(k-1) \\ x_2(k-1) \\ x_3(k-1) \\ \vdots \\ x_n(k-1) \end{pmatrix}$$

O de una forma vectorial:

$$x(k) = Lx(k-1) \text{ [Ec. C]}$$

Dónde:

$$L = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_{n-1} & a_n \\ b_1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & b_2 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0, & 0, & \cdots & b_{n-1} & 0 \end{pmatrix}$$

Es lo que se denomina **matriz de Leslie**. De [Ec. C] se tiene que:

$$x(k) = L^k x(0)$$

De este modo, conocida la distribución inicial  $x(0)$  y la matriz  $L$ , se puede determinar la distribución de los organismos en cualquier tiempo futuro (Leslie, 1945).

## 2.6 Método de desarrollo de prototipos

Como se mencionó en el tema 1.3.7, el desarrollo de un prototipo se lleva a cabo en una forma ordenada, sin importar las herramientas utilizadas. A continuación se presentaran los pasos a seguir con el método de desarrollo de prototipos (ver figura 2.10).

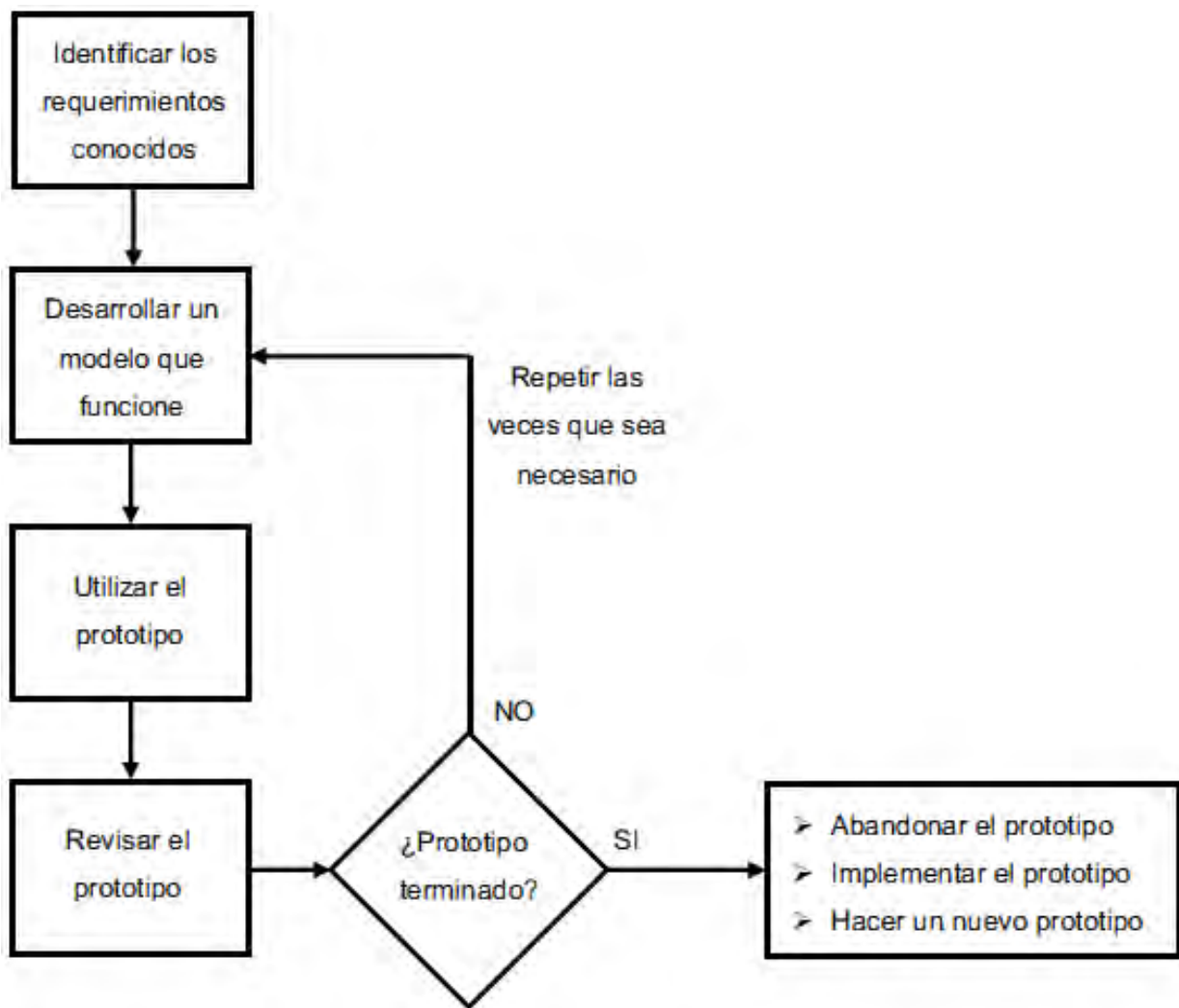


Figura 2.10 Método de desarrollo de prototipos (Senn, 1992).

### **Identificación de requerimientos conocidos**

La determinación de los requerimientos de un sistema es muy importante para el método de desarrollo de prototipos. Por consiguiente, antes de crear el prototipo, los creadores deben trabajar para identificar los requerimientos conocidos que tienen que satisfacerse. Para hacerlo determinan los fines para los que servirá el prototipo y el alcance de sus capacidades.

### **Desarrollo de un modelo de trabajo**

Es útil comenzar el proceso de construcción del prototipo con el desarrollo de un plan general que permita a las personas conocer lo que se espera de ellas y lo que se espera del proceso de desarrollo.

### **Utilización del prototipo**

Es responsabilidad de los creadores trabajar con el prototipo y evaluar sus características y operación. La experiencia con el sistema bajo condiciones reales permite obtener la familiaridad indispensable para determinar los cambios o mejoras que sean necesarios así como la eliminación de características inadecuadas o innecesarias. La experiencia de manejo con el prototipo es la que determina eventualmente cuando realizar un sistema completo.

### **Repetición del proceso**

El proceso finaliza cuando los creadores estén de acuerdo que el prototipo ha evolucionado lo suficiente como para incluir todas las características necesarias del sistema a alcanzar.



## Revisión del prototipo

La revisión del prototipo a lo largo de su utilización permite al creador profundizar en los rasgos y detalles que tienen influencia sobre el sistema a alcanzar y así evaluar la funcionalidad del prototipo y tomar la decisión de:

- **Abandonar el prototipo:** el desarrollo del prototipo proporcionó información a partir de la cual se determinó que la aplicación o el enfoque seleccionando y pueden ser inapropiados para un desarrollo adicional.
- **Implementar el prototipo:** las características y funcionamiento del prototipo satisfacen las necesidades de los creadores ya sea en forma permanente o para un futuro previsible.
- **Hacer un nuevo prototipo:** la información obtenida con el desarrollo del prototipo inicial sugiere otras opciones o circunstancias. Se construye un nuevo prototipo para añadir la información ya obtenida y hacer un mejor uso de los recursos.

## 2.7 Modelos de producción de los derivados del maguey

Los agaves son una familia de plantas que crecen de manera silvestre y cultivada en varios Estados de la República Mexicana, se utilizan industrialmente para la producción de bebidas alcohólicas, principalmente Tequila y Mezcal, aunque existen otros derivados del maguey que no son aprovechados como se debería, por tal motivo los siguientes puntos describirán a detalle los modelos de producción propuestos los cuales utilizan los siguientes derivados del maguey como producto: la Inulina y la Cerveza.

## 2.7.1 Modelo de producción de Inulina de agave

La utilización de compuestos existentes en diferentes variedades de agave en la alimentación ya sea de manera conjunta o cada uno por separado aprovechando sus propiedades de mejora funcional en el organismo. La extracción de estas sustancias se hace para su uso como probióticos o prebióticos, de manera industrial ya sea suministrado individualmente, en mezclas de dos o más de ellos de manera directa o como ingrediente en algún alimento (Legorreta & Ogura, 2002).

La inulina tiene la particularidad de que al ser ingerida pasa el estómago y gran parte del intestino delgado sin sufrir alteración química, al llegar al final del intestino delgado e intestino grueso, empieza a ser digerida por bacterias anaerobias, principalmente por las llamadas bifidobacterias, como resultado de su ingestión, la flora microbiana sufre modificación en las poblaciones bacterianas resultando un aumento considerable en el tiempo de las bifidobacterias, las cuales al digerir la inulina producen ácido láctico y ácido acético, ayudan a la síntesis de vitaminas mejoran la digestión y previenen infecciones, además tienen un efecto bactericida disminuyendo la población de bacterias patógenas existentes en el intestino. El aumento en la población de bifidobacterias en el intestino mejora el sistema inmunológico, así mismo ayuda en crear un medio adecuado para una mejor absorción de calcio, hierro y magnesio. Por lo anterior se considera que la producción industrial de inulina ya sea de forma pura o en mezcla con otros compuestos es importante para ser usado como complemento alimenticio o como ingrediente en alimentos (Legorreta & Ogura, 2002).

## Descripción general del proceso de producción:

1. Desgarrado de las cabezas o piñas de agave.
2. Rebanado de los trozos de agave desgarrado.
3. Secado (1) de las rebanadas de agave.
4. Molido de las rebanadas secas de agave. (Obtención de harina de agave)
5. Dilución de harina de agave con agua a temperatura entre 80 y 99° C.
6. Filtración (1).
7. Agitación (1) y adición de Carbón activado.
8. Filtración (2).
9. Evaporación (1) hasta la concentración deseada.
10. Secado (2). (Obtención de inulina base)

**Nota 1:** La solución del punto 8, pasa por 2 columnas de intercambio:

11. Intercambio aniónico.
12. Intercambio catiónico.
13. Evaporación (2) hasta la concentración deseada para obtener la solución de inulina de agave purificada por intercambio iónico, o solución inter.
14. Secado (3). (Obtención de inulina de agave purificada)

**Nota 2:** Eliminación de Calcio. Las soluciones obtenidas en los puntos 8 o 11 se agitan adicionando ya sea ácido fosfórico, fosfatos o quelatos.

15. Agitación (2) y adición de ácido fosfórico, fosfatos, carbonatos o, quelatos.
16. Se ajusta pH a valores de 7.0 o mayor para provocar la precipitación de las sales de calcio formadas en el paso 14.0.
17. Filtración.
18. Evaporación hasta obtener la concentración deseada de solución de inulina de agave sin calcio o solución sinca.
19. Secado (4). (Obtención de inulina de agave sin calcio)

**Nota 3:** Intercambio iónico, se pasa la solución de inulina de agave sinca por columnas empacadas con resinas de intercambio iónico:

20. Intercambio aniónico.

21. Intercambio catiónico.

22. Evaporación hasta obtener la concentración deseada libre de quelatos.

23. Secado (5). (Obtención de inulina de agave libre de quelatos en polvo o escamas).

La figura 2.11, muestra los pasos anteriores en forma de un diagrama de bloques para facilitar su comprensión:

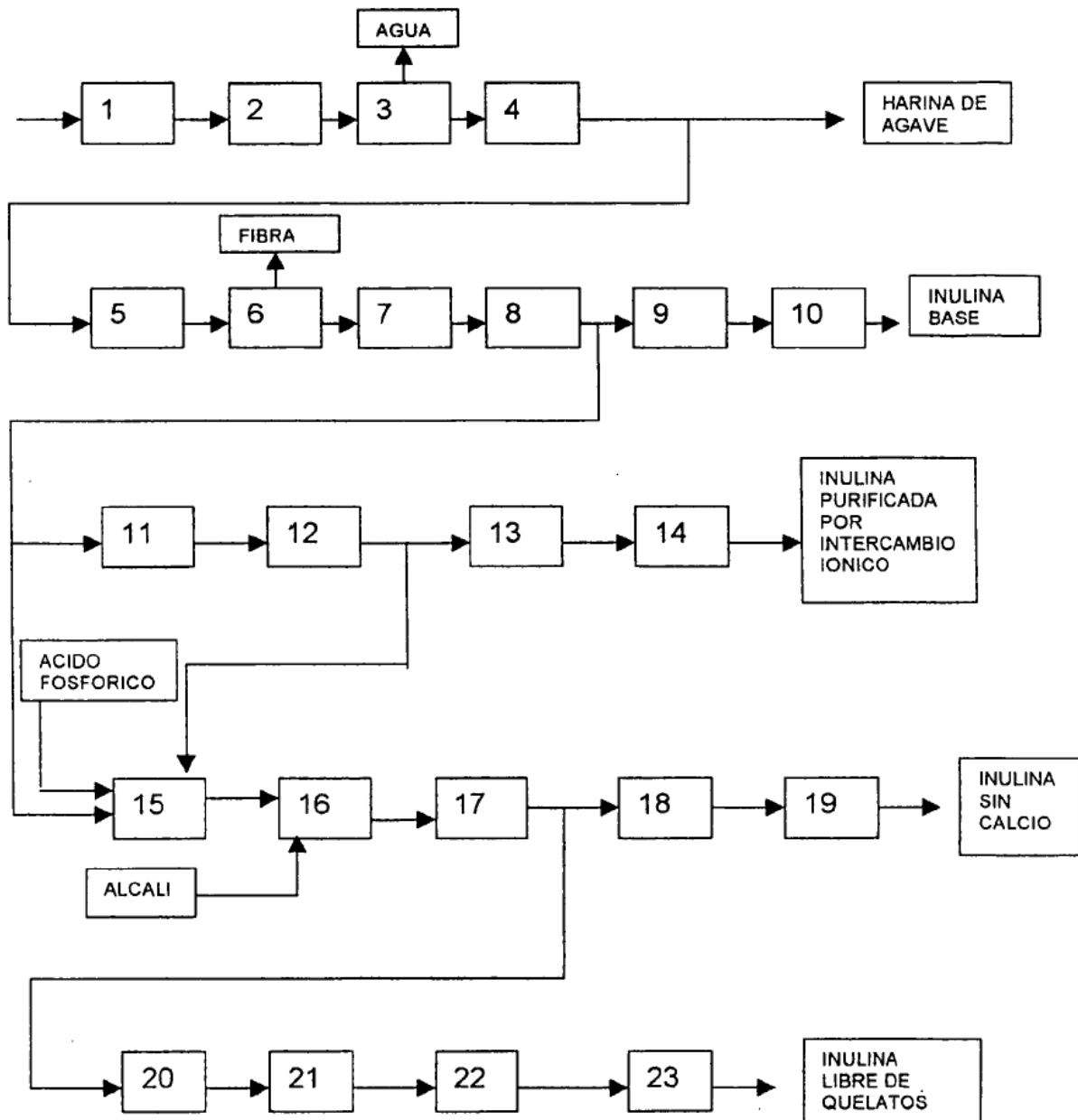


Figura 2.11 Diagrama del proceso de producción de inulina (Legorreta & Ogura, 2002).

## Descripción en detalle:

La descripción en detalle y los ejemplos específicos son dados a manera de ilustración únicamente debido a que varios cambios y modificaciones dentro del espíritu y campo de acción de la invención se harán en cuanto se tenga la destreza y experiencia industrial sobre los procesos de esta invención. El primer proceso consta de las siguientes etapas:

Las piñas o cabezas de agave (*niezontle*), son enjuagadas con agua. Posteriormente se destrozan (paso 1 en figura 2.11), mediante desgarradora de cuchillas, o martillos, o erizo; para obtener pedazos amorfos de peso individual no mayor a tres kilogramos, estos pedazos se pasan a un rebanador (paso 2 en figura 2.11) para dejar pedazos amorfos pero con una gran superficie relativa expuesta al aire, esto es los pedazos tendrán espesores de máximo un centímetro. Estos pedazos son alimentados a un secador (paso 3 figura 2.11) que puede ser de banda, tambor o túnel con flujo de aire caliente a una temperatura máxima de 140° C. para evitar hidrólisis y caramelización de inulina y otros azúcares contenidos en el agave, el objetivo de este paso es deshidratar hasta una humedad no mayor de 20% en peso. Los pedazos secos, pasan a un molino (paso 4 figura 2.11) que puede ser de cuchillas, de martillos, de bolas, de tambor, o cualquier tipo de pulverizador como los usados para producir harinas.

El producto obtenido, es uno de los productos de la invención llamada harina de agave y su composición en porcentajes en peso es:

- Inulina de agave entre 5% y 95%
- Fibra (celulosa, lignina) entre 1% y 80%
- Compuestos de calcio entre 0.1% y 10%.

## Proceso de refinamiento o separación de compuestos

La harina de agave arriba mencionada se usa como materia prima de la preparación de inulina diluyendo (paso 5 figura 2.11) en agua a una temperatura de entre 80° y 95° C. Se filtra (paso 6 figura 2.11) o cuela para eliminar la fibra insoluble. A la parte líquida se le adiciona 1 % en peso de carbón activado se agita (paso 7 figura 2.11) y se filtra (paso 8 figura 2.11) con filtro ayuda (tierras *diatomáceas*, o celulosa. El producto líquido es ya un producto de esta invención que se denomina solución base o solución B, esta solución se puede evaporar (paso 9 figura 2.11) para lograr la concentración deseada para su consumo como tal, también se puede llegar hasta el secado (paso 10 figura 2.11) y obtener otro producto de esta invención que es la inulina base, para el secado podrá utilizar un secador industrial, la composición de la inulina base es en porcentaje en peso:

- inulina de agave entre 5% y 97%
- Fibra (celulosa, lignina) entre 0.1 % y 5 %
- Compuestos de Calcio entre 0. 1% y 10%

Como continuación del proceso de refinación, la solución B se pasa por una columna empacada con resina intercambiadora aniónica (paso 11 figura 2.11), seguida por una de intercambio catiónica (paso 12 figura 2.11) o viceversa. El objetivo de este paso es eliminar impurezas y parcialmente el complejo de calcio.

**Nota 1:** Si se utiliza resina aniónica que forma OH<sup>-</sup> y catiónica que forma H<sup>+</sup> hay peligro de modificar pH de la solución en cada paso.

**Nota 2:** Si se utiliza resina aniónica que libera Cl<sup>-</sup> y catiónica que libera Na<sup>+</sup> no hay cambio de pH pero queda NaCl en la solución. La solución obtenida es otro de los productos de ésta invención y es llamada solución de inulina purificada por intercambio iónico o solución ínter.

Esta solución es otro producto de la invención y puede evaporarse (paso 13 figura 2.11) hasta obtener la concentración deseada para su uso, o bien secarse (paso 14 figura 2.11) para obtener la inulina purificada por intercambio iónico ya sea en forma de polvo o de escamas.

La composición de este producto es:

- Inulina de agave entre 5 % y 97 %
- Fibra (celulosa, lignina) entre 0.1 % y 10 %
- Compuestos de Calcio entre 0.1 % y 10 %

### **Eliminación de calcio**

Este proceso puede partir de la solución B o de la solución inter. Se puede usar fosfato, carbonato, oxalato, etc. para formar una sal de calcio poco soluble en agua. Como ejemplo, a la solución B o solución inter, se le adiciona el fosfato o ácido fosfórico (paso 15 figura 2.11), se agita se ajusta pH de la solución (paso 16 figura 2.11) a un valor 7 o un poco mayor para precipitar el sulfato de calcio  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  y otras sales de calcio y fósforo.

**Nota 3:** se pueden utilizar en lugar del ion fosfato, los iones carbonato, oxalato, sulfato, etc. y ajustar el pH de la solución arriba de 7.0 para precipitar las sales de calcio formadas.

**Nota 4:** En caso de usar carbonato, la solución se deberá calentar para ayudar la precipitación de las sales. Una vez realizada la precipitación de las sales, la solución se filtra (paso 17 figura 2.11).

La parte líquida filtrada es otro producto de la presente invención que es la solución de inulina sin calcio que llamaremos solución sinca. Esta solución se evapora (paso 18 figura 2.11) hasta tener la concentración deseada para su uso o se seca (paso 19 figura 2.11) para obtener el polvo o escama de inulina sin calcio.

La composición de este producto es:

- Inulina de agave entre 5 % y 99 %
- Fibra (celulosa, lignina) entre 0.1 % y 1 %
- Compuestos de Calcio entre 0 % y 0.1 %

### **Separación de inulina de quelatos**

La solución sinca se pasa por una columna empacada con resina intercambiadora aniónica (paso 20 figura 2.11) y posteriormente por una de intercambio catiónico (paso 21 figura 2.11) o viceversa, el resultado es la solución de inulina libre de quelatos (sustancia que forma complejos con iones de metales pesados), que llamamos solución *Inu*. Esta solución es otro de los productos de esta invención y puede ser evaporada (paso 22 figura 2.11) hasta obtener la concentración deseada para su uso o bien secarse (paso 23 figura 2.11) para obtener la inulina libre de quelatos en forma de polvo o escamas.

La composición de este producto es:

- Inulina de agave entre 5 % y 99 %
- Fibra (celulosa, lignina) entre 0 % y 0.1 %

### **Purificación de polvos o escamas**

En todos los productos mencionados en esta invención se puede lograr una mayor pureza enjuagando, diluyendo, filtrando y secando nuevamente los polvos o escamas utilizando como diluyente productos orgánicos como metanol, etanol, isopropanol o acetona.



## 2.7.2 Modelo de producción de cerveza de agave

Actualmente el uso de plantas del género de los agaves particularmente la especie *Agave tequilana* A. Weber ha sido limitado, y su destino ha estado principalmente ligado a la producción de bebidas destiladas de alta graduación (bebidas espirituosas), y su aprovechamiento en otro tipo de productos puede considerarse marginal. El proceso para elaborar una nueva bebida fermentada elaborada mayoritariamente a partir de los azúcares de plantas pertenecientes a la familia de las *Agaváceas* y al género de los agaves, esta bebida ofrece una aplicación industrial al ser ante todo, una alternativa para el consumo humano representando al mismo tiempo, una nueva opción para el aprovechamiento de este tipo de plantas (Soltero, 2007).

Las características del nuevo producto derivado del proceso aquí presentado hacen que sea apto para el consumo humano y atractivo para el consumidor debido a que cuenta con características organolépticas similares a las de la cerveza tradicional de malta, pero además contiene inulina. Existe evidencia científica de que la inulina es un importante nutraceutico prebiótico debido a que se fermenta en el intestino grueso, generando metabolitos que previenen el cáncer de colon y bajan el colesterol sanguíneo. Estas propiedades hacen factible la demanda del producto, la que consecuentemente contribuye a resolver la problemática de comercialización de plantas de la especie *Agave tequilana* A. Weber, la cual muchas veces se agudiza al existir un desequilibrio entre su disponibilidad y su consumo (Soltero, 2007).

Este nuevo producto, denominado cerveza de agave, se elabora basándose en algunas etapas del proceso de producción de la cerveza tradicional de malta, que se combinan con otras etapas diferentes a las utilizadas en el proceso cervecero.

La diferencia más novedosa entre el proceso de la cerveza tradicional de malta y el proceso de la Cerveza de agave es que los azúcares fermentables de los cuales se elabora la segunda provienen mayoritariamente de las plantas conocidas como agaves, particularmente de la especie *Agave tequilana* A. Weber, en lugar de ser extraídos de la malta de cebada (*Hordeum vulgare*) o de otros cereales refinados o sus almidones. Los demás ingredientes con los que se elabora la Cerveza de agave también son los ingredientes básicos de la cerveza tradicional de malta, a saber, *lúpulo* (*Humulus lupulus*), agua y levadura (Soltero, 2007).

#### **Descripción general del proceso de producción:**

En la figura 2.12, se puede observar el proceso para la elaboración de una bebida alcohólica, tipo cerveza, a base de plantas pertenecientes a la familia de las Agaváceas y al género de los agaves está caracterizado por las siguientes etapas:

1. Formular un mosto diluyendo en agua potable azúcares extraídos en su mayoría de plantas de agave, preferentemente utilizando las técnicas conocidas y aplicadas por la industria tequilera para tal efecto.
2. Cocer el mosto.
3. Adicionar lúpulo al líquido durante la cocción.
4. Enfriar el mosto aromatizado resultante.
5. Inocular levadura.
6. Reposar el líquido, en un recipiente hermético resistente a la presión.
7. Filtrar o centrifugar el líquido.
8. Envasar la Cerveza de agave.

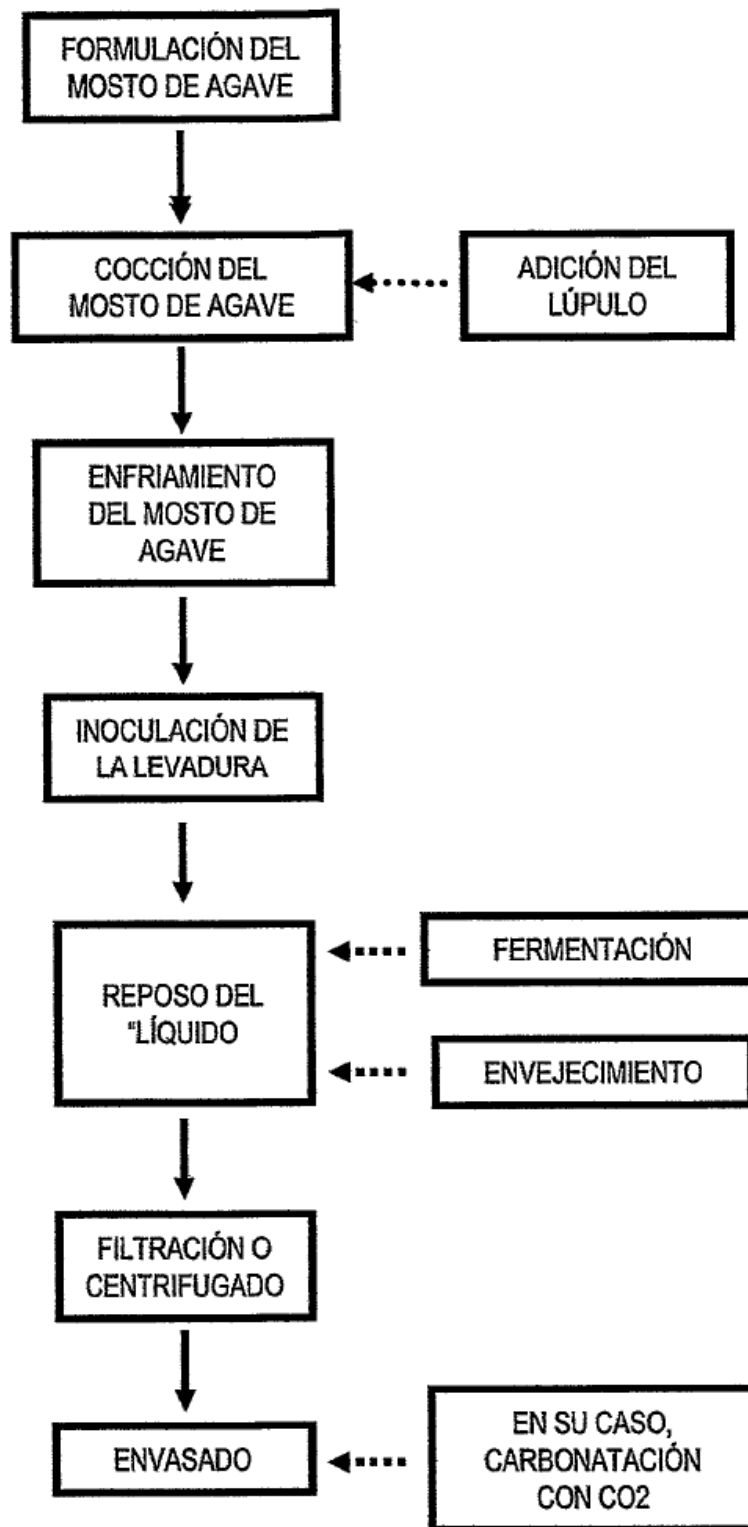


Figura 2.12 Diagrama del proceso de producción de Cerveza de agave (Soltero, 2007).

### **Descripción en detalle:**

La sustitución de la materia prima fermentable es la diferencia principal entre esta nueva Cerveza de agave y la cerveza tradicional de malta. Sin embargo, la simple sustitución de la materia prima no es suficiente para obtener un producto final con aplicación industrial. La obtención de la Cerveza de agave depende de la aplicación de ciertos cambios al proceso conocido de elaboración de cerveza tradicional de malta, así como la modificación de algunos parámetros en ciertas etapas del proceso que sí son comunes. Las modificaciones, tanto en etapas como en parámetros, así como la sustitución de la materia prima principal son el resultado de una actividad inventiva que permite que el producto final cuente con una verdadera aplicación industrial.

La figura 2.12, describe de manera general el proceso necesario para la elaborar y obtener la Cerveza de agave. Este proceso es diferente al proceso para la elaboración de la cerveza tradicional de malta. Los pasos utilizados en este último proceso para generar el mosto no son eficientes cuando se trata de obtener un mosto de agave. Asimismo, de utilizarse aguamiel en lugar de mosto, como es el caso en otras bebidas fermentadas de agave como el pulque, existiría el inconveniente de que el producto no presentaría las características organolépticas arriba descritas que son claramente representativas de la mayoría de las cervezas tradicionales. Por lo tanto, derivado de una actividad inventiva, se concluye que para elaborar la Cerveza de agave es necesario obtener el mosto con mayoría de azúcares fermentables provenientes de plantas de agave utilizando los procesos típicos de extracción de mosto que actualmente aplica la industria tequilera como paso inicial en la elaboración de bebidas destiladas.

Alternativamente, debido a la existencia de un incipiente mercado de miel de agave, el mosto también puede obtenerse a través de la dilución de dichas mieles. Es decir, para producir una Cerveza de agave es necesario incorporar al proceso etapas que no se han utilizado nunca en la elaboración de una cerveza tradicional de malta.

El primer paso para la elaboración de la Cerveza de agave consiste en formular el mosto, diluyendo los azúcares extraídos mayoritariamente de plantas de Agave en agua, ya sea potable o de manantial, como es característico en cervezas de fermentación en fondo (también conocidas como tipo Lager), o de fermentación en superficie (también conocidas como tipo Ale) en las cuales la composición de sales carbonatadas y de otros tipos es de mucha importancia en la calidad del producto terminado. Este mosto debe tener una concentración de azúcares totales de entre un 6% (una densidad aproximada de 1.022) y un 20% (una densidad aproximada de 1.081), medido a 20° C.

El mosto debe filtrarse utilizando los procesos y técnicas que típicamente utiliza la industria cervecera, con el objeto de separar el líquido filtrado de los sólidos retenidos, facilitando así el proceso de fermentación y permitiendo que se genere un producto con la transparencia y claridad definida en los parámetros de calidad del producto. Durante la formulación del mosto de agave también se incluye una actividad clave consistente en ajustar el pH del líquido para reducir su acidez. De manera natural, un mosto de agave presenta un pH que se sitúa entre 3.0 y 3.9. Este rango es diferente al pH de un mosto tradicional de malta que comúnmente se sitúa entre 5.1 y 6.0. Por tanto, de seguir el proceso conocido de producción de cerveza tradicional de malta utilizando el mosto de agave y sin atender a la corrección de la acidez, el resultado sería un producto final con un pH inferior a 4.0, lo que significa que sería demasiado ácido para tener un verdadero potencial de aplicación industrial.

Al mosto de agave, contenido en un recipiente resistente a la temperatura y cerrado pero no herméticamente, se le aplica calor preferentemente haciendo circular vapor de agua a través de un serpentín instalado dentro del recipiente y en contacto con el mosto, para llevar el líquido a una temperatura mínima de 82° C y de hasta 100° C. Este proceso se conoce como cocción. El tratamiento térmico inherente a la cocción asegura la completa destrucción de todos los microorganismos presentes en el mosto, en preparación a un medio prácticamente estéril, idóneo para el desarrollo posterior de la levadura.

La cocción del mosto debe durar por lo menos 15 minutos, preferentemente una hora, y en este periodo se le debe adicionar el lúpulo o extracto de éste en un mínimo de dos momentos distintos. El primer momento es dentro de los 5 minutos posteriores al inicio de la cocción, cuando se adiciona al mosto el lúpulo destinado a dar amargor y sabor al producto. El segundo momento es durante los 5 minutos anteriores al final de la cocción en los cuales se adiciona al mosto el lúpulo tendiente a generar características aromáticas. El lúpulo puede adicionarse en más de dos momentos distintos pero respetando los dos anteriormente descritos. La cantidad de lúpulo que se adiciona depende del amargor que se desee obtener.

Una vez terminada la cocción es necesario que el producto, conocido ahora como "mosto aromatizado" (en este caso de agave), quede contenido en un recipiente cerrado que no permita su contaminación con microorganismos diferentes a la levadura que se inoculará de manera intencional. El mosto aromatizado, debe enfriarse en un plazo no mayor de una hora hasta llevarlo a una temperatura que se sitúe entre los 12° y 15° C si se busca elaborar una cerveza con fermentación en fondo, o inferior a los 25° C si se pretende elaborar una cerveza con fermentación en superficie, según el tipo de levadura que vaya a utilizarse para la fermentación.

El enfriamiento del mosto aromatizado debe darse de manera acelerada y no dejar que se enfríe de manera natural ya que de hacerlo así se correría el riesgo de que el líquido se infectase por microorganismos no deseados que se encuentran en el ambiente. Para enfriar el mosto aromatizado puede usarse un intercambiador de calor o cualquier otro método conocido que se utilice en estos procesos de manera industrial. Asimismo, antes de que inicie el proceso de inoculación de la levadura, es necesario garantizar que el mosto aromatizado mantenga su concentración de azúcares totales dentro del rango establecido (entre un 6% y un 20% medido a 20° C).

Una vez que el mosto aromatizado se ha enfriado hasta la temperatura deseada y se ha garantizado que la concentración de azúcares se encuentra dentro del rango referido anteriormente, se le inocula levadura. Preferentemente debe utilizarse levadura del tipo *Saccharomyces cerevisiae* que permite elaborar, ya sea una cerveza con fermentación en fondo (la cual se lleva a cabo idealmente a temperaturas que van entre los 4° y 15° C), o una cerveza con fermentación en superficie (que se lleva a cabo idealmente a temperaturas de entre 20° y 24° C.)

La levadura llevará a cabo el proceso bioquímico de fermentación, transformando los azúcares fermentables del mosto en alcohol y CO<sup>2</sup>. Este proceso de fermentación dura idealmente entre 3 y 15 días dependiendo del tipo de fermentación y, especialmente, de la temperatura de fermentación. La fermentación concluye cuando los azúcares fermentables del mosto reducen su nivel, preferentemente a menos del 5%, e idóneamente a menos de 3%. El proceso debe efectuarse en un recipiente herméticamente cerrado que permita, sin embargo, controlar la presión que generará la producción de CO<sup>2</sup> y, en su caso, recuperar el excedente de este gas originado por la levadura para, de considerarse necesario, almacenarlo e incorporarlo posteriormente a la cerveza terminada.

Una vez finalizada la fermentación, es recomendable dejar reposar el líquido en un recipiente herméticamente cerrado preferentemente por al menos cinco días a una temperatura inferior a los 5° C. Este proceso se conoce como "maduración" o "envejecimiento" y los objetivos principales del mismo son permitir una mayor sedimentación de sólidos y de la levadura que aún tiene la cerveza, mejorar su carbonatación, reducir aún más los azúcares residuales y afinar el sabor del producto.

El color de la Cerveza de agave se puede aclarar aplicando al líquido técnicas convencionales de blanqueo con arcillas neutras, activadas, bentonitas o cualquier otro material semejante, preferentemente después de la fermentación. Deberá, sin embargo, asegurarse que dichas sustancias se eliminen posteriormente a través de la filtración o la centrifugación difásica.

A continuación, el producto debe ser filtrado o sometido a una centrifugación difásica con el objeto de separar levadura gastada y sólidos que aún permanecen en éste. Algunos de éstos sólidos podrían ser las tierras o arcillas neutras, activadas, bentonitas o cualquier otro material semejante que se haya utilizado en caso de que se haya decidido clarificar la cerveza. Al eliminar dichos sólidos se mejora la transparencia y se incrementa la brillantez de la Cerveza de agave.

Finalmente la Cerveza de agave se envasa en recipientes limpios y herméticos con lo cual el proceso puede considerarse terminado. Sin embargo, en caso de que se desee alargar la vida del producto una vez envasado, debe tenerse cuidado en eliminar el oxígeno en forma de gas dentro del envase, así como de llevar a cabo un proceso de pasteurización del producto envasado, para reducir la presencia de microorganismos vivos en el producto.



## 2.8 Material y equipo para la investigación

A continuación se establece el material y equipo ocupado dentro de la investigación, principalmente para la siembra y registro de datos del prototipo de cultivo de maguey. De igual forma el material y equipo que se ocupa dentro de los procesos de obtención de inulina de agave y cerveza de agave.

### 2.8.1 Material y equipo para el prototipo de UPR

Una Unidad de Producción Rural (UPR), que se define como aquella organización propiedad de una familia, la cual mantiene el control y la administra manteniendo la expectativa de que continúe de una generación a otra (Miller & Breton-Miller, 2005).

#### Material y equipo:

- Guantes de carnaza
- Cubetas
- Pico y palas
- Balanzas
- Cinta métrica
- Plumón grueso
- Bolígrafos
- Hojas de registro
- Registro de ubicación
- Tablas de datos

## 2.8.2 Material y equipo para la obtención de Inulina de agave

Algunas especies de plantas, entre ellos el agave, tienen como reserva de carbohidratos polímeros de fructosa (fructosanos), en lugar de glucosa, tales como la Inulina que son más pequeños que las moléculas de almidón y más solubles en agua. Las inulinas se encuentran más frecuentemente almacenadas en raíces y tubérculos en lugar de secciones aéreas de las plantas (Bautista-Justo et al., 2001).

### Material y equipo:

- Guantes de carnaza
- Coa para maguey
- Machete o hacha
- Mazo o martillo
- Pico y pala
- Cuchillo liso o cúter grande
- Sacos o bolsas grandes
- Molino triturador
- Motosierra
- Procesador de alimentos
- Exprimidor de jugo
- Evaporador rotatorio
- Ollas de acero inoxidable

## 2.8.3 Material y equipo para la obtención de Cerveza de agave

La planta de agave, tradicionalmente conocida como maguey, resulta ser una alternativa viable para su aprovechamiento integral en la obtención de bebidas alcohólicas, fibras dietéticas y biocombustibles, entre otras aplicaciones. El aguamiel es un fluido (savia) producido por algunos tipos Agaves, está compuesto principalmente por una alta cantidad de azúcares fermentables y es particularmente utilizado para la elaboración artesanal del pulque, una bebida alcohólica de tradición milenaria en el país (Muñiz-Márquez et al., 2013).

### Material y equipo:

- Guantes de carnaza
- Coa para maguey
- Machete o hacha
- Mazo o martillo
- Raspador
- Acocote
- Cuero de chivo
- Filtro de agua miel
- Molino triturador
- Motosierra
- Procesador de alimentos
- Exprimidor de jugo
- Evaporador rotatorio
- Ollas de acero inoxidable

# CAPÍTULO 3: Resultados

En esta sección se mostrarán las observaciones más relevantes por medio de tablas, imágenes y descripciones escritas que explican a detalle los sistemas de producción. Primero se explica el proceso de construcción del prototipo de cultivo de maguey, siguiendo los pasos del método por prototipos, ya antes explicado. Se continúa con el diseño de la investigación, es decir, cómo se seleccionó la muestra, cómo se realizó la recolección y análisis de los datos por medio de técnicas de estadística descriptiva y los resultados que éstas dieron. Por último se explican los modelos de simulación industrial de los sistemas de producción de inulina de agave y cerveza de agave, realizados con el software de *Arena* de *Rockwell Automation*.

## 3.1 Vista general del Sistema de producción

En la figura 3.1, se puede observar un esquema general del sistema de producción que deriva del prototipo de cultivo de maguey. El esquema se divide en cuatro bloques principales, el primer bloque son los proveedores, quienes nos suministran la materia prima utilizada para producir los bienes de nuestros sistemas de producción; el segundo bloque son las plantas o líneas de producción, donde se efectúan todos los procedimientos necesarios para realizar los bienes; el tercer bloque son los almacenes, que son los lugares en donde guardaremos nuestros productos para su posterior distribución y venta, finalmente el cuarto bloque son los clientes, las personas que nos compraran nuestros productos por un precio razonable.

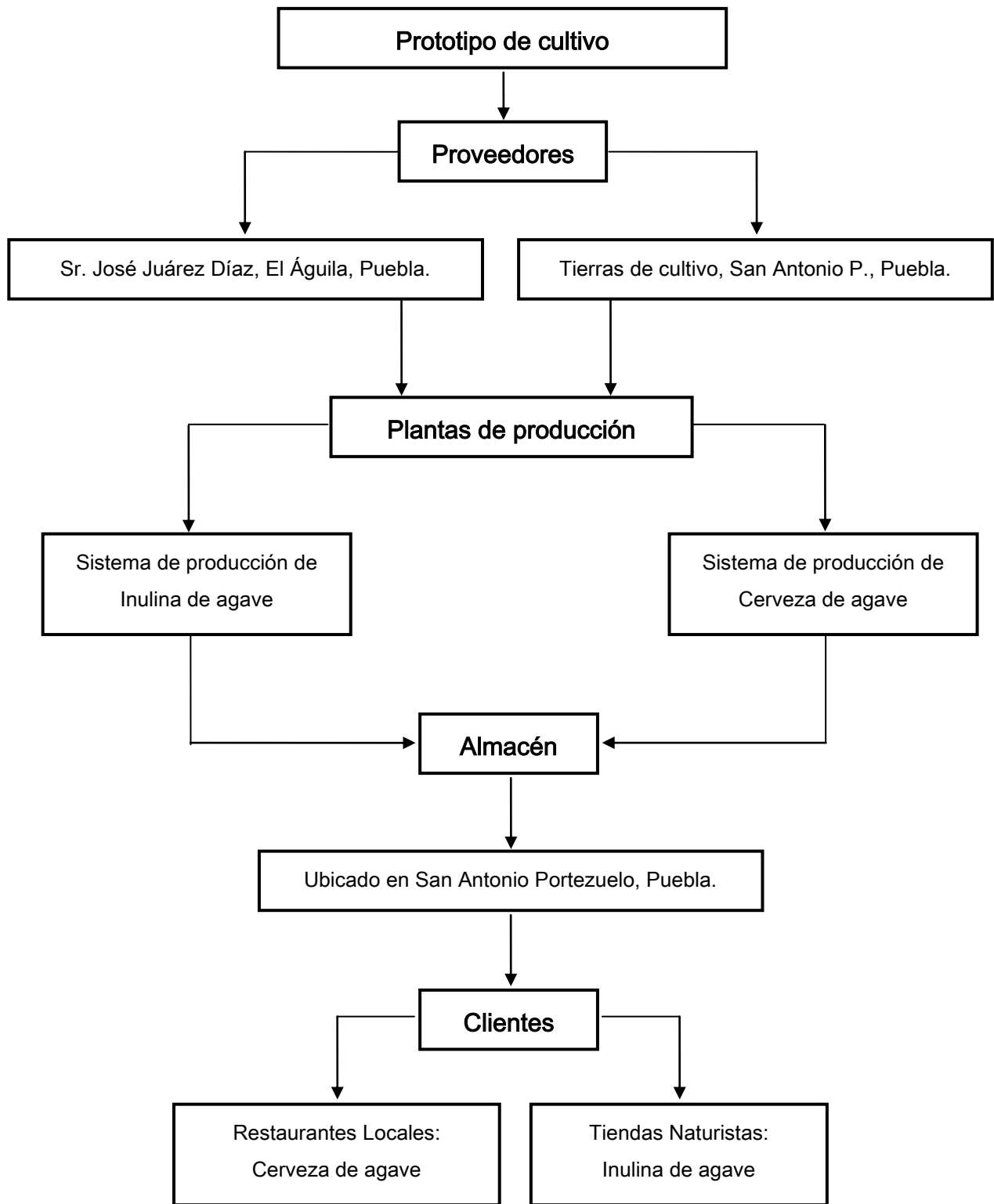


Figura 3.1 Propuesta del Sistema de producción.

## 3.2 Descripción del Sistema de producción

Al desglosar el sistema productivo de la figura 3.1, encontramos que:

**Prototipo de cultivo:** el sistema productivo deriva del prototipo de cultivo de maguey, es decir, se utilizan como base general los datos generados por el prototipo para el desarrollo del sistema productivo.

**Bloque de Proveedores:** tenemos primero al Sr. José Juárez Díaz de la localidad El Águila, Puebla, el cual fue nuestro proveedor de plantas de Maguey, \$9.00 pesos cada Maguey con una altura promedio de 40 cm. En segundo lugar tenemos al Sr. Porfirio Marcelino de la localidad de San Antonio Portezuelo, Puebla, el cual nos facilitó una parcela en uno de sus terrenos para poder plantar y cultivar el Maguey.

**Bloque de Plantas:** ubicado a 15 minutos de San Antonio Portezuelo, Puebla, es en donde se encuentra la propuesta de sistema de producción de este trabajo de tesis, la cual se compone por los sistemas de producción que utilizan diferentes derivados del maguey: Inulina de agave y Cerveza de agave, que posteriormente serán descritos a detalle.

**Bloque de Almacén:** se encontraría en San Antonio Portezuelo, Puebla, en una bodega en la propiedad del Sr. Porfirio Marcelino, dado el tamaño y volumen de los productos que se manejarían de momento esta bodega es suficiente.

**Bloque de clientes:** se dejara como futuras investigaciones, de momento con dos potenciales opciones que son: los Restaurantes Locales para el consumo de Cerveza de agave y las Tiendas Naturistas para la venta de Inulina de agave.

### 3.3 Prototipo de UPR: Cultivo de maguey

Una Unidad de Producción Rural (UPR), que se define como aquella organización propiedad de una familia, la cual mantiene el control y la administra manteniendo la expectativa de que continúe de una generación a otra (Miller & Breton-Miller, 2005).

Tomando como base la información del tema 2.4, se desarrolló un prototipo de Unidad de Producción Rural con el cultivo de maguey, siguiendo los pasos del diagrama de la figura 2.10 (Método de desarrollo de prototipos).

#### 3.3.1 Identificación de requerimientos

**Primer requerimiento:** Tamaño de la parcela (ver figura 3.2), se calculó un tamaño prudente para desarrollar el prototipo de cultivo, siendo de 1050 m<sup>2</sup>, aproximadamente un décimo de hectárea.

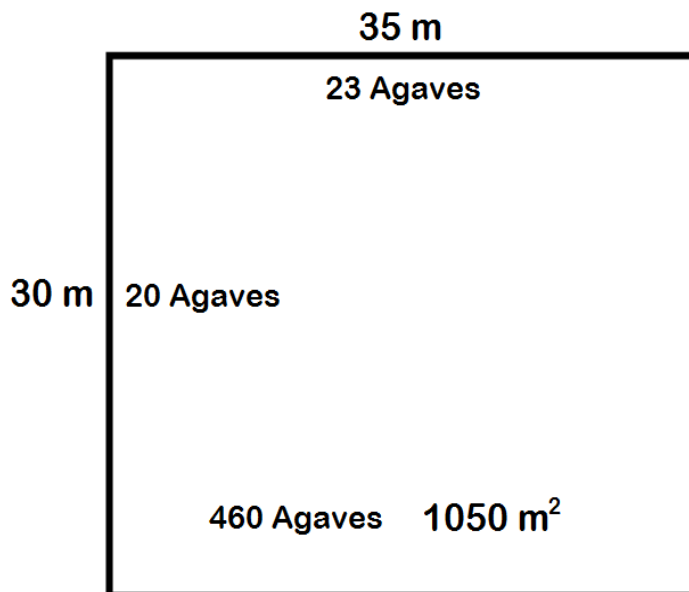


Figura 3.2 Tamaño de parcela

**Segundo requerimiento:** Lugar de la parcela (ver figura 3.3), permiso otorgado por productores de la localidad de San Antonio Portezuelo, Puebla.



Figura 3.3 Parcela en San Antonio Portezuelo, Puebla.

**Tercer requerimiento:** Obtención de agaves para siembra (ver figura 3.4), plantas adquiridas del Sr. José Juárez de la localidad El Águila, Puebla.



Figura 3.4 Obtención de agaves.



**Cuarto requerimiento:** Registro de datos (ver figura 3.5), una vez obtenidos los agaves, estos se enumeraron del 1 al 462, tomando el registro de su altura y peso.

<b>Fecha:</b>	25 de Abril 2015	<b>Predio:</b>	Sr. Porfirio
<b>Localidad:</b>	San Antonio Portezuelo	<b>Planta:</b>	Maguey

Número	Altura (cm)	Peso (g)
1	41	1780
2	60	3400
3	52	2777
4	68	3800
5	49	1827
...	...	...
460	42	1061
461	35	677
462	34	1043

Figura 3.5 Registro de datos.

**Quinto requerimiento:** Tiempo de espera para iniciar el cultivo, tomando en cuenta la experiencia sobre agricultura y trabajo de campo del dueño de la parcela, el cual sugirió esperar aproximadamente 2 semanas antes de iniciar el cultivo de maguey.



Figura 3.6 Tiempo de espera para iniciar el cultivo.

### 3.3.2 Desarrollo del prototipo

**Plantación de agaves:** después del tiempo de espera se comenzó a plantar los magueyes con ayuda de campesinos y de estudiantes y tesistas de la ENCB-IPN (ver figura 3.7).



Figura 3.7 Plantación de agaves.

**Registro de ubicación:** una vez completa la plantación de agaves, se llevó a cabo el registro de su ubicación exacta dentro del cultivo (ver figura 3.8).



Figura 3.8 Registro de ubicación.



### 3.3.3 Utilización del prototipo

**Determinación del incremento de biomasa:** aproximadamente 3 meses después de la plantación del cultivo de maguey, se utilizó el registro de ubicación y la división de clases de los agaves para llevar a cabo la primer muestra estadística estratificada de datos (ver figura 3.9), tomando registro del peso y la altura de 60 agaves seleccionados aleatoriamente según su clase. Este proceso se repitió cada tres meses (aproximadamente) hasta tener datos de 4 muestreos, para completar el registro de 1 año de crecimiento del cultivo de maguey, el cual se puede consultar en el tema 3.4.2.



Figura 3.9 Determinación del incremento de biomasa.

### 3.3.4 Revisión del prototipo

**Seguimiento de la plantación:** Además de los muestreos periódicos efectuados a lo largo de un año, se le dio seguimiento y se mantuvo el cuidado de la misma, esto por parte del propietario del terreno, el cual periódicamente visito el cultivo y efectuó labores de eliminación de malas hierbas.



Figura 3.10 Seguimiento de la plantación.

**Implementación del prototipo:** una vez analizados los resultados del cultivo de maguey se tomó la decisión de continuar con el prototipo, es decir, según el método de desarrollo de prototipos una vez hecha la revisión, se valoró que las necesidades del sistema a alcanzar se satisfacen para un futuro previsible, esto apoyado por los datos estadísticos recopilados (ver tema 3.4) a lo largo de 1 año de funcionamiento del prototipo. Por lo tanto se puede concluir que el prototipo cumple con los requerimientos y características para ser reproducido a mayor escala en la región.

## **3.4 Resultados estadísticos de la investigación**

### **3.4.1 Selección de la muestra**

El total de la población dentro de la plantación es de 462 agaves, divididos en 10 clases o subgrupos diferentes dependiendo de la altura o peso del maguey. Se tomaron 4 muestras en intervalos de 3 meses de 60 individuos diferentes en cada muestra, es decir, se realizó un muestreo aleatorio estratificado, se seleccionó al azar a los agaves de las diferentes clases en forma proporcional hasta completar el año de muestreo.

### **3.4.2 Recolección de datos**

Una vez que seleccionamos el diseño de investigación apropiado y la muestra adecuada, la siguiente etapa consiste en recolectar los datos pertinentes sobre las variables de análisis para elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico. La recolección de datos se dividió en 4 fechas diferentes, con una separación de aproximadamente 3 meses entre ellas, para registrar el crecimiento en peso y altura de la plantación.

La tabla 3.1, presenta la primer muestra aleatoria estratificada tomada de 60 agaves, en ella podemos observar el primer incremento presentado por los magueyes al día 4 de agosto del 2015 al compararlo con la toma general de pesos y alturas hecha el día 25 de abril del 2015, es decir, el incremento que tuvieron los magueyes en peso y altura después de 101 días de su plantación.

Sujeto	Muestra		25-Abril-15		04-Agosto-15		Incremento	
	Clase	Núm.	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)
1	1	145	28	1030	47	1800	19	770
2	1	180	32	1074	48	1980	16	906
3	1	204	32	764	44	1420	12	656
4	1	230	31	452	40	950	9	498
5	1	312	32	578	48	1300	16	722
6	2	53	36	1458	52	1970	16	512
7	2	55	35	1362	54	2500	19	1138
8	2	94	34	1075	38	1900	4	825
9	2	118	35	942	45	1370	10	428
10	2	140	33	1485	50	1580	17	95
11	2	158	36	1685	51	3100	15	1415
12	2	246	34	575	52	1300	18	725
13	2	258	37	824	47	1590	10	766
14	2	265	37	738	45	1510	8	772
15	2	276	35	961	45	1180	10	219
16	2	296	34	603	40	800	6	197
17	2	310	33	516	48	1120	15	604
18	2	349	34	809	50	1700	16	891
19	2	401	37	735	40	1150	3	415
20	3	1	41	1780	50	3130	9	1350
21	3	28	40	2600	54	3800	14	1200
22	3	59	39	1012	54	2110	15	1098
23	3	90	42	1132	56	1850	14	718
24	3	92	40	1372	57	2650	17	1278
25	3	110	38	1197	48	2500	10	1303
26	3	139	38	1112	49	1840	11	728
27	3	155	41	940	52	1400	11	460
28	3	185	38	1194	59	2300	21	1106
29	3	200	40	1174	56	2150	16	976
30	3	201	42	884	50	1240	8	356
31	3	211	38	903	48	1600	10	697
32	3	290	40	873	48	1420	8	547
33	3	309	42	820	54	1670	12	850
34	3	315	39	759	44	980	5	221
35	3	367	38	1040	50	1590	12	550

Tabla 3.1 Muestra aleatoria estratificada #1.

Muestra			25-Abril-15		04-Agosto-15		Incremento	
Sujeto	Clase	Núm.	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)
36	3	379	41	964	52	1740	11	776
37	3	382	38	1034	51	1730	13	696
38	3	418	38	842	52	1550	14	708
39	3	445	38	1130	44	2000	6	870
40	4	18	47	2523	58	4000	11	1477
41	4	35	46	2506	62	3700	16	1194
42	4	45	44	1451	53	1550	9	99
43	4	125	45	1242	64	2220	19	978
44	4	129	43	1822	60	3280	17	1458
45	4	216	45	895	54	1740	9	845
46	4	218	45	1521	54	4410	9	2889
47	4	240	43	878	57	1650	14	772
48	4	251	46	1035	60	1770	14	735
49	4	288	47	1028	57	1650	10	622
50	4	348	44	1153	53	1820	9	667
51	5	5	49	1827	60	3630	11	1803
52	5	14	51	2347	60	3000	9	653
53	5	208	49	775	55	1120	6	345
54	5	233	49	1053	58	2150	9	1097
55	6	389	53	746	47	1550	1	804
56	6	393	54	1625	67	2120	13	495
57	7	400	59	1700	63	2450	4	750
58	8	76	63	1451	63	2120	0	669
59	9	4	68	3800	74	4300	6	500
60	10	25	77	4600	83	5000	6	400

Tabla 3.1 Muestra aleatoria estratificada #1 (continuación).

La segunda muestra aleatoria estratificada se puede observar en la tabla 3.2, esta muestra también es de 60 agaves, en ella podemos observar el segundo incremento presentado por los magueyes al día 6 de noviembre del 2015, es decir, el incremento que tuvieron los magueyes en peso y altura después de 195 días de su plantación.

Muestra			25-Abril-15		06-Noviembre-15		Incremento	
Sujeto	Clase	Núm.	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)
1	1	131	31	1156	45	2900	14	1744
2	1	193	32	971	45	3200	13	2229
3	1	313	30	561	38	2200	8	1639
4	1	402	31	824	42	1700	11	876
5	1	430	32	686	44	2800	12	2114
6	2	93	33	1067	39	3500	6	2433
7	2	108	36	1154	59	4500	23	3346
8	2	135	37	826	47	1700	10	874
9	2	159	33	884	37	2800	4	1916
10	2	167	37	649	40	2500	3	1851
11	2	195	35	769	45	2600	10	1831
12	2	202	34	818	43	2300	9	1482
13	2	203	37	732	43	3200	6	2468
14	2	259	36	677	39	1200	3	523
15	2	270	34	735	49	3200	15	2465
16	2	314	36	778	38	2000	2	1222
17	2	335	35	877	49	3100	14	2223
18	2	356	37	809	48	2200	11	1391
19	2	365	33	581	41	1800	8	1219
20	3	43	39	1833	45	4100	6	2267
21	3	60	40	1581	45	3600	5	2019
22	3	80	38	1539	41	3400	3	1861
23	3	84	41	1484	43	4200	2	2716
24	3	103	39	1153	41	1700	2	547
25	3	134	41	832	50	3100	9	2268
26	3	138	39	986	44	2400	5	1414
27	3	144	38	1381	46	4400	8	3019
28	3	183	40	1130	47	4200	7	3070
29	3	187	38	925	43	2900	5	1975
30	3	236	39	930	44	3300	5	2370

Tabla 3.2 Muestra aleatoria estratificada #2.



Muestra			25-Abril-15		06-Noviembre-15		Incremento	
Sujeto	Clase	Núm.	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)
31	3	239	38	700	40	3800	2	3100
32	3	261	40	973	44	2000	4	1027
33	3	273	38	816	41	1900	3	1084
34	3	280	42	1131	48	4100	6	2969
35	3	330	41	768	42	2500	1	1732
36	3	332	39	1217	45	3600	6	2383
37	3	407	38	870	49	2700	11	1830
38	3	417	39	606	42	1700	3	1094
39	3	427	38	1914	42	2900	4	986
40	4	11	46	2816	49	4400	3	1584
41	4	37	45	1382	33	1700	1	318
42	4	39	45	1330	36	1900	1	570
43	4	62	43	1145	50	4600	7	3455
44	4	91	44	1727	52	4900	8	3173
45	4	178	43	1205	43	4500	0	3295
46	4	192	44	1464	56	3700	12	2236
47	4	226	47	1000	47	2400	0	1400
48	4	303	43	1276	54	4100	11	2824
49	4	340	43	991	48	2700	5	1709
50	4	359	43	1146	50	3100	7	1954
51	5	3	52	2777	52	4900	0	2123
52	5	19	48	2670	58	6400	10	3730
53	5	52	48	1410	45	4100	1	2690
54	5	423	48	788	51	3200	3	2412
55	6	17	53	2302	55	6700	2	4398
56	6	71	56	2400	38	3600	1	1200
57	7	2	60	3400	54	5300	1	1900
58	8	10	65	2386	72	4400	7	2014
59	9	30	71	4300	69	7100	1	2800
60	10	20	74	4100	69	7000	1	2900

Tabla 3.2 Muestra aleatoria estratificada #2 (continuación).

En la tabla 3.3, se observa la tercer muestra aleatoria estratificada tomada, en ella vemos el tercer incremento presentado por los magueyes al día 22 de enero del 2016, es decir, la ganancia en peso y altura que tuvieron los magueyes después de 272 días de su plantación.

Sujeto	Muestra		25-Abril-15		22-Enero-16		Incremento	
	Clase	Núm.	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)
1	1	117	31	1071	57	4740	26	3669
2	1	176	31	656	50	3000	19	2344
3	1	190	32	763	47	3320	15	2557
4	1	207	32	587	51	2730	19	2143
5	1	451	29	774	38	2980	9	2206
6	2	101	33	1461	59	7000	26	5539
7	2	161	33	580	49	2730	16	2150
8	2	168	34	795	44	3650	10	2855
9	2	232	37	616	40	3240	3	2624
10	2	245	37	697	52	3480	15	2783
11	2	311	37	643	38	2140	1	1497
12	2	322	36	732	42	2370	6	1638
13	2	395	34	1169	48	4430	14	3261
14	2	406	34	599	38	2520	4	1921
15	2	413	34	790	61	4800	27	4010
16	2	416	36	762	44	2950	8	2188
17	2	442	36	852	54	5100	18	4248
18	2	458	36	1095	53	3720	17	2625
19	2	462	34	1043	52	4760	18	3717
20	3	56	38	1063	62	6800	24	5737
21	3	67	41	1691	64	9700	23	8009
22	3	77	41	1733	56	6220	15	4487
23	3	82	40	1273	63	4550	23	3277
24	3	113	39	915	52	3360	13	2445
25	3	127	39	1296	58	4310	19	3014
26	3	130	41	1364	57	6000	16	4636
27	3	133	41	812	55	4260	14	3448
28	3	142	41	1046	69	9000	28	7954
29	3	172	42	1600	60	5350	18	3750
30	3	191	42	700	49	2500	7	1800

Tabla 3.3 Muestra aleatoria estratificada #3.

Muestra			25-Abril-15		22-Enero-16		Incremento	
Sujeto	Clase	Núm.	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)
31	3	214	42	933	59	4750	17	3817
32	3	223	41	1065	41	1540	0	475
33	3	304	40	953	47	4350	7	3397
34	3	323	40	609	51	3400	11	2791
35	3	350	40	709	42	2520	2	1811
36	3	390	40	920	54	5090	14	4170
37	3	424	42	831	50	5000	8	4169
38	3	440	40	646	42	2860	2	2214
39	3	460	42	1061	54	4000	12	2939
40	4	46	45	2018	47	3600	2	1582
41	4	69	45	2310	47	4080	2	1770
42	4	75	45	1163	58	6050	13	4887
43	4	97	45	1485	48	3540	3	2055
44	4	121	43	1865	53	6600	10	4735
45	4	122	43	1434	59	6120	16	4686
46	4	215	43	1131	58	3470	15	2339
47	4	295	44	553	45	2340	1	1787
48	4	300	46	1199	60	4890	14	3691
49	4	344	46	1390	63	6260	17	4870
50	4	374	46	1093	57	3000	11	1907
51	5	22	52	2178	64	5600	12	3422
52	5	50	50	1609	64	6040	14	4431
53	5	61	52	2200	64	5600	12	3400
54	5	95	49	2751	54	4000	5	1249
55	6	13	53	2482	53	6100	0	3618
56	6	85	55	1524	56	4875	1	3351
57	7	40	60	1697	60	1730	0	33
58	8	8	63	5600	72	10130	9	4530
59	9	4	68	3800	69	4700	1	900
60	10	25	77	4600	78	5100	1	500

Tabla 3.3 Muestra aleatoria estratificada #3 (continuación).

En la tabla 3.4, se observa la cuarta y última muestra aleatoria estratificada tomada, en ella vemos el último incremento presentado por los magueyes al día 23 de abril del 2016, es decir, la ganancia en peso y altura que tuvieron los magueyes después de 363 días.

Muestra			25-Abril-15		23-Abril-16		Incremento	
Sujeto	Clase	Núm.	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)
1	1	111	32	1343	51	5500	19	4157
2	1	116	32	840	56	7000	24	6160
3	1	199	32	1058	75	14000	43	12942
4	1	255	30	520	41	3500	11	2980
5	1	403	31	671	44	4600	13	3929
6	2	109	34	1174	60	8000	26	6826
7	2	112	33	1100	66	9200	33	8100
8	2	162	33	1660	57	6400	24	4740
9	2	189	34	586	41	2600	7	2014
10	2	205	35	844	37	1200	2	356
11	2	210	35	951	52	10000	17	9049
12	2	275	34	645	55	8000	21	7355
13	2	277	34	687	56	8200	22	7513
14	2	306	36	616	38	3400	2	2784
15	2	394	35	1263	59	8300	24	7037
16	2	410	35	1041	54	5300	19	4259
17	2	412	35	610	40	3900	5	3290
18	2	429	34	623	51	6500	17	5877
19	2	459	34	813	55	8200	21	7387
20	3	33	42	2073	54	7200	12	5127
21	3	54	40	1063	43	4500	3	3437
22	3	105	42	1218	63	9300	21	8082
23	3	120	42	1137	50	7000	8	5863
24	3	152	39	734	51	5500	12	4766
25	3	206	40	927	66	9300	26	8373
26	3	237	42	1168	44	5200	2	4032
27	3	272	38	969	54	5800	16	4831
28	3	278	38	780	60	8000	22	7220
29	3	291	39	872	52	6300	13	5428
30	3	316	39	725	47	5600	8	4875

Tabla 3.4 Muestra aleatoria estratificada #4.

Muestra			25-Abril-15		23-Abril-16		Incremento	
Sujeto	Clase	Núm.	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)	Alt. (cm)	Peso (g)
31	3	328	40	813	57	8200	17	7387
32	3	334	41	1100	47	6300	6	5200
33	3	341	41	1485	52	7000	11	5515
34	3	355	40	922	59	7100	19	6178
35	3	409	41	1278	49	6700	8	5422
36	3	422	38	756	59	8000	21	7244
37	3	453	39	723	51	8500	12	7777
38	3	454	38	1181	52	7700	14	6519
39	3	456	39	601	48	5000	9	4399
40	4	36	44	1284	55	4400	11	3116
41	4	51	46	1221	54	8000	8	6779
42	4	66	46	883	47	5600	1	4717
43	4	72	46	1546	55	7200	9	5654
44	4	88	46	1075	55	11200	9	10125
45	4	124	43	1332	61	8500	18	7168
46	4	225	45	1381	70	11500	25	10119
47	4	351	43	903	55	6200	12	5297
48	4	373	43	672	44	4500	1	3828
49	4	408	45	1250	63	10500	18	9250
50	4	450	45	1120	51	7200	6	6080
51	5	41	52	2089	53	6600	1	4511
52	5	174	49	1283	61	10000	12	8717
53	5	238	49	1445	58	5700	9	4255
54	5	388	48	1036	48	6400	0	5364
55	6	29	53	2700	54	6300	1	3600
56	6	34	53	1832	55	9000	2	7168
57	7	70	57	3100	71	7500	14	4400
58	8	9	66	3481	67	4600	1	1119
59	9	30	71	4300	72	7200	1	2900
60	10	20	74	4100	75	6000	1	1900

Tabla 3.4 Muestra aleatoria estratificada #4 (continuación).

### 3.4.3 Análisis de datos

El análisis se realizó tomando en cuenta las mediciones de las variables de peso y altura de los agaves, se basó en un análisis estadístico, iniciando con la elaboración de un distribución de frecuencias al dividir la población en 10 clases, según su altura y peso; se calcularon las medidas de tendencia central: media, mediana y moda para saber la posición de los parámetros dentro de la distribución; medidas de variabilidad como desviación estándar, varianza y cuartiles, para saber la dispersión de las variables de la media y finalmente diagramas de caja y graficas de barras para facilitar la visualización de los datos y una regresión polinomial para inferir el peso del agave dependiendo de su altura.

La tabla 3.5, presenta la estadística descriptiva de la población de 462 agaves con el fin de analizar apropiadamente las variables de peso y altura al calcular sus medidas de tendencia central para conocer en que disposición los datos se agrupan o dispersan.

<b>Técnica Estadística</b>	<b>Alt. (cm)</b>	<b>Peso (g)</b>
<b>Promedio</b>	40.8	1190.2
<b>Tendencia</b>	46.0	1880.2
<b>Desviación Estándar</b>	7.4	709.5
<b>Curtosis</b>	3.4	10.9
<b>Mediana</b>	40.0	991.0
<b>Moda</b>	40.0	954.0
<b>Valor Mínimo</b>	28.0	377.0
<b>1° Cuartil</b>	36.0	778.5
<b>2° Cuartil</b>	40.0	991.0
<b>3° Cuartil</b>	44.0	1292.8
<b>Valor Máximo</b>	77.0	5600.0

Tabla 3.5 Estadística descriptiva de la población de agaves.

En la figura 3.11, se observa la dispersión de las variables de peso y altura de los 462 agaves más las toma de 240 datos que generaron las 4 tomas de datos realizadas. También se aprecia la curva de la regresión exponencial de la población, junto con su ecuación:  $y = 110.55 e^{0.0599x}$  que fue generada para inferir el peso del agave dependiendo de su altura. Asimismo se obtuvo la  $R^2$ , mejor conocida como el coeficiente de determinación, su valor fue de  $R^2 = 0.57$ , es decir, 57% de variación controlada de la ecuación obtenida. El comportamiento de la curva exponencial es el esperado, ya que el crecimiento de la planta de agave en sus primeros años inicia con una fase de adaptación seguida de una fase de crecimiento exponencial.

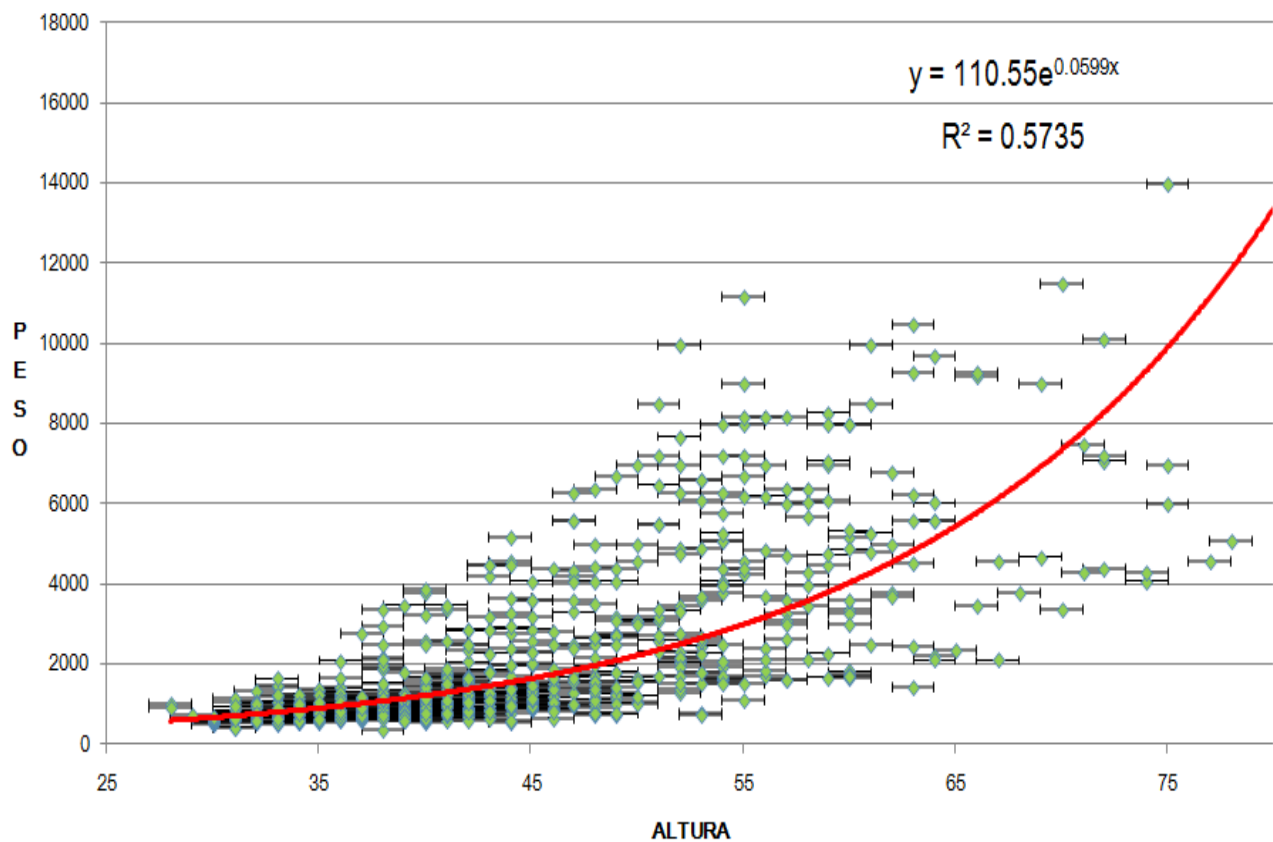


Figura 3.11 Regresión exponencial de la población de maguay.

La tabla 3.6, presenta los valores que fueron calculados para la elaboración del diagrama de caja de la variable altura de los agaves: el primer cuartil en 36 cm, el segundo cuartil en 40 cm y el tercero cuartil en 44 cm; y el rango intercuartílico (RIC) de 8.

	Altura (cm)	Ancho del cuartil
Valor Mínimo	28	28
1° Cuartil	36	8
2° Cuartil	40	4
3° Cuartil	44	4
Valor Máximo	77	33
RIC	8	

Tabla 3.6 Valores del diagrama de caja de la variable altura.

En la figura 3.12, se aprecia el diagrama de caja de la variable altura que fue hecho a partir de la tabla 3.6, encontramos que el valor mínimo fue de 28 cm de altura y el valor máximo de 77 cm de altura para la población de agaves.

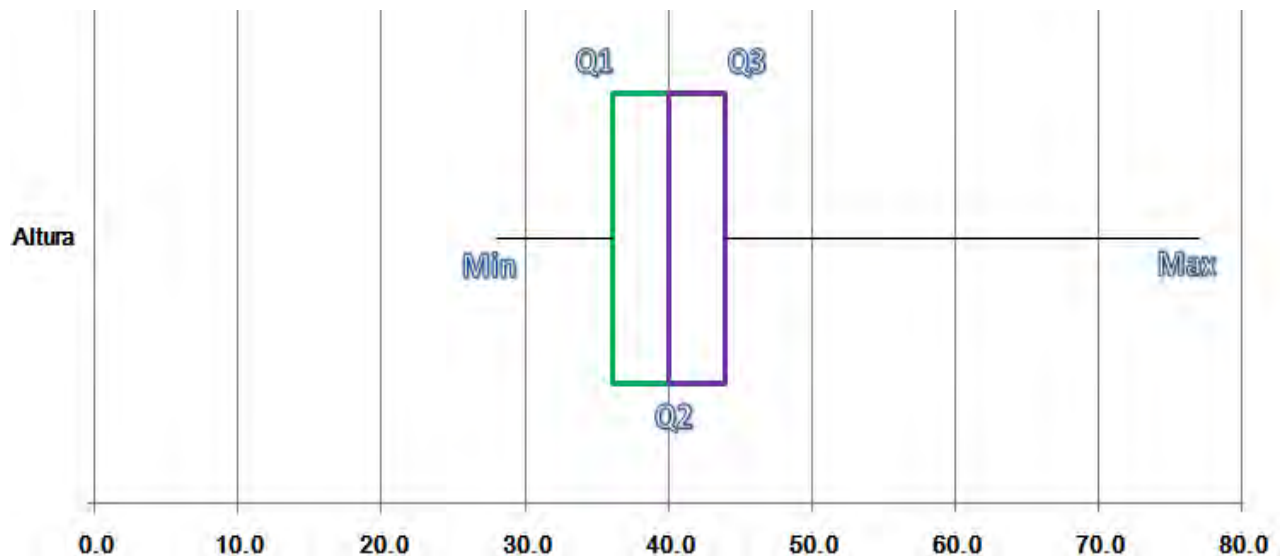


Figura 3.12 Diagrama de caja de la variable altura.



La tabla 3.7, presenta los valores que fueron calculados para la elaboración del diagrama de caja de la variable peso de los agaves: el primer cuartil en 778.5 g, el segundo cuartil en 991 g y el tercer cuartil en 1292.75 g; y el rango intercuartílico (RIC) de 514.25.

	Peso (g)	Ancho del cuartil
Valor Mínimo	377.0	377.0
1° Cuartil	778.5	401.5
2° Cuartil	991.0	212.5
3° Cuartil	1292.8	301.8
Valor Máximo	5600.0	4307.3
RIC	514.3	

Tabla 3.7 Valores del diagrama de caja del peso.

En la figura 3.13, se aprecia el diagrama de caja de la variable peso que fue hecho a partir de la tabla 3.7, encontramos que el valor mínimo fue de 377 g de peso, el valor máximo de 5600 g de peso para la población de agaves.

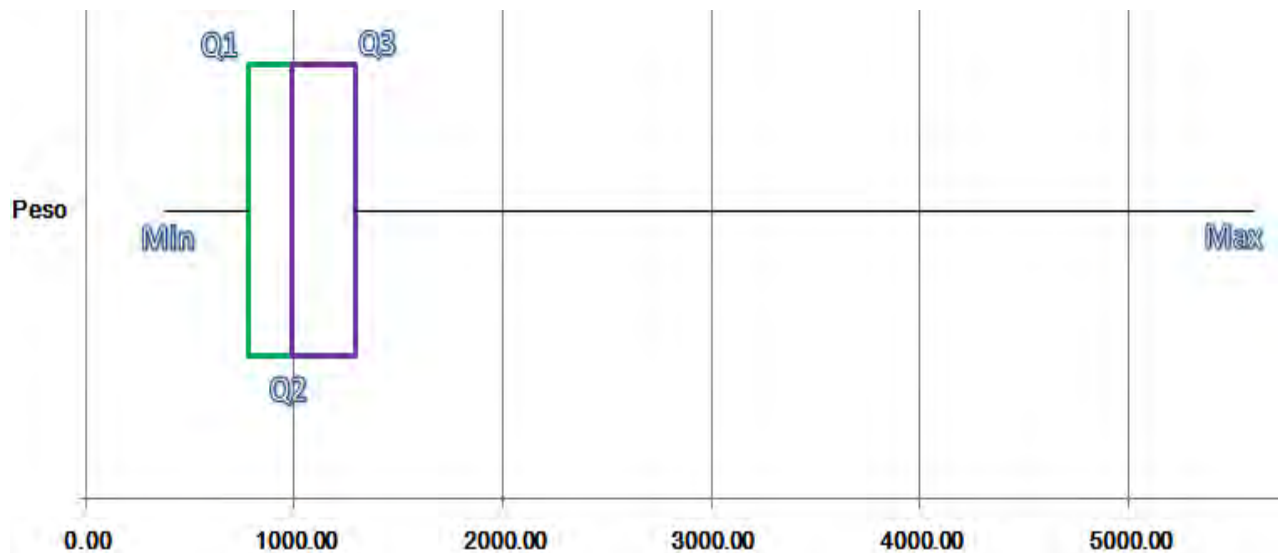


Figura 3.13 Diagrama de caja de la variable peso.

La tabla 3.8, muestra los valores que fueron calculados para la elaboración de la distribución de frecuencias de alturas al dividir la población en 10 intervalos diferentes dados por una diferencia de 5 cm de altura entre cada valor.

	Altura (cm)
Valor Mínimo	28
Valor Máximo	77
Rango	49
Intervalos	10
Clase	5

Tabla 3.8 Valores para definir la frecuencia de alturas.

Una vez utilizados los valores calculados de la tabla anterior se generó la tabla 3.9, en donde se muestran ya las 10 clases o intervalos en los que se dividió la población de 462 agaves, siendo la menor clase de 28 a 33 cm y la mayor de 73 a 77 cm.

Intervalos	Lim. Inferior	Lim. Superior	Xi	Fi	Fr	F%
1	28	33	31	42	0.091	9.09%
2	33	38	36	115	0.249	24.89%
3	38	43	41	164	0.355	35.50%
4	43	48	46	75	0.162	16.23%
5	48	53	51	32	0.069	6.93%
6	53	58	56	15	0.032	3.25%
7	58	63	61	10	0.022	2.16%
8	63	68	66	4	0.009	0.87%
9	68	73	71	3	0.006	0.65%
10	73	78	76	2	0.004	0.43%
<b>Total</b>				<b>462</b>		<b>100.00%</b>

Tabla 3.9 Frecuencia de alturas.

Una vez obtenida la tabla 3.9, se realizó la representación gráfica de la frecuencia de alturas en los 10 intervalos, esto por medio de una grafica de barras en la figura 3.14. Con ayuda de la gráfica de barras podemos comparar las clases y saber en cuál de ellas se encuentra más concentrada nuestra población de agaves, en este caso es la tercer barra o tercer clase con un total de 164 agaves de los 462, es decir, 35.5% de la población mide de 38 a 43 cm, de igual forma vemos que la clase diez que mide de 73 a 78 cm es la que cuenta con el menor número de individuos, con solo 2 que representan el 0.43% de la población total.

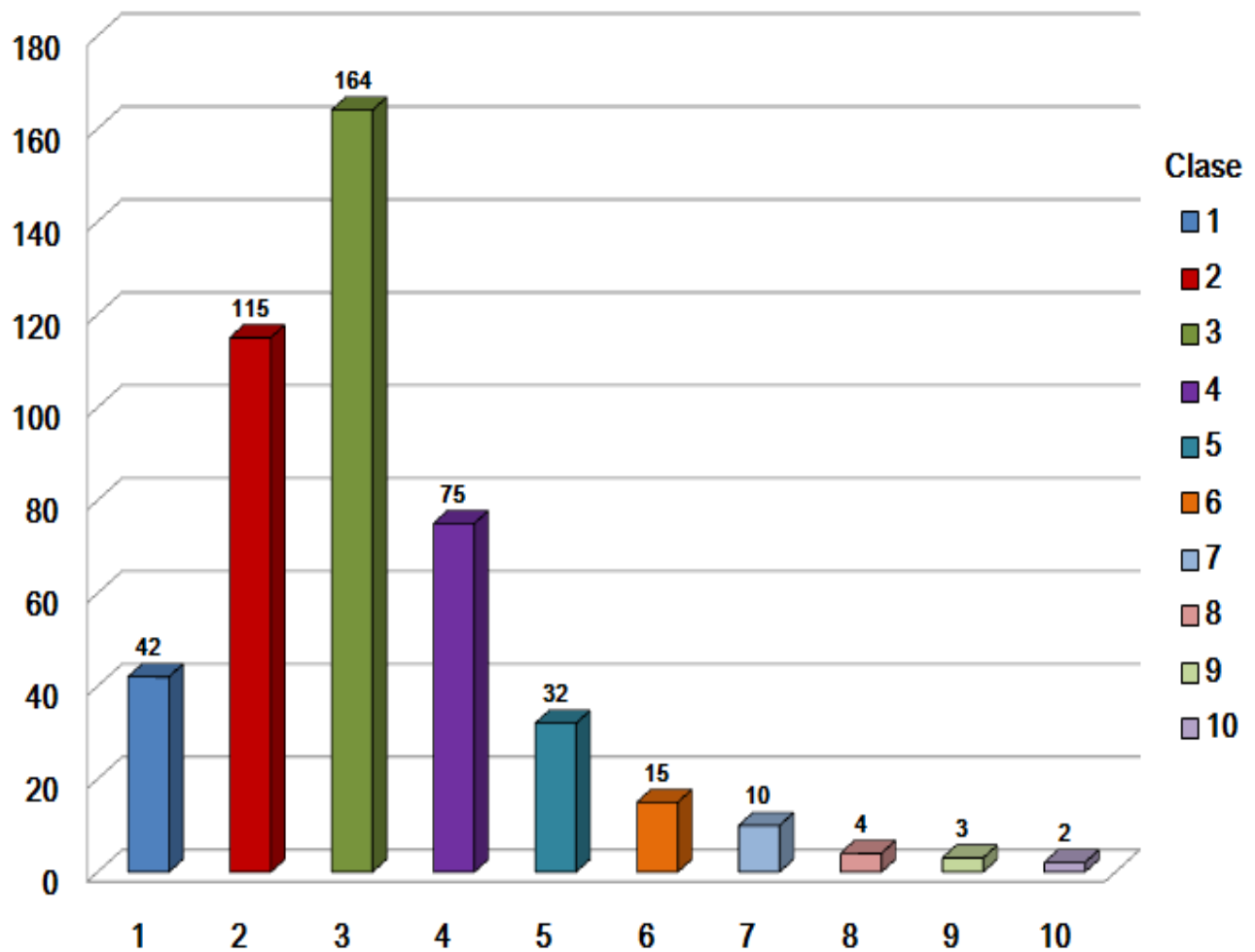


Figura 3.14 Gráfica de barras de clases de alturas.

La tabla 3.10, muestra los valores que fueron calculados para la elaboración de la distribución de frecuencias de pesos al dividir la población en 10 intervalos diferentes dados por una diferencia de 523 g de peso entre cada valor.

	Peso (g)
Valor Mínimo	377
Valor Máximo	5600
Rango	5223
Intervalos	10
Clase	523

Tabla 3.10 Valores para definir la frecuencia de pesos.

Una vez utilizados los valores calculados de la tabla anterior se generó la tabla 3.11, en donde se muestran ya las 10 clases o intervalos en los que se dividió la población de 462 agaves, siendo la menor clase de 377 g a 900 g y la mayor de 5084 g a 5607 g.

Intervalos	Lim. Inferior	Lim. Superior	Xi	Fi	Fr	F%
1	377	900	639	185	0.400	40.04%
2	900	1423	1162	181	0.392	39.18%
3	1423	1946	1685	53	0.115	11.47%
4	1946	2469	2208	15	0.032	3.25%
5	2469	2992	2731	13	0.028	2.81%
6	2992	3515	3254	5	0.011	1.08%
7	3515	4038	3777	3	0.006	0.65%
8	4038	4561	4300	2	0.004	0.43%
9	4561	5084	4823	2	0.004	0.43%
10	5084	5607	5346	3	0.006	0.65%
<b>Total</b>				<b>462</b>		<b>100.00%</b>

Tabla 3.11 Frecuencia de pesos.

Una vez obtenida la tabla 3.11, se realizó la representación gráfica de la frecuencia de pesos en los 10 intervalos, esto por medio de una gráfica de barras en la figura 3.15. La gráfica muestra que la primera y segunda clase incluyen la mayoría de plantas, con un total de 185 y 181 agaves respectivamente, es decir, aproximadamente 80% de la población pesa de 377 a 1423 g, de igual forma vemos que la clase 8 y 9 son las que cuenta con el menor número de individuos, con solo 2 que representan el 0.43% de la población total.

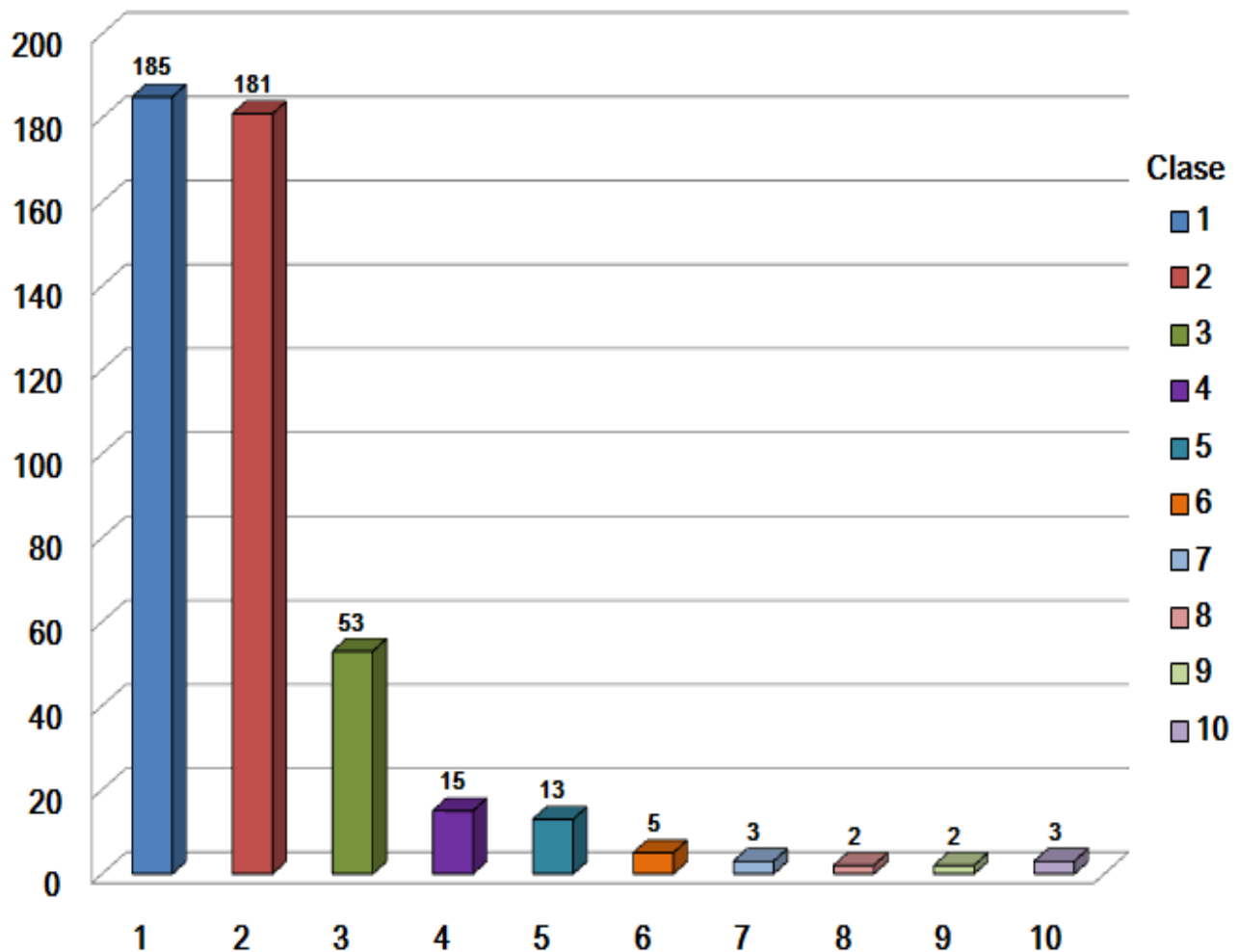


Figura 3.15 Gráfica de barras de clases de pesos.

### 3.4.4 Análisis de muestras aleatorias estratificadas

En la tabla 3.12, se presentan los promedios de las ganancias en peso y altura que se tuvieron en las 4 muestras aleatorias estratificadas realizadas, en comparación a la primera toma de datos del día 25 de abril del 2015. El primer promedio de incremento en los agaves fue de 804.90 g de peso y 11.32 cm de altura a los 101 días; el segundo promedio de incremento en los agaves fue de 2037.70 g de peso y 4.98 cm de altura a los 195 días de su plantación; el tercer promedio de incremento en los agaves fue de 3134.30 g de peso y 11.72 cm de altura a los 272 días; por último el cuarto promedio de incremento en los agaves fue de 5674.95 g de peso y 12.83 cm de altura a los 363 días. Al analizar la tabla 3.12 y su continuación, podemos observar que a cada muestra de datos efectuada hay un incremento significativo en el peso y altura de los agaves pero no solo un incremento general sino también un incremento por cada una de las 10 clases.

Promedio de Incremento #1			Promedio de Incremento #2		
Clase	Alt. (cm)	Peso (g)	Clase	Alt. (cm)	Peso (g)
1	14.4	710.4	1	11.6	1720.4
2	11.9	643.0	2	8.9	1803.1
3	11.9	824.4	3	4.9	1986.6
4	12.5	1066.9	4	5.0	2047.1
5	8.8	974.5	5	3.8	2738.8
6	7.0	649.5	6	1.5	2799.0
7	4.0	750.0	7	1.0	1900.0
8	1.0	669.0	8	7.0	2014.0
9	6.0	500.0	9	1.0	2800.0
10	6.0	400.0	10	1.0	2900.0
<b>TOTAL</b>	<b>11.3</b>	<b>804.9</b>	<b>TOTAL</b>	<b>6.03</b>	<b>2037.7</b>
<b>Después de 101 Días</b>			<b>Después de 195 Días</b>		

Tabla 3.12 Promedio de incrementos en las 4 muestras.

Promedio de Incremento #3			Promedio de Incremento #4		
Clase	Alt. (cm)	Peso (g)	Clase	Alt. (cm)	Peso (g)
1	17.6	2583.8	1	22	6033.6
2	13.1	2932.6	2	17.1	5470.5
3	13.7	3717.0	3	13	5883.8
4	9.5	3119.0	4	10.7	6557.6
5	10.8	3125.5	5	5.5	5711.8
6	0.5	3484.5	6	1.5	5384.0
7	0.0	33.0	7	14.0	4400.0
8	9.0	4530.0	8	1.0	1119.0
9	1.0	900.0	9	1.0	2900.0
10	1.0	500.0	10	1.0	1900.0
<b>TOTAL</b>	<b>11.72</b>	<b>3134.30</b>	<b>TOTAL</b>	<b>12.83</b>	<b>5674.95</b>
<b>Después de 272 Días</b>			<b>Después de 363 Días</b>		

Tabla 3.12 Promedio de incrementos en las 4 muestras (continuación).

En la tabla 3.13, se presenta el incremento en biomasa que tuvieron los agaves en los 4 muestreos realizados, en comparación a la primera toma de datos del día 25 de abril del 2015. El primer incremento en los agaves fue de 329.20 kg a los 101 días; mientras que el segundo incremento fue de 854.26 kg a los 195 días de su plantación; el tercer incremento en biomasa fue de 1323.10 kg a los 272 días; por último el cuarto incremento en biomasa fue de 2644.69 kg a los 363 días. Al analizar la tabla 3.13 podemos observar que a cada muestra de datos efectuada hay un incremento notable en biomasa de la plantación de agaves, es decir, el prototipo de cultivo de maguey (Unidad de Producción Rural) se puede considerar como un cultivo viable en las condiciones del sitio de trabajo.

Incremento #1			Incremento #2		
Clase	Agaves	Biomasa(kg)	Clase	Agaves	Biomasa(kg)
1	185	131.424	1	185	318.274
2	181	116.383	2	181	326.369
3	53	43.693	3	53	105.287
4	15	16.004	4	15	30.706
5	13	12.669	5	13	35.604
6	5	3.248	6	5	13.995
7	3	2.250	7	3	5.700
8	2	1.338	8	2	4.028
9	2	1.000	9	2	5.600
10	3	1.200	10	3	8.700
<b>TOTAL</b>	<b>462</b>	<b>329.21</b>	<b>TOTAL</b>	<b>462</b>	<b>854.26</b>
<b>Después de 101 Días</b>			<b>Después de 195 Días</b>		

Incremento #3			Incremento #4		
Clase	Agaves	Biomasa(kg)	Clase	Agaves	Biomasa(kg)
1	185	478.003	1	185	1116.216
2	181	530.795	2	181	990.161
3	53	197.001	3	53	311.839
4	15	46.785	4	15	98.363
5	13	40.632	5	13	74.253
6	5	17.423	6	5	26.920
7	3	0.099	7	3	13.200
8	2	9.060	8	2	2.238
9	2	1.800	9	2	5.800
10	3	1.500	10	3	5.700
<b>TOTAL</b>	<b>462</b>	<b>1323.10</b>	<b>TOTAL</b>	<b>462</b>	<b>2644.69</b>
<b>Después de 272 Días</b>			<b>Después de 363 Días</b>		

Tabla 3.13 Incremento en biomasa en las 4 muestras.



En la figura 3.16, se observa la dispersión de la variable biomasa de las 4 muestras aleatorias estratificadas realizadas. También se observa la curva de la regresión polinomial, junto con su ecuación de segundo grado:  $y = 22.128x^2 - 84.754x + 429.78$  que fue generada para inferir la biomasa del cultivo de agave dependiendo del tiempo de cultivo (meses). Asimismo se obtuvo la  $R^2$ , mejor conocida como el coeficiente de determinación, su valor fue de  $R^2 = 0.986$ , es decir, 98.6% de variación controlada de la ecuación obtenida. Esta ecuación polinomial nos sirve para estimar el incremento de biomasa que tendrá nuestro prototipo de cultivo en los siguientes meses y posiblemente años.

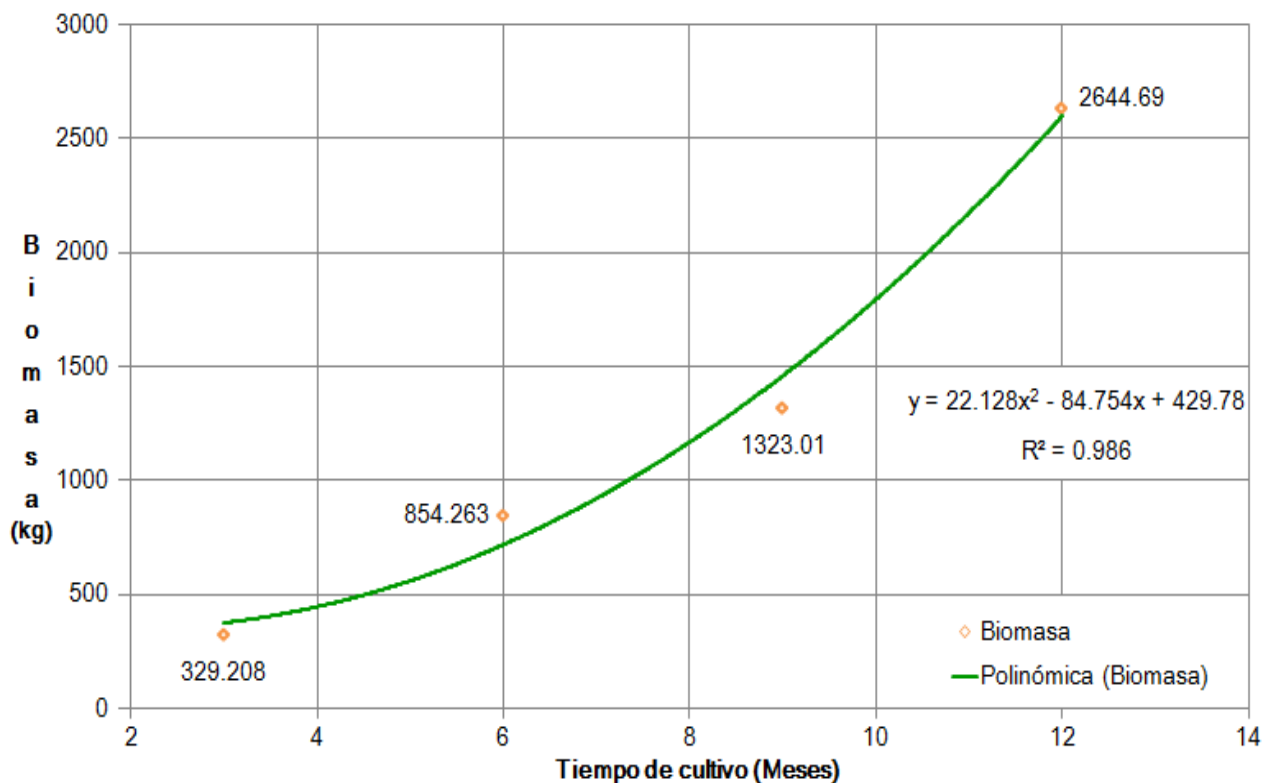


Figura 3.16 Regresión polinomial del incremento en biomasa.

## 3.5 Modelo matricial de Leslie del cultivo de agaves

La matriz de Leslie se utiliza en Ecología y estudios demográficos para modelar los cambios en una población de organismos durante un tiempo definido. La población se divide en clases según sean sus edades y está representada por un vector con un elemento para cada clase de edad, donde se indica el número de individuos que se encuentran en esa clase. Además cada clase cuenta con dos factores muy importantes: el factor de supervivencia, el cual es la probabilidad que tienen los individuos de una clase para pasar a la siguiente, también se le conoce como “reclutamiento”. Y el factor de descendencia o fertilidad, el cual señala que clases tienen reproducción y aportan nuevos individuos a la población (Leslie, 1945).

### 3.5.1 Recopilación de datos y división de clases

La tabla 3.14 nos muestra la nueva división de clases para el desarrollo de la matriz de Leslie. Tomando como base la división de clases por peso que se hizo en la primera toma de datos, se extendió su alcance, previendo que los agaves ganaran mucho más peso al paso del tiempo. El resultado fue una división de 26 clases que va desde 377 g hasta los 27573 g. Se simplificó la división a 13 clases, esto se hizo porque los datos generados fueron con base a muestreos cada 3 meses y al combinar las clases de 2 en 2, la matriz de Leslie ahora consideraría un intervalo de tiempo de 6 meses para pasar de una clase a otra. Por lo cual, se sumaron el número de agaves que comparten clase y también se obtuvo el promedio de hijuelos de agave que sirve como factor de descendencia, es importante señalar que este factor solo corresponde a la reproducción vegetativa y que en los magueyes maduros existe la reproducción sexual por lo que los pronósticos de crecimiento poblacional son conservadores eliminando el riesgo de sobreestimación.

Peso (g)		Clase	Agaves	Hijuelos	Nueva Clase	Agaves	Promedio de Hijuelos	Peso (g)	
Min.	Max.							Min.	Max.
377	1423	1	0	0	A	0	0	377	2469
1424	2469	2	0	0					
2470	3515	3	0	0	B	0	0	2470	4561
3516	4561	4	0	0					
4562	5607	5	366	2.3	C	434	3	4562	6653
5608	6653	6	68	3.7					
6654	7699	7	18	1.5	D	23	0.75	6654	8745
7700	8745	8	5	0					
8746	9791	9	5	0	E	5	0	8746	10837
9792	10837	10	0	0					
10838	11883	11	0	0	F	0	0	10838	12929
11884	12929	12	0	0					
12930	13975	13	0	0	G	0	0	12930	15021
13976	15021	14	0	0					
15022	16067	15	0	0	H	0	0	15022	17113
16068	17113	16	0	0					
17114	18159	17	0	0	I	0	0	17114	19205
18160	19205	18	0	0					
19206	20251	19	0	0	J	0	0	19206	21297
20252	21297	20	0	0					
21298	22343	21	0	0	K	0	0	21298	23389
22344	23389	22	0	0					
23390	24435	23	0	0	L	0	0	23390	25481
24436	25481	24	0	0					
25482	26527	25	0	0	M	0	0	25482	27573
26528	27573	26	0	0					

Tabla 3.14 División de clases de agaves para matriz de Leslie.

### 3.5.2 Desarrollo de la Matriz de Leslie

La figura 3.17, muestra la cadena de Markov del prototipo de cultivo de agaves con tiempo discreto de 6 meses entre cada cambio de clase. La cadena representa de manera gráfica la información recopilada en la tabla 3.14, de la siguiente forma:

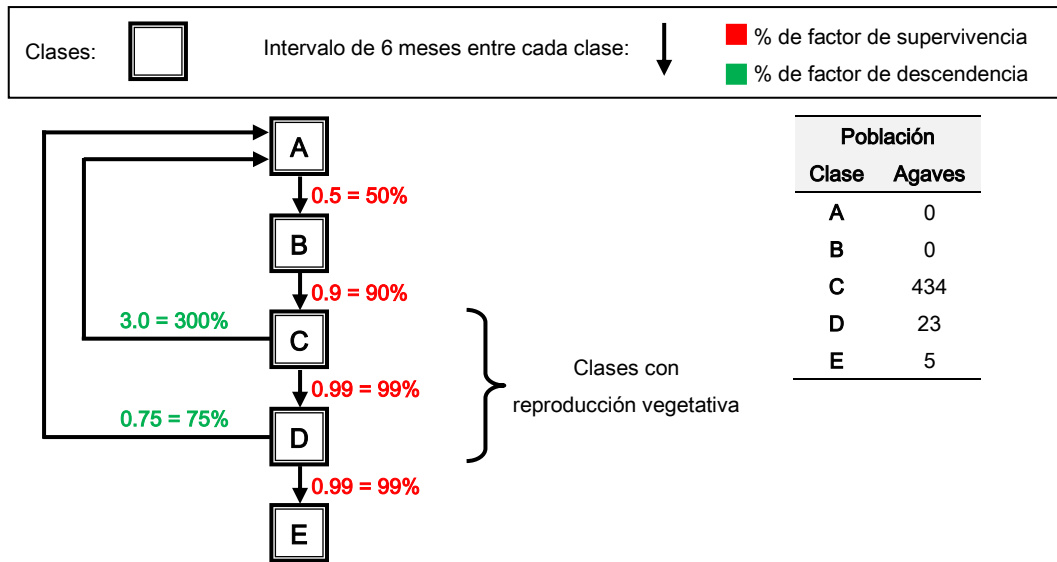


Figura 3.17 Cadena de Markov del cultivo de agave con 5 clases.

A partir de la cadena de Markov, se elaboró la matriz de Leslie del cultivo de agave (ver tabla 3.15). Esta matriz o modelo es conocido por describir el crecimiento de las poblaciones y su distribución por edades (Leslie, 1945). Se elaboró una matriz de Leslie de 5x5, es decir de 5 filas por 5 columnas:

Matriz de Leslie				
0	0	3	0.75	0
0.5	0	0	0	0
0	0.9	0	0	0
0	0	0.99	0	0
0	0	0	0.99	0

Tabla 3.15 Matriz de Leslie de 5x5 del cultivo de agave.

Tomando en cuenta, los datos obtenidos, así como el conocimiento empírico del cultivo de agave, se concluyó que utilizar una matriz de Leslie de 5x5 tendría muchas limitaciones y sería poco realista. Por lo tanto se tomó la decisión de ampliarla 8 clases más, dando como resultado una cadena de Markov de 13 clases (ver figura 3.18).

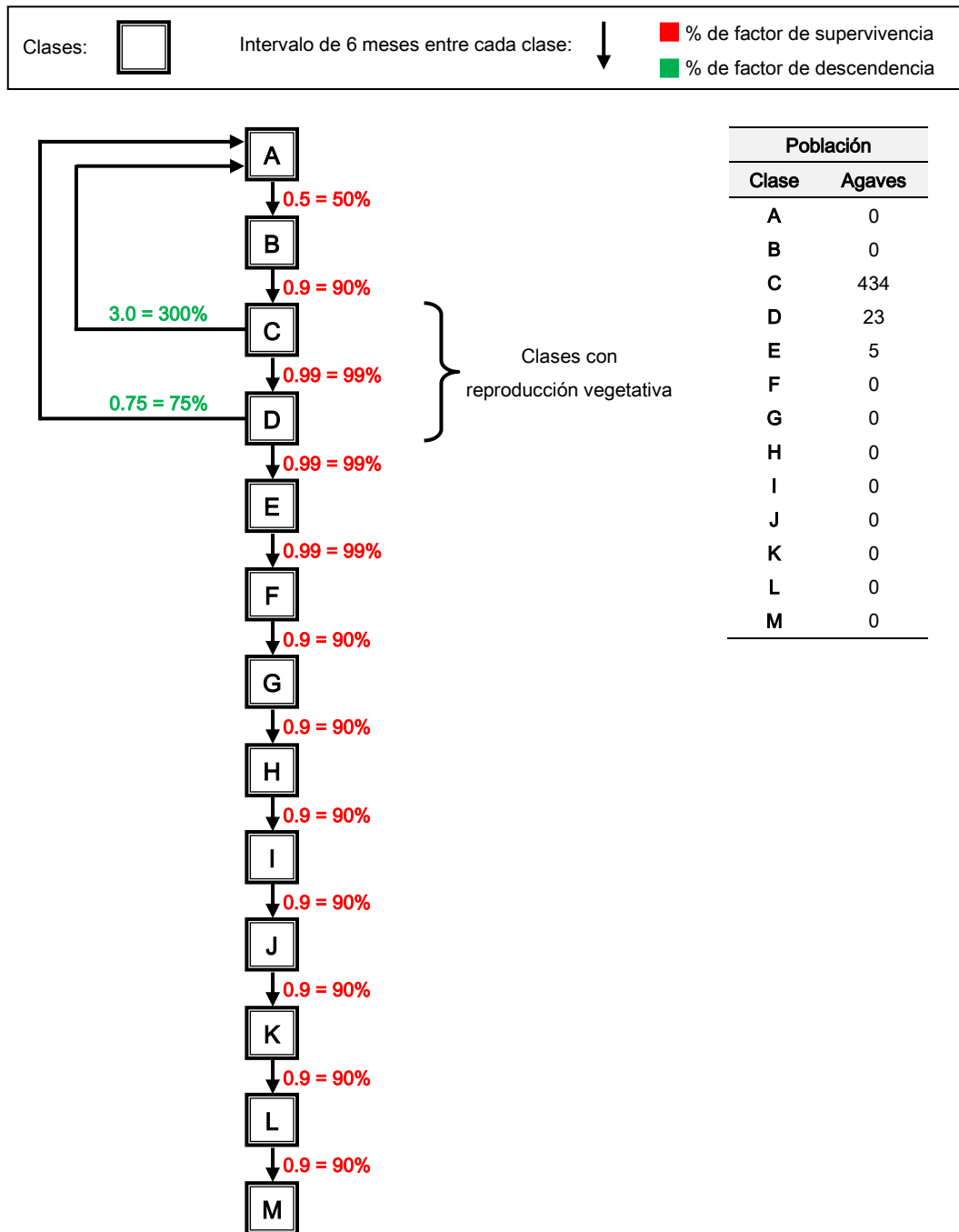


Figura 3.18 Cadena de Markov del cultivo de agave con 13 clases.

Cabe mencionar que los valores de supervivencia de 0.99 usados en las clases C, D, E, provienen de las tomas de datos del cultivo de agave, es decir, es la supervivencia que presentaron nuestros agaves en el campo. Por otro lado, el valor de 0.5 de la clase A y el valor de 0.9 en la clase B, toman en consideración la mortalidad de los hijuelos de agave al ser replantados, siendo mayor al ser más jóvenes, por tan motivo se considera que la clase A, solo el 50% de ellos logra pasar a la clase B, y posteriormente, en la clase B que los hijuelos de agave son más grandes, aumenta su probabilidad de supervivencia al 90%. Los valores de 0.9 de las clases F, G, H, I, J, K y L, es un criterio conservador de la supervivencia de los agaves en clases mayores. La clase M, no tiene supervivencia, ya que el modelo planteado la propone como la última fase de la cadena de Markov. Estos valores de supervivencia son considerados con fines de la simulación de la matriz de Leslie, y pueden ser modificados fácilmente, si se llega a obtener nueva información por medio de más tomas de datos y muestreos estadísticos.

A partir de la cadena de Markov de 13 clases, se desarrolló una nueva matriz de Leslie, esta vez de 13x13 (ver tabla 3.16), la cual considera 8 clases más de edad y peso de los agaves, esto con motivos de elaborar un modelo mucho más realista. En esta nueva matriz, cada una de las 13 filas representa una clase de edad, es decir, de la clase A, hasta la clase M. De igual forma, observamos que la primera columna, representa la descendencia de cada clase, donde solo hay reproducción en las clases C y D con un promedio de 3 y 0.75 individuos, respectivamente. Las columnas 2 a la 13, representan la supervivencia que hay en cada clase, mejor conocida como reclutamiento de clases, es decir, la probabilidad de que los individuos de dicha clase pasen a la siguiente. Como resultado final tenemos una matriz de Leslie de 13x13, la cual representa matemáticamente, el comportamiento del prototipo de cultivo de agave.

Matriz de Leslie												
0	0	3	0.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0.99	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0.99	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9

Tabla 3.16 Matriz de Leslie de 13x13 del cultivo de agave.

Para obtener los resultados de la matriz de Leslie ( $L$ ), se debe multiplicar por los vectores de tiempo ( $t_n$ ), matemáticamente expresado por la formula:  $L \cdot t_n = t_{n+1}$

Al utilizar la formula anterior se observa en la tabla 3.17, el número de agaves existentes en cada clase, con divisiones de 6 meses representadas por vectores de tiempo desde el  $t_0$  al  $t_{10}$ . Se toma el vector de tiempo  $t_0$ , el cual se obtuvo al utilizar los 4 muestreos realizados a lo largo de 1 año del cultivo, este vector es multiplicado por la matriz de Leslie (ver tabla 3.16), y da como resultado el vector de tiempo  $t_1$ , el cual es la representación matemática del cultivo 6 meses después. Asimismo, multiplicamos el vector  $t_1$  por la matriz de Leslie para obtener el vector  $t_2$ , el cual representa el cultivo 12 meses después. Para obtener los demás vectores se tiene que multiplicar el vector anterior al que se desea obtener, por ejemplo, para obtener el vector  $t_3$ , se multiplicó el vector  $t_2$  por la matriz de Leslie, y así sucesivamente, hasta completar la tabla con el vector  $t_{10}$ . Con esto tenemos la representación matemática del cultivo de agave a lo largo de 6 años.

Vector	Número de agaves										
	t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>10</sub>
Clase A	0	1319	322	0	1781	876	108	2404	1777	438	3282
Clase B	0	0	660	161	0	890	438	54	1202	889	219
Clase C	434	0	0	594	145	0	801	394	48	1082	800
Clase D	23	430	0	0	588	144	0	793	390	48	1071
Clase E	5	23	425	0	0	582	142	0	785	386	47
Clase F	0	5	23	421	0	0	576	141	0	778	382
Clase G	0	0	4	20	379	0	0	518	127	0	700
Clase H	0	0	0	4	18	341	0	0	467	114	0
Clase I	0	0	0	0	4	16	307	0	0	420	103
Clase J	0	0	0	0	0	3	15	276	0	0	378
Clase K	0	0	0	0	0	0	3	13	249	0	0
Clase L	0	0	0	0	0	0	0	3	12	224	0
Clase M	0	0	0	0	0	0	0	0	2	11	201
Total	462	1777	1434	1200	2915	2853	2390	4597	5060	4389	7183
Años	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0

Tabla 3.17 Simulación del número de agaves a lo largo de 6 años.

Al usar el resultado del total de agaves de la matriz de Leslie, se obtiene una gráfica de columnas apiladas que se aprecia en la figura 3.19. En ella, se presenta el progreso a lo largo de una simulación de 6 años, del número de agaves que tiene nuestro prototipo de cultivo según su tipo de clase y considerando una nula extracción de agaves. Al analizar la conducta de la gráfica, observamos que en los tiempos: 2.5, 4.0 y 5.5, hay una pérdida de agaves considerable seguida de una gran recuperación sólo 6 meses después en los tiempos: 3.0, 4.5 y 6.0. Se puede concluir que cada año, nuestro cultivo bajará su producción de agaves, pero en 6 meses se recupera sin problema alguno. Con el análisis anterior, podemos definir el comportamiento que tendrá nuestro cultivo de agave en un futuro próximo, y qué consideraciones se deben tener en cuenta al elegir un régimen de extracción de agaves.



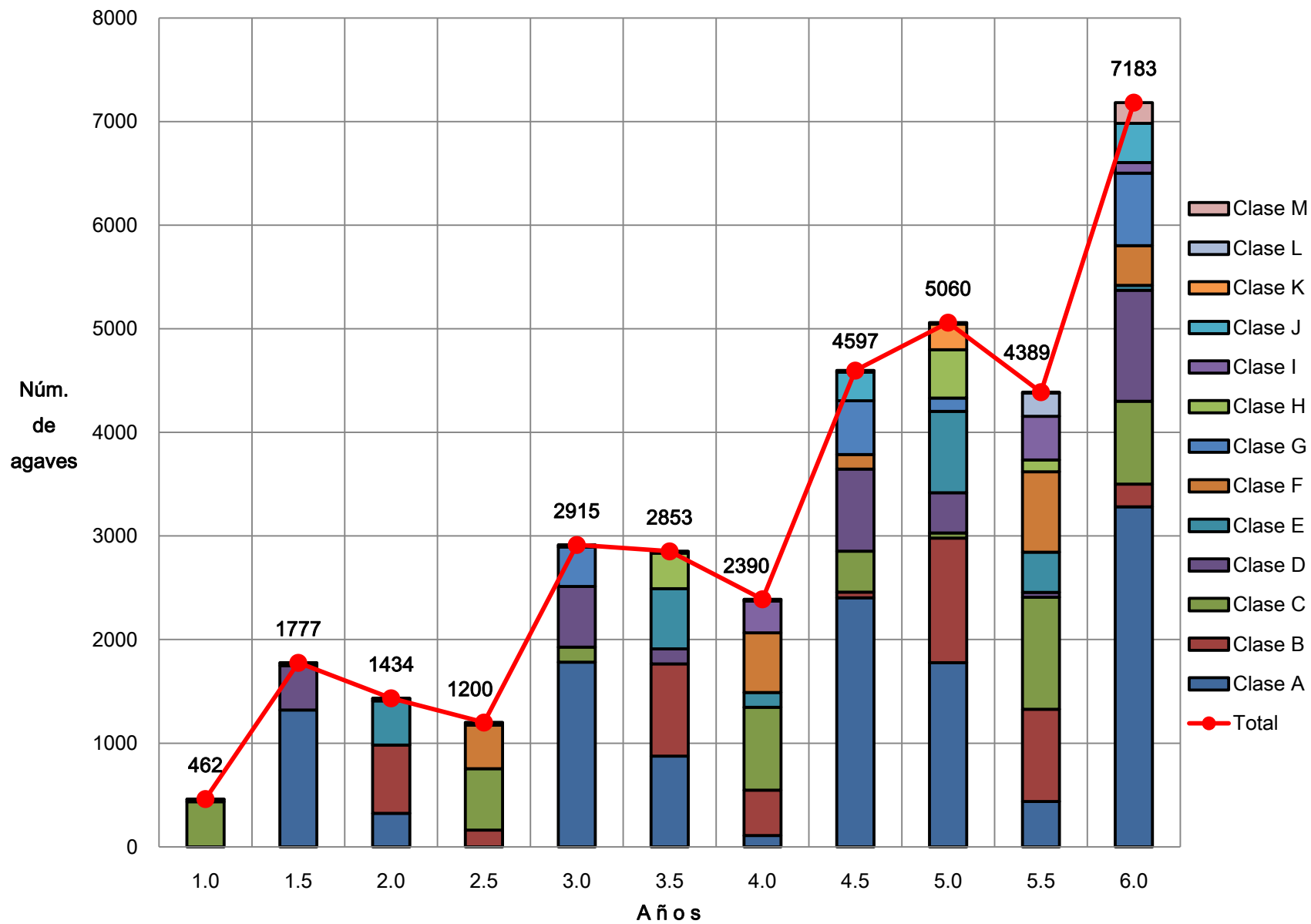


Figura 3.19 Gráfica de columnas apiladas de número de agaves por clase.

La tabla 3.18, presenta el peso mínimo, máximo y el promedio que tiene cada tipo de clase. Esta tabla sirve para calcular la biomasa promedio que tendremos a un futuro, es decir, al multiplicar el número de agaves por el promedio de su peso según su clase, obtendremos el valor de su biomasa promedio. De esta manera, sabremos la producción que tiene nuestro cultivo y cuáles son las clases que aportan más kilogramos de biomasa. Con esta información se puede seleccionar un régimen de extracción de agaves que aproveche el cultivo sin sobreexplotarlo y destruirlo.

Clase	Peso (g)		
	Mínimo	Máximo	Media
A	377	2469	1423
B	2470	4561	3516
C	4562	6653	5608
D	6654	8745	7700
E	8746	10837	9792
F	10838	12929	11884
G	12930	15021	13976
H	15022	17113	16068
I	17114	19205	18160
J	19206	21297	20252
K	21298	23389	22344
L	23390	25481	24436
M	25482	27573	26528

Tabla 3.18 Clases con su peso promedio.

En la tabla 3.19, se observan los valores de biomasa promedio una vez realizada la multiplicación del número de agaves (ver tabla 3.17), por el promedio de su peso según su clase (ver tabla 3.18), para obtener el valor de la biomasa promedio.

Biomasa Promedio (kg)											
Vector	t <sub>0</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	t <sub>5</sub>	t <sub>6</sub>	t <sub>7</sub>	t <sub>8</sub>	t <sub>9</sub>	t <sub>10</sub>
Clase A	0	1877	459	0	2534	1246	153	3421	2529	623	4670
Clase B	0	0	2319	566	0	3131	1539	189	4226	3124	770
Clase C	2434	0	0	3329	813	0	4494	2210	272	6067	4485
Clase D	177	3308	0	0	4525	1105	0	6109	3004	369	8247
Clase E	49	223	4165	0	0	5697	1392	0	7691	3782	465
Clase F	0	59	268	5004	0	0	6845	1672	0	9241	4544
Clase G	0	0	62	284	5297	0	0	7245	1770	0	9781
Clase H	0	0	0	64	293	5481	0	0	7497	1831	0
Clase I	0	0	0	0	66	298	5575	0	0	7626	1863
Clase J	0	0	0	0	0	66	300	5595	0	0	7654
Clase K	0	0	0	0	0	0	65	297	5556	0	0
Clase L	0	0	0	0	0	0	0	64	293	5469	0
Clase M	0	0	0	0	0	0	0	0	63	286	5343
<b>Total</b>	<b>2660</b>	<b>5467</b>	<b>7273</b>	<b>9248</b>	<b>13528</b>	<b>17024</b>	<b>20363</b>	<b>26804</b>	<b>32901</b>	<b>38419</b>	<b>47822</b>
<b>Años</b>	<b>1.0</b>	<b>1.5</b>	<b>2.0</b>	<b>2.5</b>	<b>3.0</b>	<b>3.5</b>	<b>4.0</b>	<b>4.5</b>	<b>5.0</b>	<b>5.5</b>	<b>6.0</b>

Tabla 3.19 Simulación de biomasa promedio a lo largo de 6 años.

Como se mencionó antes, la información obtenida por la tabla 3.19, nos permite evaluar, por medio de simulaciones, distintos regímenes de extracción de agaves, para poder encontrar uno que aproveche el cultivo al máximo sin sobreexplotarlo.

En la figura 3.20, se aprecia la gráfica de columnas apiladas de kilogramos de biomasa promedio que tiene nuestro prototipo de cultivo de agave a lo largo de 6 años, según su tipo de clase y sin extracción. Se observa que la línea del total de biomasa se observa como una pendiente ascendente continua, es decir, cada 6 meses tenemos ganancia de biomasa, desde el primer año que comenzamos con 462 agaves, que corresponden a 2,660 kg de biomasa, hasta llegar al sexto año con 7183 agaves, que equivalen a 47,822 kg de biomasa total producida por el cultivo.

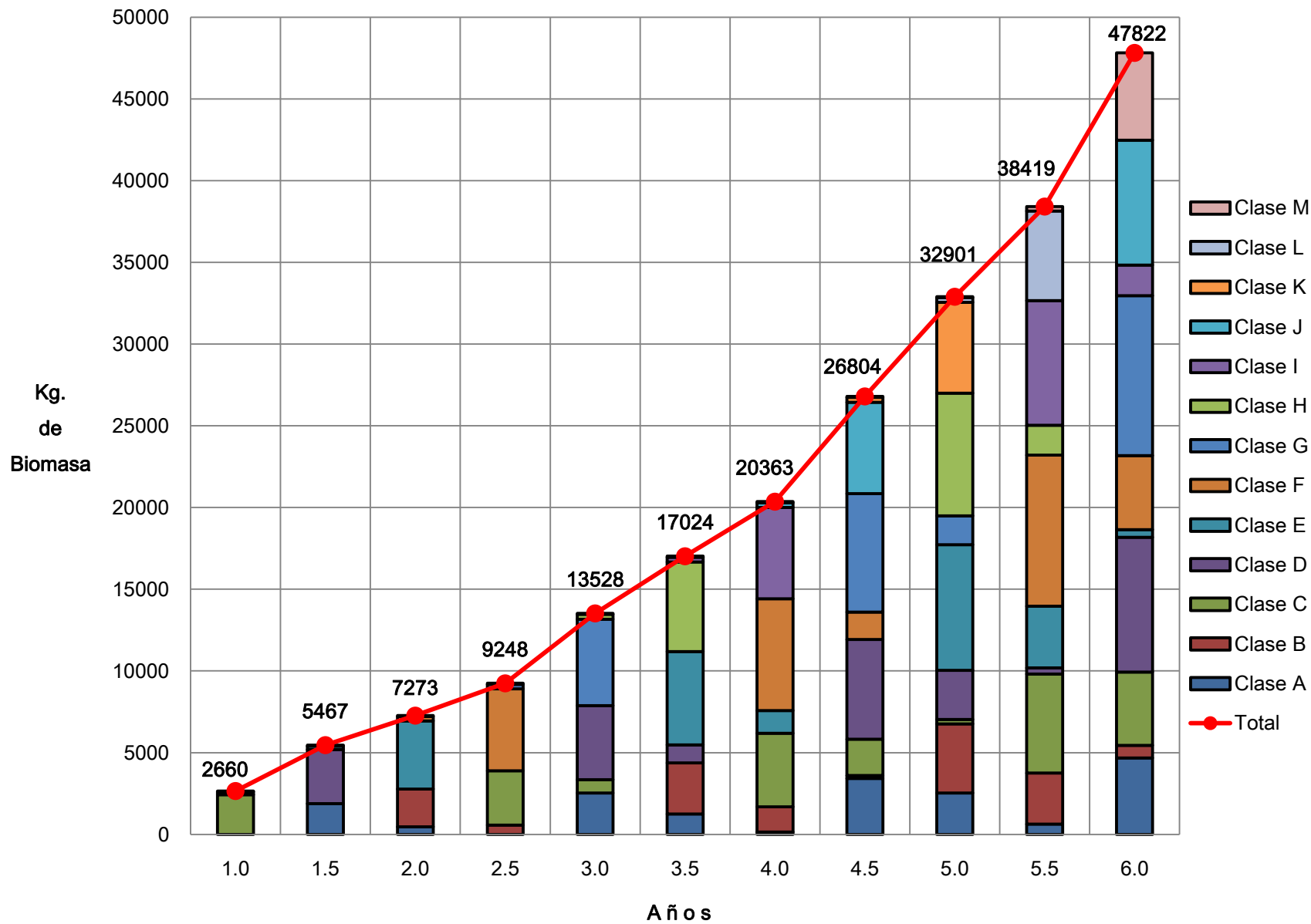


Figura 3.20 Gráfica de columnas apiladas de biomasa por clase.

## Simulación del Régimen de Extracción

La figura 3.21, presenta la gráfica del nivel de equilibrio de agaves según su extracción. En ella, se plantea que no existe extracción hasta el tercer año, es decir, los primeros 2 años y medio, el cultivo se desarrolla sin extraer ningún agave. Posteriormente, en el tercer año, se presentan 3 posibilidades, representadas con 3 gráficas de diferentes colores: la gráfica lineal verde es cómo se desarrolla el cultivo con 0% de extracción en todas las clases. La gráfica lineal roja es el cultivo con extracción al 100%, es decir, de la clase D a la M, se extrae el 100% de los agaves. Esas dos gráficas se consideran límites del sistema, siendo el límite superior la línea verde con 0% extracción, y el límite inferior la línea roja con 100% extracción. La tercer línea, de color amarillo, es la propuesta del régimen de extracción del cultivo, según la clase se propone extraer de cada clase: A a la D= 0%, E= 20%, F= 50% y de G a M = 90%. Dando como resultado la gráfica lineal amarilla, la cual es un punto medio entre el límite superior de 0% extracción, y el límite inferior de 100% extracción.

La figura 3.22, muestra la gráfica del nivel de equilibrio de biomasa según su extracción. Al igual que la gráfica del nivel de equilibrio de agaves, hay extracción hasta el tercer año, y también cuentan un límite superior representado por la gráfica lineal de color verde, que simboliza una extracción del 0% en todas las clases, y un límite inferior representado por la gráfica lineal de color rojo que simboliza una extracción del 100% en todas las clases. Utilizando el mismo régimen de extracción de agaves por clases que se propuso anteriormente, A a la D= 0%, E= 20%, F= 50% y de G a M = 90%, da como resultado la gráfica lineal de color amarillo, la cual es el punto medio de extracción que se propone utilizar en el cultivo.

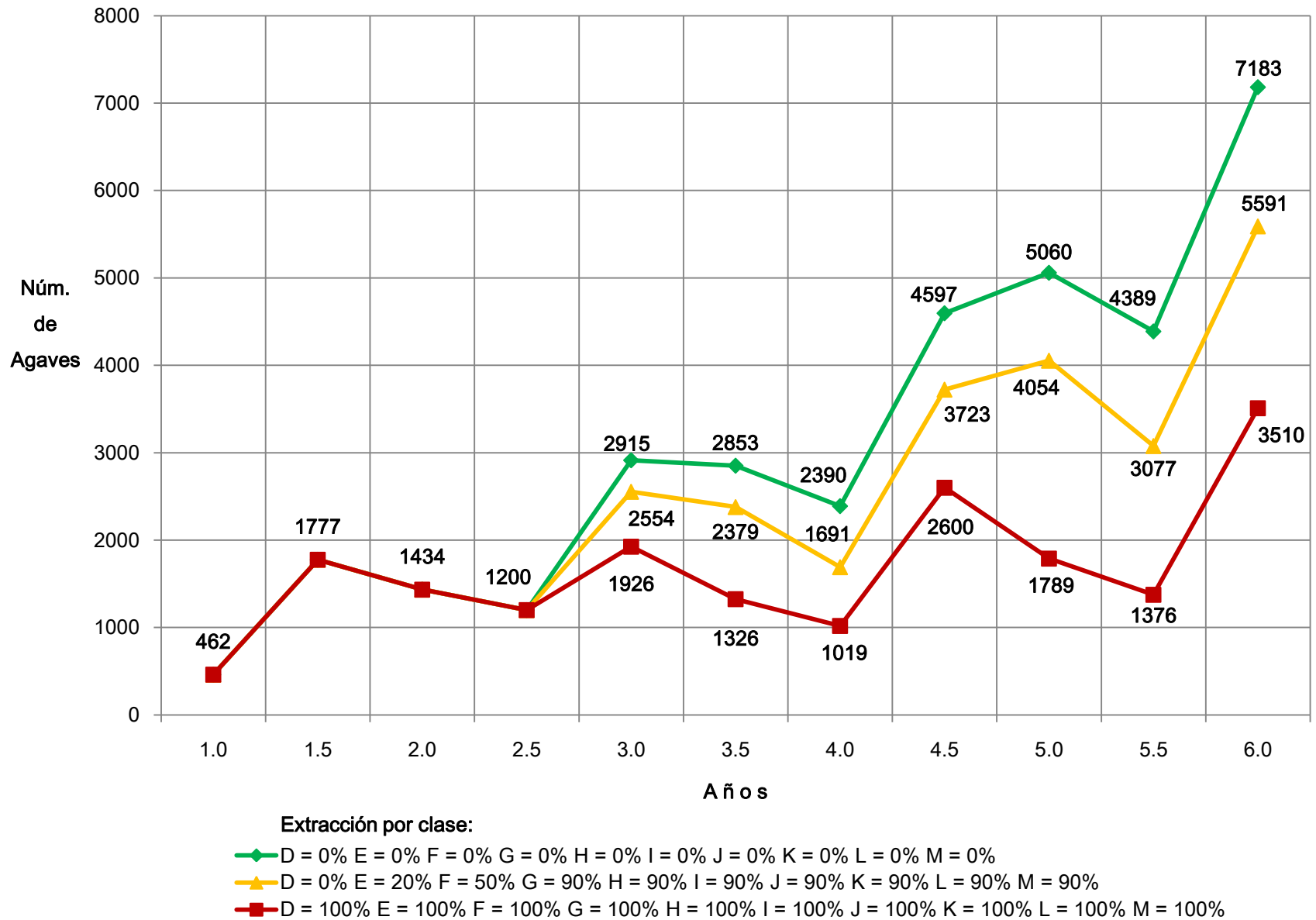


Figura 3.21 Gráfica del nivel de equilibrio de agaves según su extracción.

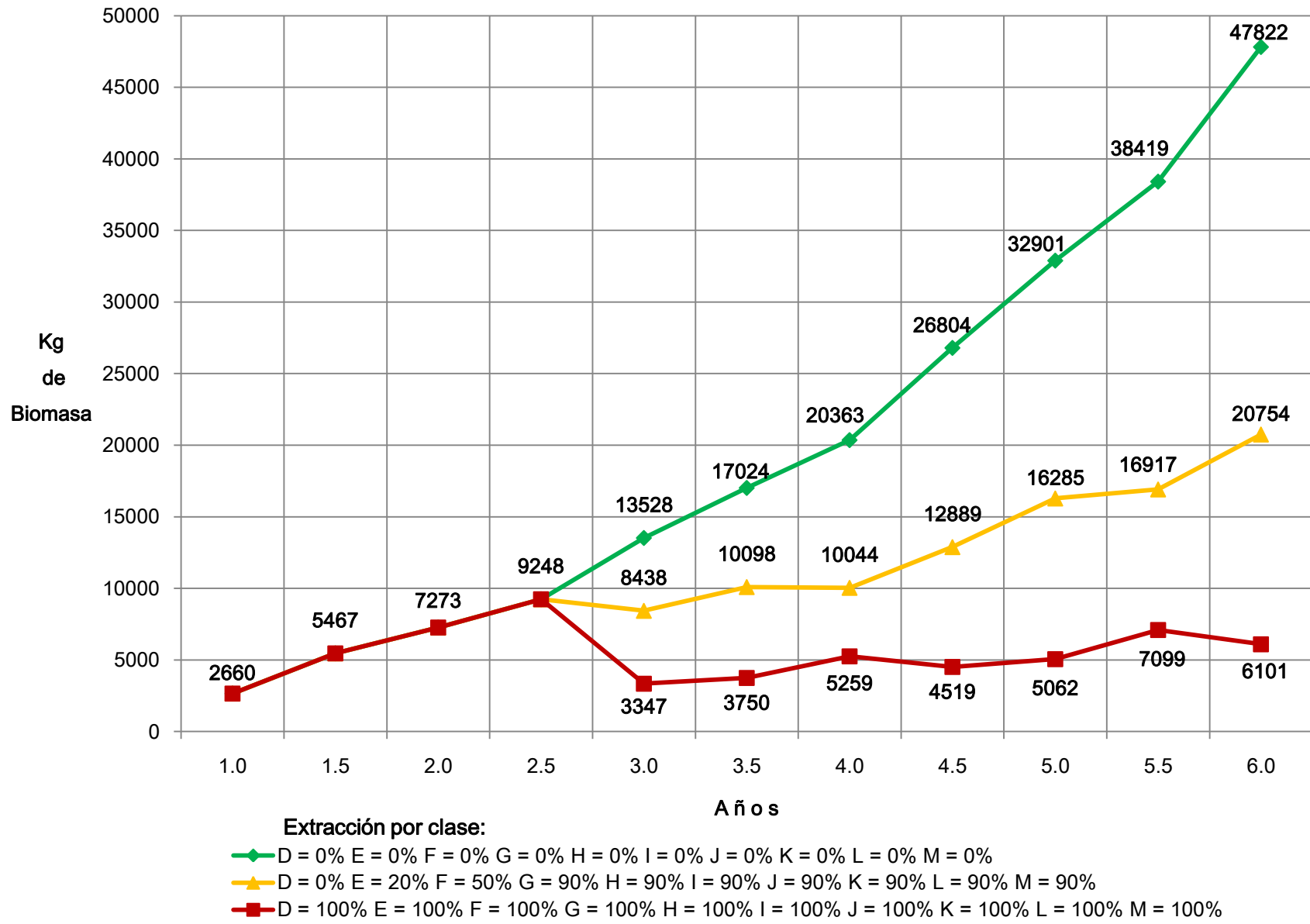


Figura 3.22 Gráfica nivel de equilibrio de biomasa según su extracción.

## 3.6 Sistema de producción de inulina de agave

### Descripción del sistema

La figura 3.23, muestra el modelo de simulación de la producción industrial de inulina de maguey elaborada en el software de *Arena de Rockwell Automation*. Dicho modelo se divide en un total de 23 pasos o procesos (ver figura 2.11) descritos en detalle en el tema 2.5.1 (Modelo de producción de inulina de maguey del Capítulo 2). Estos 23 procesos fueron trasladados a diferentes módulos de simulación que ofrece el software de *Arena*. Primero se alimenta el modelo de simulación con kilos de maguey que posteriormente pasan por cuatro procesos diferentes para ser transformados en harina de agave, posteriormente se toma la decisión de qué tipo de inulina se desea obtener para así utilizar la harina de agave en los procesos específicos que necesita la inulina seleccionada. El modelo ofrece cuatro tipos diferentes de inulina: el primer tipo es la inulina base al pasar por los procesos 5 al 10, el segundo tipo es la inulina purificada por intercambio iónico al pasar por los procesos 5 al 8 y 11 al 12, el tercer tipo es la inulina sin calcio al pasar por los pasos 5 al 8, 11 al 12 y 15 al 19, finalmente el cuarto tipo es la inulina libre de quelatos al pasar por los pasos 5 al 8, 11 al 12, 15 al 17 y 20 al 23. La selección de qué tipo de inulina se desea obtener es por medio de los módulos de decisión que ofrece el software de *Arena*, los cuales se tienen que configurar antes de hacer funcionar el modelo de simulación para así obtener la salida deseada.

El resumen de entidades del modelo de inulina de maguey se presenta en la figura 3.24, en esta figura se pueden analizar las cantidades de entrada y salida de la simulación, en este caso la cantidad de pulpa 1 y la cantidad de inulina sin quelatos, así como la cantidad de kilogramos de maguey que ingresaron al sistema como materia prima.



**Entrada de Materia Prima**

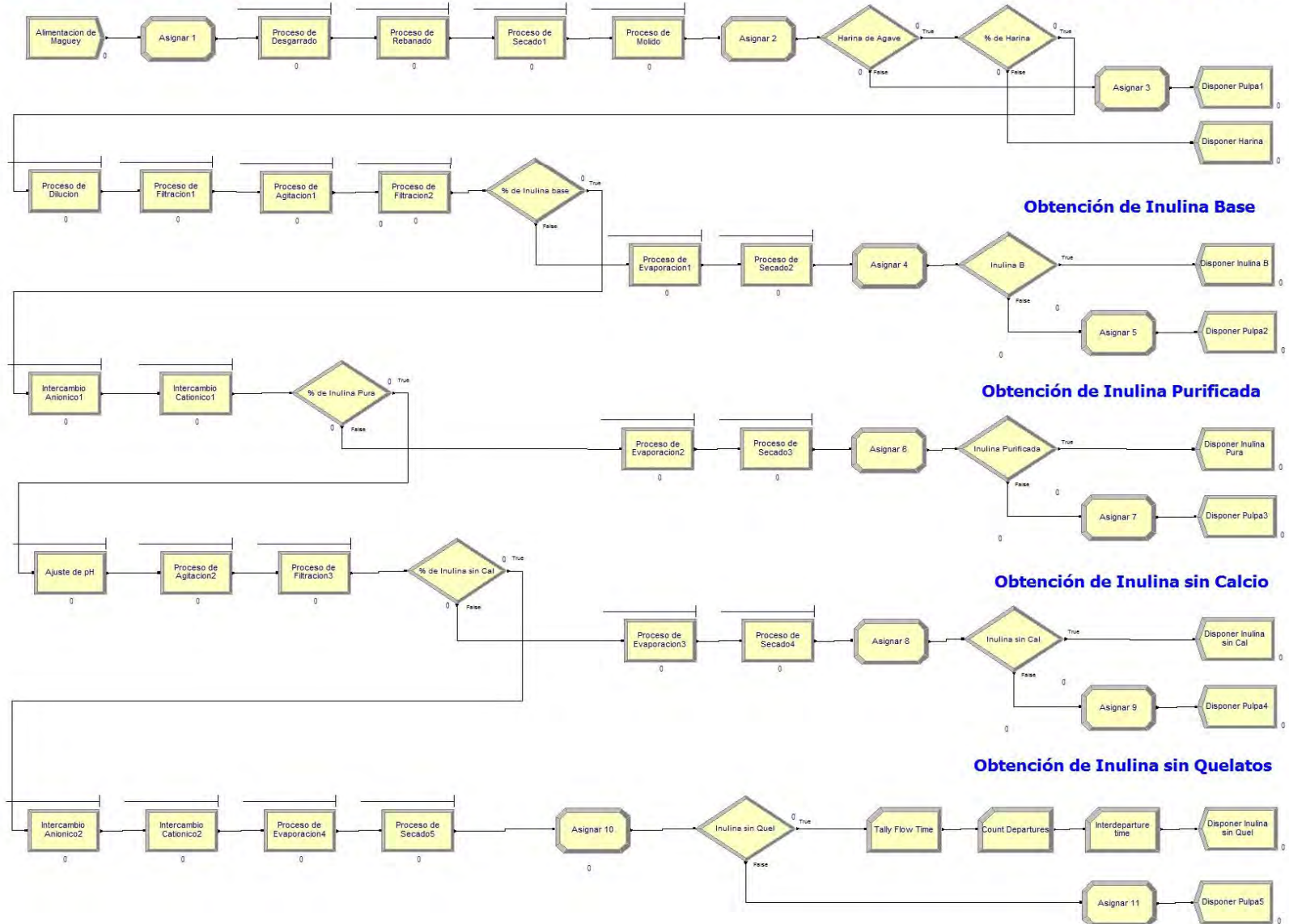


Figura 3.23 Modelo de simulación de producción de inulina de agave.

<b>Replication 1</b>	Start Time:	0.00	Stop Time:	8.00	Time Units: Hours
----------------------	-------------	------	------------	------	-------------------

### Entity Detail Summary

#### Time

	NVA Time	Other Time	Total Time	Transfer Time	VA Time
Inu sin Quel	0.00	0.00	7.91	0.00	7.91
Pulpa1	0.00	0.00	3.31	0.00	0.42
<b>Total</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>11.22</b>	<b>0.00</b>	<b>8.33</b>

#### Other

	Number In	Number Out
Harina	35	7
Inu sin Cal	0	0
Inu sin Quel	1	1
Inulina Base	0	0
Inulina Pura	0	0
Kg	70	35
Pulpa1	6	6
Pulpa2	0	0
Pulpa3	0	0
Pulpa4	0	0
Pulpa5	0	0
<b>Total</b>	<b>112</b>	<b>49</b>

Figura 3.24 Resumen de entidades del modelo de inulina de agave.

La figura 3.25, nos presenta el resumen de las colas en el modelo de inulina de maguey y los tiempos de espera de los procesos del sistema. Al analizar estos tiempos de espera observamos que el proceso de intercambio aniónico 1 es el procedimiento donde se genera la línea de espera más larga. De igual forma el proceso de secado 1, el proceso de filtración 1 y el proceso de desgarrado, son los siguientes en tener más tiempo de espera, con esta información así como con el tiempo de los otros procesos tenemos una base teórica de los tiempos de servicio de los diferentes procedimientos que se necesitan cumplir en nuestro modelo de simulación.

### Queue Detail Summary

<u>Time</u>	<u>Waiting Time</u>
Ajuste de pH.Queue	0.00
Intercambio Anionico 1.Queue	1.87
Intercambio Anionico 2.Queue	0.00
Intercambio Cationico 1.Queue	0.00
Intercambio Cationico 2.Queue	0.00
Proceso de Agitacion 1.Queue	0.12
Proceso de Agitacion 2.Queue	0.00
Proceso de Desgarrado.Queue	1.38
Proceso de Dilucion.Queue	0.00
Proceso de Evaporacion 4.Queue	0.00
Proceso de Filtracion 1.Queue	1.42
Proceso de Filtracion 2.Queue	0.14
Proceso de Filtracion 3.Queue	0.00
Proceso de Molido.Queue	0.00
Proceso de Rebanado.Queue	0.00
Proceso de Secado 1.Queue	1.42
Proceso de Secado 5.Queue	0.00

Figura 3.25 Resumen de colas de espera del modelo de inulina de agave.

La figura 3.26, muestra el resumen de los recursos utilizados en el modelo de inulina de maguey, de esta forma se puede apreciar la capacidad de trabajo del sistema y que tanto son utilizados los recursos a lo largo del tiempo dentro de la simulación. El número decimal representa el porcentaje de utilización de ese recurso, por ejemplo el recurso más utilizado es la Filtración 1 con un 0.93 o 93% de capacidad de trabajo utilizada.

## Usage

---

	<u>Inst Util</u>	<u>Num Busy</u>
Agitacion1	0.82	0.82
Agitacion2	0.15	0.15
Ajuste	0.01	0.01
Anionico1	0.79	0.79
Anionico2	0.44	0.44
Cationico1	0.67	0.67
Cationico2	0.32	0.32
Desgarrado	0.36	0.36
Dilucion	0.60	0.60
Evaporacion1	0.00	0.00
Evaporacion2	0.00	0.00
Evaporacion3	0.00	0.00
Evaporacion4	0.13	0.13
Filtracion1	0.93	0.93
Filtracion2	0.81	0.81
Filtracion3	0.26	0.26
Molido	0.36	0.36
Rebanado	0.36	0.36
Secado1	0.73	0.73
Secado2	0.00	0.00
Secado3	0.00	0.00
Secado4	0.00	0.00
Secado5	0.14	0.14

Figura 3.26 Resumen de los recursos del modelo de inulina de agave.

## 3.7 Sistema de producción de cerveza de agave

### Descripción del sistema

La figura 3.27, expone el modelo de simulación de la producción de cerveza de agave elaborada en el software de *Arena de Rockwell Automation*. Dicho modelo se divide en un total de 8 pasos o procesos (ver figura 2.12), descritos en detalle en el tema 2.5.2 (Modelo de producción de cerveza de agave del Capítulo 2). Estos 8 procesos fueron trasladados a diferentes módulos de simulación que ofrece el software de *Arena*. Primero se alimenta el modelo de simulación con kilos de maguey que posteriormente se transforman en mosto de agave, este mosto pasa por un proceso de cocción y adicción del lúpulo, después se enfría y se inocula con levadura para ser reposado por varios días y este se fermenta, el tiempo de reposo y fermentación varía según sea el tipo de cerveza que se quiere producir: de alta fermentación o tipo Ale de 4 a 6 días con una temperatura entre 18 a 25° C y de baja fermentación o tipo Lager de 8 a 10 días con una temperatura entre 6 y 10° C. Finalmente se filtra o centrifuga y se envasa para su comercialización. Cabe mencionar que el modelo de simulación cuenta con 2 procesos extras de los 8 antes mencionados, estos son los procesos de aclaración del líquido y adicción de CO<sub>2</sub>, estos procesos eran opcionales en la producción de la cerveza pero se decidió integrarlos para complementar el modelo de simulación.

El resumen de entidades del modelo de cerveza de agave se presenta en la figura 3.28, en esta figura se puede analizar las cantidades de entrada y salida de la simulación, la materia prima que entra son kilogramos de maguey y las salidas son pulpa, mosto utilizado y botellas de cerveza de agave.

### Entrada de Materia Prima

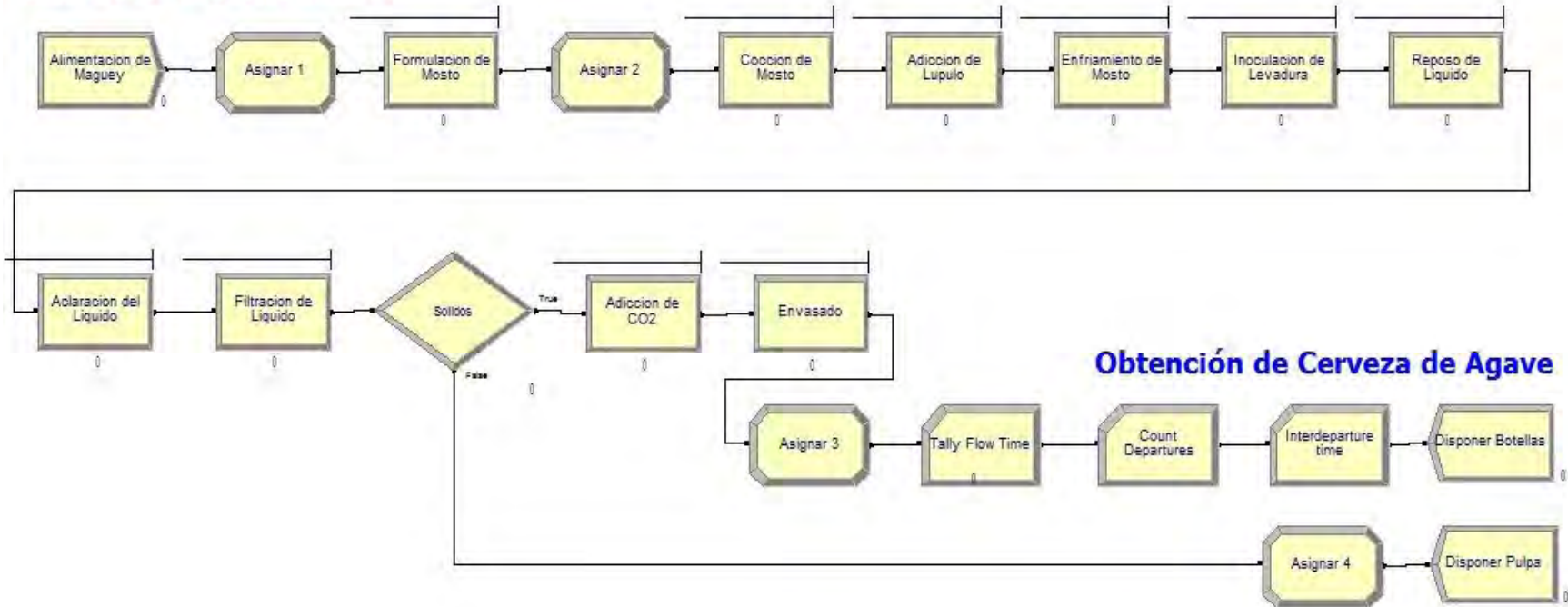


Figura 3.27 Modelo de simulación de producción cerveza de agave.

<b>Replication 1</b>	Start Time:	0.00	Stop Time:	8.00	Time Units: Hours
----------------------	-------------	------	------------	------	-------------------

### Entity Detail Summary

#### Time

---

	NVA Time	Other Time	Total Time	Transfer Time	VA Time
Botellas	0.00	0.00	6.98	0.00	3.98
Pulpa	0.00	0.00	4.35	0.00	3.85
<b>Total</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>11.33</b>	<b>0.00</b>	<b>7.83</b>

#### Other

---

	Number In	Number Out
Botellas	3	3
Kg	14	7
Mosto	7	5
Pulpa	2	2
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>17</b>

Figura 3.28 Resumen de entidades del modelo de cerveza de agave.

La figura 3.29, nos presenta el resumen de las colas en el modelo de cerveza de agave y los tiempos de espera de los procesos del sistema. Al analizar estos tiempos de espera observamos que el proceso de cocción del mosto es el procedimiento donde se genera la línea de espera más tardada, es decir, es el proceso que más tiempo lleva elaborar. De igual forma el proceso de formulación del mosto es el siguiente en tener más tiempo de espera, con esta información así como con el tiempo de los otros procesos tenemos una base teórica de los tiempos de servicio de los diferentes procedimientos que se necesitan cumplir en nuestro modelo de simulación.

## Queue Detail Summary

### Time

---

	<u>Waiting Time</u>
Aclaracion del Liquido.Queue	0.00
Adiccion de CO2.Queue	0.00
Adiccion de Lupulo.Queue	0.00
Coccion de Mosto.Queue	1.75
Enfriamiento de Mosto.Queue	0.00
Envasado.Queue	0.00
Filtracion de Liquido.Queue	0.00
Formulacion de Mosto.Queue	1.09
Inoculacion de Levadura.Queue	0.00
Reposo de Liquido.Queue	0.00

Figura 3.29 Resumen de colas de espera del modelo de cerveza de agave.



La figura 3.30, muestra el resumen de los recursos utilizados en el modelo de cerveza de agave, de esta forma se puede apreciar la capacidad de trabajo del sistema y que tanto son utilizados los recursos a lo largo del tiempo dentro de la simulación. El número decimal representa el porcentaje de utilización de ese recurso, por ejemplo el recurso más utilizado es la cocción del mosto con un 0.88 o 88% de capacidad de trabajo utilizada.

## Resource Detail Summary

### Usage

---

	<u>Inst Util</u>	<u>Num Busy</u>
AdiccionCO2	0.03	0.03
Levadura	0.04	0.04
LiquidoAclarad	0.71	0.71
LiquidoEnvasa	0.02	0.02
LiquidoFiltrado	0.31	0.31
LiquidoRepos	0.04	0.04
MostoCocido	0.88	0.88
MostoConLup	0.07	0.07
MostoFormula	0.36	0.36
MostoFrio	0.63	0.63

Figura 3.30 Resumen de los recursos del modelo de cerveza de agave.

# CAPÍTULO 4: Discusión

El capítulo final de este trabajo analizará los resultados alcanzados por el prototipo de cultivo de maguey, los resultados de la matriz poblacional de Leslie y los resultados de la simulación de los sistemas de producción de inulina de agave y cerveza de agave. A través del escrito se mostrará lo obtenido y se explicarán las aportaciones de este trabajo. El capítulo finaliza con los nuevos estudios que pueden surgir del trabajo realizado y los productos de investigación obtenidos.

## 4.1 Análisis interno

Como antecedente del análisis interno se mencionaran las características principales del software de simulación utilizado: *Arena* de *Rockwell Automation*. Es una versión libre de *Arena*, con licencia estudiantil. Contiene funciones limitadas, en cuanto al tamaño del modelo, y la generación de entidades. Está orientada a uso académico. Los archivos generados pueden ser copiados a otras computadoras. No tiene tiempo límite de uso.

Información de licencia:

- Versión: 14.70 (*Copyright 2015 Rockwell Automation Technologies, Inc.*)
- Usuario: Jorge Raymundo Silva
- Número de Serie: STUDENT-STUD
- ID del Producto: STUD

La información de contacto:

- Teléfono general : 724-741-4000
- Teléfono de soporte: 440-646-6789
- Página oficial: <https://www.arenasimulation.com/>

## 4.1.1 Prototipo de Unidad de Producción Rural

Entre los resultados obtenidos de esta investigación es un prototipo completamente funcional de una Unidad de Producción Rural de cultivo de maguey y la propuesta de utilizar sus derivados como productos. El tamaño de la parcela prototipo es de 30 m de largo por 35 m de ancho, dando como resultado un área de 1050 m<sup>2</sup>. En este espacio están plantados 23 agaves a lo largo por 20 agaves a lo ancho, con un espacio de separación entre cada planta de aproximadamente 1.5 m, con esta disposición de cultivo tenemos un total de 460 agaves.

Como se mencionó en el tema 3.4, para evaluar el desempeño y progreso del prototipo de cultivo de maguey, se llevó a cabo un registro de crecimiento, tomando las magnitudes de peso y altura como referencia. Esto al realizar 4 muestreos de datos, separados por 3 meses cada uno, es decir, el registro de 1 año de crecimiento del cultivo. La ganancia de biomasa que presenta el cultivo es de 2644.69 kg, de acuerdo a la última toma de datos realizada. Derivado de los resultados del registro de crecimiento del cultivo, se puede afirmar que a 1 año de su desarrollo, el prototipo cumplió con los requerimientos y características que se previeron, incluso las supero, al mostrar un bajo nivel de muertes en la población de agaves (solo el 1% del cultivo no se desarrolló), también se presentó un incremento considerable en la biomasa del cultivo, por lo tanto, se concluye que a un futuro previsible, el prototipo se seguirá desarrollando satisfactoriamente.

Con los datos generados por el prototipo de cultivo y la información estadística del mismo, se desarrolló la cadena de Markov y la matriz poblacional de Leslie.

## 4.1.2 Matriz de Leslie del cultivo de agave

Utilizando los datos de muestreos del prototipo de Unidad de Producción Rural, se elaboró una matriz de Leslie que sirvió para modelar los cambios en la población del cultivo de agaves a través del tiempo. Al utilizar la matriz se obtuvieron estimaciones del cultivo para los próximos 5 años, tanto en cantidad de agaves como en kilogramos de biomasa. Analizando el resultado obtenido por la última estimación de la matriz, tenemos que, nuestro cultivo contaría con 7183 agaves repartidos en las diferentes clases propuestas, que al multiplicar el número de agaves en cada clase por su peso medio, obtenemos un total de 47 822 kg de biomasa. Cabe mencionar que estos valores estimados son tomando en cuenta solo las dimensiones del prototipo de cultivo, que corresponden aproximadamente a un décimo de hectárea, es decir, solo los 1050 m<sup>2</sup>. Proyectando estos resultados a 1 hectárea, implicaría multiplicar lo obtenido por 10, dando como resultado aproximadamente 72 mil agaves y 480 toneladas de biomasa. Considerando los valores estimados para un cultivo de 1 hectárea, se puede realizar una estimación de ventas para la implementación de diferentes Unidades de Producción Rural en la localidad o localidades cercanas con condiciones ambientales similares al sitio de estudio, dando paso a nuevos negocios que utilicen el agave como materia prima.

Empleando las estimaciones de la matriz de Leslie y la información de los patentes de los sistemas de producción propuestos, se desarrollaron 2 modelos de simulación, el primero de producción de inulina de agave y el segundo de producción de cerveza de agave, los cuales se describirán a continuación.

### 4.1.3 Inulina de agave

El modelo de simulación de producción de inulina de agave elaborado en el software de *Arena* de *Rockwell Automation* presenta muchas ventajas dado que el software permite modificar fácilmente diferentes valores y magnitudes ocupados en la producción de inulina; valores como los kilogramos de materia prima que entran al sistema, el tiempo ocupado al realizar los procesos de producción y el porcentaje que se desea obtener de cada tipo de inulina que produce el sistema (inulina base, inulina purificada, inulina sin calcio e inulina libre de quelatos). La flexibilidad que otorga el modelo de simulación es muy útil ya que al obtener datos de diferentes fuentes se pueden simular fácilmente sin necesidad de modificar la estructura del modelo de simulación ya que este fue basado en el único patente existente de la producción industrial de inulina de agave, pero si se diera el caso de producir inulina de manera manual o no industrializada el modelo de simulación puede adaptarse si es necesario.

Antes de analizar los resultados obtenidos por el modelo de simulación de la producción de inulina de agave es prudente mencionar los parámetros principales de simulación:

- Parámetros de replicación: una replicación o *Batch* con tiempo de un día, con un turno de ocho horas por día, con un tiempo base de horas. La simulación realiza solo una replicación dado que el software de *Arena* de *Rockwell Automation* permite un número limitado de creación de entidades, esto se debe a que se usa una licencia de estudiante para acceder al software, pero en caso de tener una licencia completa el software no tendría problema de hacer más replicaciones.
- Parámetros de creación: entrada de materia prima en kilogramos, con un tiempo de arribo de 8 horas, con un máximo de 35 kg, es decir, cada 8 horas nuestro sistema será alimentado por 35 kg de maguey.

- Parámetros de porcentaje de inulina requerida: estos parámetros pueden ser elegidos de 0% al 100% dependiendo que clase de inulina se requiera producir.
- Parámetros de tiempo: cada bloque de proceso tiene su propio tiempo de realización, los tiempos usados son los propuestos por la patente que se utilizó para realizar el modelo de simulación, estos tiempos de ser necesario pueden ser modificados o adaptados a otros parámetros diferentes a los de la patente.

Una vez realizada la replicación con los parámetros ya mencionados, los resultados obtenidos son los siguientes (ver figura 4.1):

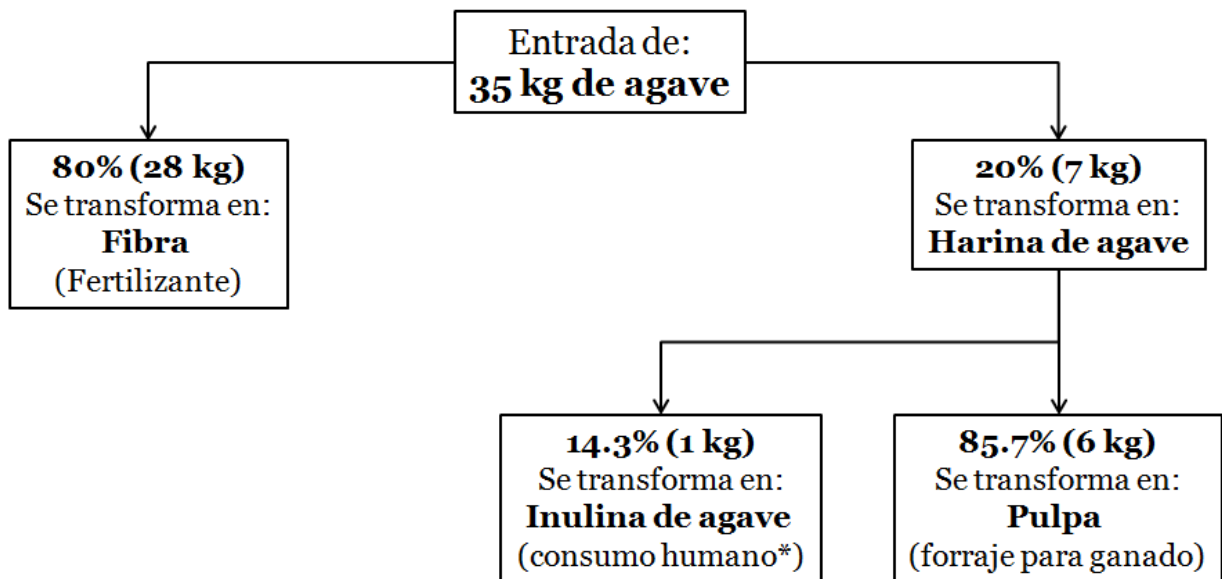


Figura 4.1 Diagrama de entidades del modelo de inulina de agave.

\*La dosis recomendada de inulina es de 8 g al día, aproximadamente una cuchara cafetera (Pilch, 1987), que puede ser disuelta en cualquier líquido sin alterar su sabor dado que es un polvo insípido, esto quiere decir que con un solo kilogramo alcanza para 125 dosis de consumo humano.

## 4.1.4 Cerveza de agave

Al utilizar de nuevo el software de *Arena* de *Rockwell Automation*, se desarrolló también un modelo de simulación de la producción de cerveza de agave, el cual presenta las mismas ventajas que el modelo de simulación anterior, es decir, permite modificar fácilmente diferentes valores y magnitudes ocupados en la producción; valores como los kilogramos de materia prima que entran al sistema y el tiempo ocupado al realizar los procesos de producción. Estas ventajas resultan muy útiles dado que otorga flexibilidad de uso al modelo de simulación, de esta manera si se obtienen datos de otras fuentes se pueden simular fácilmente sin necesidad de modificar la estructura del modelo ya que este fue basado en la única patente existente de la producción de cerveza de agave, pero si se diera el caso de producir cerveza de agave de manera artesanal el modelo de simulación puede adaptarse de ser necesario.

De igual forma que con el modelo de simulación de la inulina de maguey, antes de analizar los resultados obtenidos por el modelo de la producción de cerveza de agave se mencionarán los parámetros principales de simulación:

- Parámetros de replicación: una replicación o *Batch* con tiempo de un día, con un turno de 8 horas por día, con un tiempo base de horas. La simulación realiza solo una replicación dado que el software de *Arena* de *Rockwell Automation* permite un número limitado de creación de entidades, esto se debe a que se usa una licencia de estudiante para acceder al software, pero en caso de tener una licencia completa el software no tendría problema de hacer mas de replicaciones.
- Parámetros de creación: entrada de materia prima en kilogramos, con un tiempo de arribo de 8 horas, con un máximo de 7 kg, es decir, cada 8 horas nuestro sistema será alimentado por 7 kg de maguey.

- **Parámetros de tiempo:** cada bloque de proceso tiene un tiempo de realización, los tiempos usados son los propuestos por la patente que se utilizó para realizar el modelo de simulación, estos tiempos de ser necesario pueden ser modificados o adaptados a otros datos diferentes a los de la patente. En caso del bloque: Reposo del líquido, es donde se lleva a cabo la fermentación y está puesto a 3 minutos por fines de una rápida simulación del proceso, pero en realidad el tiempo puede ser ajustado a días, este cambio es sencillo solo se modifica la magnitud en la que se mide el tiempo dentro del bloqueo de simulación.

Una vez realizada la replicación con los parámetros anteriores, los resultados obtenidos son los siguientes (ver figura 4.2):

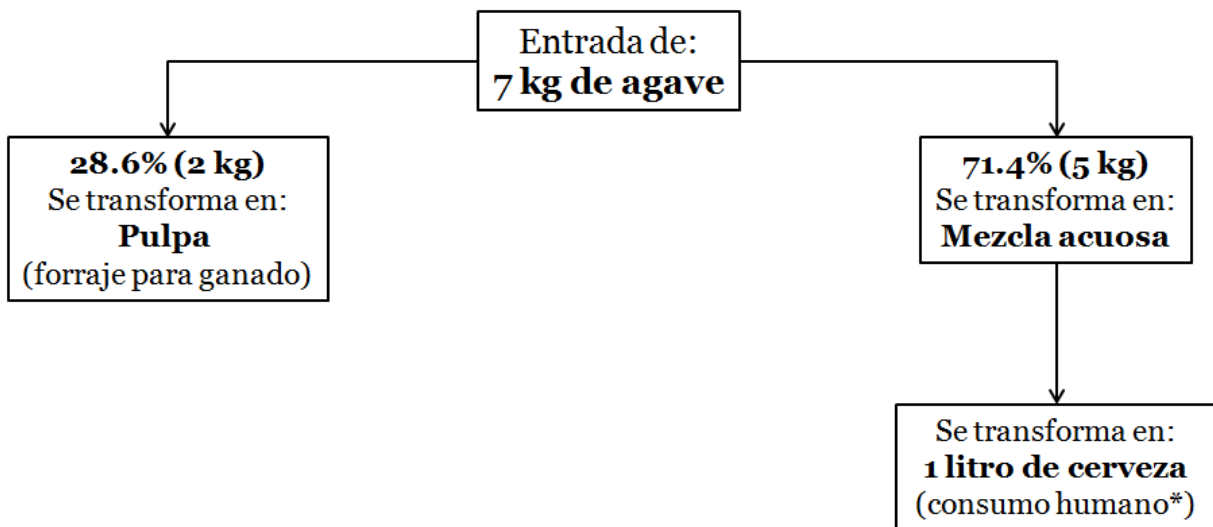


Figura 4.2 Diagrama de entidades del modelo de cerveza de agave.

\*La mezcla acuosa resultante se ocupa en los siguientes procesos de producción de cerveza de agave, esta se filtra para separar sólidos y el líquido restante pasará a ser pasteurizado y envasado. Al finalizar los procesos se tiene 1 litro de líquido, el cual equivale a 3 botellas de 355 ml de cerveza de agave listas para su consumo.



## 4.2 Análisis externo

Como antecedente del análisis externo se menciona la información más relevante de los dos patentes en los cuales se basaron los modelos de simulación y forman parte substancial del desarrollo de la investigación.

### Patente de Producción de inulina de agave

- Clasificación Internacional de Patentes: C08B 37/18
- Número de Publicación internacional: WO 02/066517 A1
- Número de Solicitud internacional: PCT/MX01/00011
- Fecha de Presentación internacional: 19 de febrero de 2011
- Fecha de Publicación internacional: 29 de agosto de 2002
- Título: Proceso, composición y usos de inulina de agave en polvo y solución
- Inventores: Legorreta Peyton Enrique & Ogura Fujii Tetsuya
- Lugar de desarrollo: Jalisco, México
- Idioma de publicación: Español

### Patente de Producción de cerveza de agave

- Clasificación Internacional de Patentes: C12C 5/00
- Número de Publicación internacional: WO 2007/053000 A1
- Número de Solicitud internacional: PCT/MX2006/000107
- Fecha de Presentación internacional: 6 de octubre de 2006
- Fecha de Publicación internacional: 10 de mayo de 2007
- Título: Proceso para la elaboración de una bebida alcohólica, tipo cerveza, a base de agave
- Inventores: Soltero Jiménez Francisco Javier
- Lugar de desarrollo: Jalisco, México
- Idioma de publicación: Español

## 4.2.1 Prototipo de Unidad de Producción Rural

Al hacer el análisis externo del prototipo de Unidad de Producción Rural, se encontró que existen principalmente 2 proyectos gubernamentales que tienen gran relación con el prototipo de cultivo de maguey propuesto:

1. Programa de Desarrollo de Capacidades, Innovación Tecnológica y Extensionismo Rural: Evaluación Estatal del Funcionamiento y la Operación 2012, en el Estado de Puebla.
2. Plan Estratégico para la Operación Anual del Componente de Desarrollo de Capacidades y Extensionismo Rural del Estado de Puebla.

Ambos proyectos propuestos por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), la cual trabaja en conjunto con el gobierno del estado de Puebla por medio del Plan Estatal de Desarrollo del Estado de Puebla 2011-2017: Tecnificación e Innovación para el campo poblano, con el fin de alcanzar una economía competitiva y generadora de empleos.

El Plan Estatal de Desarrollo del Estado de Puebla 2011-2017, parte de la atención que debe tener la política pública hacia la problemática en el sector agropecuario, destacando las dolencias relacionadas con la falta de agua y la degradación del suelo, pero principalmente la baja productividad e ineficiencia en las actividades agrícolas, pecuarias y acuícolas, así como la desarticulación de las cadenas de valor de sus productos en los mercados nacional e internacional (SAGARPA, 2012b).

El Programa de Desarrollo de Capacidades, Innovación Tecnológica y Extensionismo Rural, trata de cumplir el siguiente objetivo: “Contribuir al incremento de los ingresos de los productores rurales y pesqueros, provenientes de sus actividades económicas, mediante un aumento de sus capacidades generadas por estudios y acciones de investigación, asistencia técnica, capacitación y extensionismo en forma individual u organizada, con el propósito de que los productores rurales y pesqueros cuenten con mejores capacidades e incorporen innovaciones tecnológicas a sus procesos productivos” (SAGARPA, 2012b).

Mientras que el objetivo del Plan Estratégico para la Operación Anual del Componente de Desarrollo de Capacidades y Extensionismo Rural del Estado de Puebla, es el siguiente: “Detonar potencialidades de todas las regiones del Estado de Puebla, a fin de que su desarrollo sea acelerado, estratégicamente diseñado y ambientalmente armónico, para que realmente produzca bienestar a sus habitantes, en vez de dislocaciones sociales o polarización económica. Hacer del campo la palanca del desarrollo regional para asegurar ingresos sustancialmente mayores para los campesinos y una vida digna para sus familias. Y que el crecimiento económico de hoy se haga de manera armónica con el medio ambiente, a fin de legar a sus hijos un entorno que los haga sentir orgullosos” (SAGARPA, 2013).

Por último, cabe señalar que los objetivos de los proyectos del gobierno anteriormente descritos, concuerdan con los objetivos finales de esta investigación, los cuales son beneficiar el nivel económico, social y ambiental de la localidad de San Antonio Portezuelo, Puebla.

## 4.2.2 Inulina de agave

Para validar los beneficios de la producción de inulina de agave se realizó un análisis de contenido porcentual de inulina del producto a través de la comparación del agave contra otras plantas que también cuentan con inulina en su composición.

La Inulina es el nombre con el que se designa a una familia de carbohidratos complejos (polisacáridos), compuestos de cadenas moleculares de fructosa. Es, por lo tanto, un fructosano o fructano, que se encuentran generalmente en las raíces, tubérculos y rizomas de ciertas plantas fanerógamas (bardana, achicoria, diente de león, yacón, etc.) (Cherbut, 2002). La inulina es un integrante de la fibra alimentaria, en particular de la llamada fibra soluble. Al ser moderadamente soluble en agua, tiene además la propiedad de formar geles que retienen una gran cantidad de agua. Los subproductos de metabolización de la inulina parece que aumentan el peristaltismo intestinal y facilitan la absorción de algunos elementos minerales como el calcio, magnesio, y fósforo (Roberfroid, 2005). La inulina también estimula el crecimiento de la microbiota intestinal benéfica (microorganismos pobladores del intestino) (Roberfroid, 2007).

La tabla 4.1 compila algunas de las plantas que contienen cantidades significativas de inulina y algunas de ellas se encuentran en la dieta occidental la cual aporta de 1 a 10 g diarios de inulina. Entre las plantas de la tabla se encuentra también el agave, el cual es la materia prima del proceso de producción ya antes mencionado.

Planta	Inulina (%)
Bardana o lampazo ( <i>Arctium lappa</i> )	27 – 45
Agave ( <i>Agave spp</i> )	16 – 25
Enula o helinio ( <i>Inula helenium</i> )	19 – 20
Papa de Jerusalén ( <i>Helianthus tuberosus</i> )	14 – 19
Achicoria ( <i>Cichorium intybus</i> )	10 – 15
Ajo común ( <i>Allium sativum</i> )	9 – 16
Yacón ( <i>Smallanthus sonchifolius</i> )	3 - 19
Cebolla ( <i>Allium cepa</i> )	2 – 6
Espárrago ( <i>Asparagus officinalis</i> )	2 – 3

Tabla 4.1 Contenido porcentual de inulina en diversas plantas (Moshfegh et al., 1999).

Al examinar la tabla 4.1, podemos observar que una planta con alto contenido de inulina es la bardana, especie originaria de las regiones templadas desde las Islas Británicas a través de Rusia y el Medio Oriente a China y Japón, incluida la India. Prefiere un suelo fresco y rico en nitrógeno y estar situada en plena luz del sol. Mientras que el agave, originario del continente americano, y con el mayor número de especies nativas en México, requieren un clima semiseco con temperatura promedio de 22° C, generalmente a una altitud entre 2200 y 2700 msnm. Las condiciones del suelo son tipo tepetate, es decir, absorbe grandes cantidades de agua, tiene poca fertilidad y se endurece cuando pierde humedad, esta clase de suelo se encuentra por todo el altiplano mexicano.

Al comparar las necesidades de cultivo de la bardana y el agave, se puede afirmar con facilidad que aunque la bardana tiene mayor porcentaje de inulina, el agave puede prosperar en suelos pobres los cuales abundan en México y pueden ser aprovechados para el cultivo de agave y por ende a la producción industrial de la inulina y de otros productos.

### 4.2.3 Cerveza de agave

Para validar los beneficios de la producción de cerveza de agave se realizó un análisis nutrimental del producto a través de la comparación de la cerveza de agave contra la cerveza tradicional de malta.

Las características técnicas del producto denominado "Cerveza de Agave" son que tiene entre 4% hasta un 8% de Alcohol en Volumen; tiene un amargor que va de entre 5 y 70 IBUs (International Bittering Units); es transparente, con un color que va del amarillo claro al ámbar oscuro; presenta espuma y burbujas, como consecuencia de la presencia del CO<sup>2</sup> generado por la levadura y por la carbonatación; y puede tener un ligero sabor dulce generado por los azúcares fermentables residuales del Agave, así como un aroma en el que se destacan tanto el olor del lúpulo como el del mosto de Agave (Soltero, 2007).

Debido a su contenido en inulina, la cerveza obtenida puede ser considerada un nutracéutico prebiótico, ya que se fermenta en el intestino grueso, generando metabolitos que previenen el cáncer de colon y bajan el colesterol sanguíneo. Asimismo, la Cerveza de Agave puede ser considerada como "ligera", es decir, clasificada como baja en calorías con relación a las cervezas tradicionales de malta, mientras que los carbohidratos que permanecen en ella después de la fermentación se componen principalmente de fibra soluble que no aporta energía digestible al ser consumida (Soltero, 2007).

En la tabla 4.2, se puede observar un comparativo de los valores nutrimentales de una Cerveza de Agave, obtenidos en laboratorio y los reportados por el *United States Department of Agriculture (USDA)* para una cerveza marca *Budweiser*, considerada una cerveza tradicional (USDA, 2007).

	Cerveza de Agave (%)	Cerveza Tradicional <i>Budweiser</i> (%)
Humedad	93.73	92.77
Cenizas	0.24	0.11
Proteína	0.10	0.36
Grasa	0.10	0.0
Fibra cruda	0.11	0.0
Fibra soluble	2.09	0.0
Carbohidratos	0.0	2.97
Alcohol	3.48	3.9
Kcal/100 g	27	41

Tabla 4.2 Información nutrimental: Cerveza de agave & Cerveza tradicional (Soltero, 2007).

Por otro lado, los resultados de dos sesiones de grupos de enfoque (denominadas en inglés "*Focus Group*") llevadas a cabo con 14 personas, indican que en prueba ciega el 71.43% de los participantes consideraron al producto como una cerveza con características especiales, lo que definitivamente sitúa al producto dentro del nicho de las cervezas artesanales. Adicionalmente, una vez que dichos participantes recibieron la información completa del producto y del concepto, el 100% de ellos mencionó que estaría dispuesto a ser consumidor del producto y 85.71% señaló que estaría dispuesto a involucrarse como inversionista en un proyecto para producir "Cerveza de Agave" (*Focus Group* realizado por Francisco Javier Soltero Jiménez, creador de la patente y Director General en Cámara Nacional de la Industria Tequilera).

Los elementos que fueron descritos anteriormente nos permiten afirmar que la cerveza de agave tiene más beneficios que la cerveza tradicional de malta, y puede ser más competitiva en los mercados de cervezas artesanales. El panorama de la cerveza de agave en México no solo es prometedor, sino que además en un futuro no muy lejano, es posible que pueda tener un lugar importante en el mercado de cervezas artesanales (Gómez-Corona et al., 2015).

## 4.2.4 Potencial de ventas del cultivo de agave

Se elaboró la estimación de ventas por producto a partir de la información obtenida por la matriz de Leslie del cultivo de agave, principalmente, el régimen de extracción de biomasa propuesto (ver figura 3.22). La tabla 4.3, muestra las ventas que puede obtener al utilizar la biomasa que genera el cultivo en los 2 sistemas de producción propuestos, el de inulina de agave (ver tema 3.6) y el de cerveza de agave (ver tema 3.7). Tomando en cuenta un uso con 50% de la biomasa producida a la inulina y 50% a la cerveza, y utilizando el promedio del precio de ambos productos en el mercado actual, los cuales son: \$85.00 pesos por un bote de 30 capsulas de inulina de agave y \$40.00 pesos por una botella de 355 ml de cerveza de agave. Los montos que muestra la tabla, sólo toman en cuenta las dimensiones del prototipo de cultivo, que corresponden a un décimo de hectárea, es decir, solo los 1050 m<sup>2</sup>.

División de biomasa por producto	
50	% de biomasa destinada a inulina
50	% de biomasa destinada a cerveza

Año	Biomasa utilizada	Inulina (kg)	Bote de 30 capsulas	Precio		Cerveza (litros)	Botella de 355 ml	Precio	
				\$	85.00			\$	40.00
1.0	0	0	0	\$	-	0	0	\$	-
1.5	0	0	0	\$	-	0	0	\$	-
2.0	0	0	0	\$	-	0	0	\$	-
2.5	0	0	0	\$	-	0	0	\$	-
3.0	5090	73	303	\$	25,753.21	727	1024	\$	40,966.17
3.5	6926	99	412	\$	35,041.17	989	1394	\$	55,740.72
4.0	10319	147	614	\$	52,209.89	1474	2076	\$	83,051.35
4.5	13915	199	828	\$	70,403.70	1988	2800	\$	111,992.63
5.0	16616	237	989	\$	84,066.53	2374	3343	\$	133,726.38
5.5	21502	307	1280	\$	108,790.57	3072	4326	\$	173,055.43
6.0	27068	387	1611	\$	136,950.79	3867	5446	\$	217,850.47

Tabla 4.3 Estimación de ventas por producto.



# CAPÍTULO 5: Conclusiones

Con base en los resultados anteriormente expuestos de esta investigación, es posible concluir que la reintroducción del cultivo del agave por medio de un prototipo de Unidad de Producción Rural fue un éxito. Ya que al determinar los parámetros de crecimiento del agave y desarrollar una simulación por un modelo matemático del comportamiento del cultivo, es considerar que se garantiza la cadena de abasto para los sistemas de producción de inulina y cerveza de agave, que constituyen un recurso potencial para el beneficio a nivel social, económico y ambiental, a la comunidad de San Antonio Portezuelo, Puebla.

Al desarrollar este trabajo de investigación, uno de los mayores logros cumplidos fue el establecimiento de una Unidad de Producción Rural en la localidad de San Antonio Portezuelo, Puebla, es decir, un prototipo de cultivo de maguey completamente funcional y viable, esto se demuestra con los resultados estadísticos de la investigación, al determinar el incremento en peso y altura de los maguey y a su vez el incremento de biomasa en el cultivo, esto a través de cuatro tomas de muestra realizadas cada tres meses para completar un año de muestreo. Al analizar los datos obtenidos queda claro el incremento constante de biomasa que gana el prototipo de cultivo en cada muestreo.

En este punto es importante señalar que a diferencia de otros cultivos, el cultivo de maguey no requiere de fertilizantes, ni de riego, ni se utilizan plaguicidas, además las labores de limpieza (desyerbado, etc.), no son indispensables. Con estos resultados se puede proyectar un buen pronóstico para otras Unidades de Producción Rural de maguey, no solo en la localidad de San Antonio Portezuelo, Puebla, sino en otras localidades afines que cuente con características similares a la antes mencionada.

El establecimiento de la UPR, es la primera en su tipo dentro de la localidad, esto puede ser comprobado en el Plan Estratégico para la Operación Anual del Componente de Desarrollo de Capacidades y Extensionismo Rural del Estado de Puebla del año 2013, este plan se presenta como un esfuerzo de focalización de los recursos del componente, privilegiando los procesos de desarrollo de capacidades, que puedan detonar mayor impacto para impulsar la competitividad de aquellas cadenas productivas y territorios considerados estratégicos para el desarrollo del estado de Puebla (SAGARPA, 2013).

Una aportación más, fue la matriz de Leslie, que se utilizó para modelar los cambios en la población del cultivo de agaves. Adicionalmente, nos proporciona estimaciones del cultivo para los próximos años, tanto en cantidad de agaves, como en kilogramos de biomasa. La matriz también, nos provee los regímenes de extracción que pueden ser utilizados sin sobreexplotar y destruir el cultivo de agaves. Además, los valores del modelo de Leslie que se realizó en el software *Microsoft Office Excel 2007*, pueden ser modificados fácilmente, si se llega a obtener nueva información por medio de más muestreos.

Otra de las aportaciones fue el diseño del modelo de simulación del sistema de producción de inulina de agave y el modelo de simulación del sistema de producción de cerveza de agave, ambos sistemas de producción basados enteramente en las únicas patentes que existen en este tipo de procesos. Estos sistemas dan como resultado final productos nutracéuticos que ayudan al cuerpo humano y previenen diversas enfermedades. Incluso la cerveza de agave, la cual contiene inulina y es considerada un alimento prebiótico ya que beneficia la salud del organismo, mediante el crecimiento y actividad de las bacterias en el colon, beneficios los cuales no ofrece la cerveza tradicional. Estas propiedades hacen factible la demanda del producto y contribuyen a su comercialización en un mercado alternativo.

Los modelos de simulación anteriormente mencionados son únicos en su tipo. Al buscar desarrollos similares, lo más parecido que se encontró fue el uso de la *Achicoria* en la región andina, principalmente Perú; esta planta se usa en procesos de extracción de inulina ya que cuenta con 10 a 15% de ella. También, se encontró la extracción de inulina del *Yacón* en la cordillera de los andes, principalmente Chile; de igual forma se usa para la extracción de inulina ya que cuenta con 3 a 19% de ella. En ambos casos, los artículos encontrados en la base de datos *Web of Science*, hablan principalmente de sus beneficios para la salud y del proceso de obtención de inulina, pero ninguno cuenta con un modelo de simulación como el que es propuesto en este trabajo. Al realizar los modelos de simulación en base a patentes de procesos industriales que utilizan el agave como materia prima, los hace innovadores. Esto abre paso a nuevos temas de investigación y desarrollo en diversas disciplinas.

## 5.1 Futuras investigaciones

Se tomó la decisión de dividir este tema en múltiples áreas de investigación para facilitar su lectura, pero esto no significa que las áreas no tengan relación alguna, sino todo lo contrario las propuestas son complementarias entre sí. Esta relación deriva de la cualidad interdisciplinaria del trabajo realizado en esta investigación, es decir, el estudio cruzó los límites tradicionales entre varias disciplinas académicas, por lo tanto se requirió la colaboración de diferentes áreas de investigación y la cooperación de sus especialistas. En consecuencia, las propuestas de investigación relacionadas con este trabajo no son exclusivas de una sola disciplina, sino que se conectan con otras, comparten actividades y objetivos, lo que implica enfoques más idóneos para la solución de problemas.

## **Área de Ingeniería**

El trabajo de investigación propone los sistemas de producción de la inulina de agave y la cerveza de agave. Las futuras investigaciones en el área de ingeniería industrial son múltiples, puesto que todo sistema de producción puede ser mejorado, lo cual es el objetivo de la ingeniería industrial, es decir, desarrollar futuras investigaciones que optimicen los sistemas de producción ya propuestos. El tema también tiene una serie de aspectos relacionados con Ingeniería en Alimentos y desarrollo de productos farmacéuticos. En el caso de llevar estos sistemas de producción a mayor escala el diseño y construcción de maquinaria y equipos para estos procesos abre posibilidades para proyectos en ingeniería mecánica y mecatrónica. Utilizando como base las simulaciones que se realizaron, la mejora de estos procesos puede ser efectuada incluso antes de la construcción de los sistemas de producción. Además en caso de que nuevas Unidades de Producción Rural generen nuevos datos, estos podrían introducirse a los modelos de simulación y producir distintos resultados que pueden ser analizados nuevamente y dar un pronóstico sobre la posible elaboración de productos derivados del maguey.

## **Área Económica**

Se puede realizar como una futura investigación, un estudio de inversión de capital para implementar más cultivos de agave, así como investigar sobre los mercados y la viabilidad de negocios que ocupen los derivados del maguey como producto. De igual forma analizar los beneficios económicos que obtendría la localidad y sus habitantes, es decir, que tanto capital deberían invertir para el desarrollo de una UPR propia por familia o por conjunto de habitantes y en cuanto tiempo recuperarían dicha inversión.

## **Área Biológica**

Una de las investigaciones futuras que se pueden desarrollar en el área biológica, es continuar con la toma de datos estadísticos sobre el crecimiento del cultivo. En este trabajo se realizaron 4 muestreos de datos cada 3 meses, es decir, el registro del incremento de altura, peso y biomasa del cultivo, a lo largo de un año. Se puede prologar esta toma de datos hasta que los agaves alcancen la madurez y con los datos obtenidos generar ecuaciones polinómicas que den pronósticos sobre el peso, altura y biomasa de otros cultivos de maguey. Del mismo modo se puede establecer la toma de datos de los hijuelos de maguey, es decir, en cada extracción aparte del análisis de altura y peso, también registrar la variable de número de hijuelos de maguey para comenzar una investigación sobre la reproducción del mismo. La simulación efectuada no toma en cuenta el aporte a la población de maguey por concepto de reproducción sexual por lo que las estimaciones presentadas podrían ser incluso mayores. Por otro lado, se puede estudiar la producción de otros derivados del maguey como sería la de producción de gusano rojo, gusano blanco, mezcal, pencas, jarabe de aguamiel y otros productos de interés comercial.

## **Área Social**

La recuperación y utilización de suelos erosionados o de baja productividad, permite recuperar fuente de trabajo que pueden evitar la emigración hacia otras ciudades o países con las consecuencias en la conservación estructura familiar y en la estabilidad de la comunidad. De igual forma, se puede estudiar los cambios en la dinámica social de la localidad, si se llegase a solicitar apoyo económico y tecnológico por medio del gobierno municipal o estatal y los escenarios ante la implementación de nuevos sistemas productivos.

## **Área Ambiental**

Uno de los resultados más notables en esta área fueron los cambios que sufrió el suelo en donde se estableció la UPR. A los pocos meses de plantar el cultivo de maguey la erosión del suelo comenzó a desaparecer, es decir, las características del suelo cambiaron notablemente, de un suelo con características de tepetate a una tierra más fértil. Tomando esto en cuenta se puede desarrollar investigación sobre los efectos que tiene el cultivo de maguey en suelo mexicano para evitar o prevenir la erosión, la cual afecta grandes extensiones del estado de Puebla y otras regiones del país, donde la reforestación se debería efectuar con especies autóctonas incluyendo al maguey esto por oposición al uso de especies introducidas para reforestación que cuentan con una historia de fracasos como eucaliptos, cedros y pinos cuya poca viabilidad en zonas áridas apunta a un mal uso de los recursos públicos.

## **Área Organizacional**

Igualmente se puede desarrollar una investigación desde el punto de vista organizacional, al observar como la comunidad lleva a cabo la toma de decisiones al establecer Unidades de Producción Rural que utilicen el cultivo de maguey. También se puede abordar la posibilidad de buscar apoyo económico y tecnológico, por medio del gobierno municipal y estatal. Como se mencionó anteriormente existen diversos programas de apoyo a la agricultura y fomento al cultivo, de los cuales se puede recibir soporte. Por consiguiente una de las posibles investigaciones futuras puede buscar el ingreso a estos programas del gobierno y hacer la planeación y organización necesaria para recibir el apoyo brindado y generar nuevas Unidades de Producción Rural en la localidad de San Antonio Portezuelo y así beneficiar a los habitantes de la comunidad.

# Referencias

---

- Alanís-Flores, G. J., & González-Álvarez, M. (2010). Formas de uso de los magueyes. *Revista Salud Pública Y Nutrición*, (5), 1–14.
- Altioik, T., & Melamed, B. (2007). *Simulation modeling and analysis with Arena* (1° ed.). Elsevier.
- Alvarado, J. A. V., & Obagi, J. J. A. (2008). *Fundamentos de inferencia estadística* (1° ed.). Bogotá, Colombia: Universidad Javeriana de Bogotá.
- APA. (2000). APA Format – 6° Edition. *The American Psychological Association: Library Guide*, 1–4.
- Ayres, R. U., Van den Bergh, J. C., & Gowdy, J. M. (1998). Viewpoint: weak versus strong sustainability. *Tinbergen Institute Discussion Papers*, 3(3).
- Balente-Herrera, O., Díaz-Puente, J. M., & Parra, M. R. V. (2012). Los determinantes del desarrollo local. Un estudio de caso en Chiapas, México. *Agricultura, Sociedad Y Desarrollo*, 9(1998), 251–269.
- Banks, J., & Randall, G. (1996). Getting Started in Simulation Modeling. *IIE Solutions*, 28(11), 34–39.
- Banks, J., & Randall, G. (1998). Simulation Evolution. *IIE Solutions*, 26(9).
- Banks, J., & Randall, G. (2001). Simulating in the Real World. *IIE Solutions*, 33(4), 38–40.
- Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Salcedo-Hernández, R., & Parra-Negrete, L. A. (2001). Azúcares en Agaves (*Agave tequilana weber*) cultivados en el estado de Guanajuato. *Acta Universitaria*, 11(1), 33–38.
- Bueno, E. C. (2004). *Curso básico de Economía de la Empresa. Un enfoque de organización* (5° ed.). Madrid, España: Pirámide.
- Cabrero, E. (2004). Capacidades institucionales en gobiernos subnacionales de México: ¿un obstáculo para la descentralización fiscal? *Gestión Y Política Pública*, XII(3), 735–784.
- Camacho, A. D., Hernández, C. I., & Marcelino-Aranda, M. (2016). *Las pymes y el desarrollo sustentable. Antecedentes, retos y oportunidades. Las Pymes ante el reto del Siglo XXI*. Editorial IPN.
- Carro, R. P., & González, D. G. (2003). El sistema de producción y operaciones. *Facultad de Ciencias Económicas Y Sociales*, 1, 1–26.
- Castro-Díaz, A. S., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). El agave y sus productos. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2), 53–61.
- Cherbut, C. (2002). Inulin and oligofructose in the dietary fibre concept. *The British Journal of Nutrition*, 87(1), 159–162.

- Colunga-García, P., Estrada-Loera, E., & May-Pat, F. (1996). Patterns of morphological variation, diversity, and domestication of wild and cultivated populations of Agave in Yucatan, Mexico. *American Journal of Botany*, 83(8), 1069–1082.
- CONAPO. (2005). *Estimaciones con base a los índices de marginación del 2005*.
- CONAPO. (2011). *Estimaciones con base a los índices de marginación del 2011*.
- Creus, A. S. (2007). *Simulación de procesos por ordenador* (2° ed.). Marcombo.
- FAO. (2009). Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación. *Política Alimentaria: Informe*, 1–30.
- Flores, A. M., Castañeda, E. H., Sánchez, F. J. P., Romero, L. A., & Ruiz, J. L. (2009). Mecanismos de conservación y uso del maguey pulquero Agave salmiana en el altiplano Mexicano. *Somas (Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible)*, 6, 1–10.
- Flores, L. R. (2009). Desarrollo local y participación ciudadana. *Centro de Estudios Sociales Y de Opinión Pública*, 70, 1–38.
- García, J. E. (2005). *Estadística descriptiva y nociones de probabilidad* (1° ed.). Madrid, España: Thomson.
- García-Herrera, E. J., Méndez-Gallegos, S. J., & Talavera-Magaña, D. (2010). El género Agave spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. *Revista Salud Pública Y Nutrición*, 2010(73), 109–129.
- García-Mendoza, A. (1994). *Colección Nacional de Agaváceae. Primer Simposio Internacional Sobre Agaváceas*. México.
- García-Mendoza, A., & Galván, R. V. (1994). *Riquezas de las familias Agaváceae y Nolinaceae en México. Primer Simposio Internacional Sobre Agaváceas*. México.
- Gentry, H. S. (1982). *Agaves of continental North America*. University of Arizona Press.
- Gómez-Corona, C., Escalona-Buendía, H. B., García, M., Chollet, S., & Valentin, D. (2015). Craft vs. industrial: Habits, attitudes and motivations towards beer consumption in Mexico. *Appetite*, (96), 358–367.
- Greenpeace. (2009). El cambio climático en la agricultura mexicana, 1–31.
- Gutiérrez, E., & Panteleeva, O. V. (2014). *Probabilidad y Estadística: Aplicaciones a la ingeniería y ciencias* (1° ed.). México: Grupo Editorial Patria.
- Hernandez-Sampieri, R., Fernandez, C. C., & Baptista, M. P. L. (2010). *Metodología de la investigación* (5° ed.). México: Mc Graw Hill.
- Himmelblau, D. M., & Bischoff, K. B. (2004). *Análisis y simulación de procesos* (1° ed.). Reverté.
- INAFED. (2011). *Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México: Estado de Puebla*.



- INE. (2009). México. Cuarta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *Secretaría Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales*.
- INE. (2006). México. Tercera Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *Secretaría Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales*.
- INE. (2010). Coordinación del Programa de Cambio Climático. *Secretaría Del Medio Ambiente Y Recursos Naturales*.
- INEGI. (2005). *Conteo de Población y Vivienda 2005*.
- INEGI. (2009). Universo de los Censos Económicos 2009.
- INEGI. (2010a). *Catálogo de claves de entidades federativas, municipios y localidades 2010*.
- INEGI. (2010b). *Censo de Población y Vivienda 2010*.
- INEGI. (2012). Producto Interno Bruto por Entidad Federativa 2012.
- ISO. (1986). Presentation of theses and similar documents: ISO 7144-86.
- Jesson, J., Matheson, L., & Lacey, F. M. (2011). Systematic Techniques. In *Doing Your Literature Review: Traditional and Systematic Techniques* (p. 12). SAGE.
- Lambin, E. F., Turner, B. L., & Helmut, J. G. (2001). The causes of land-use and land-cover change: Moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, (11), 261–269.
- Legorreta, E. P., & Ogura, T. F. (2002). Proceso, Composición y Usos de Inulina de Agave en polvo y solución. México: WO 02/066517 A1.
- Leslie, P. H. (1945). On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika*, 33(3), 183–212.
- Levett, R. (1998). Sustainability indicators - Integrating quality of life and Environmental Protection. *Journal of the Royal Statistic Society*, 161(3), 291–302.
- Macedo, E. M. (1950). *Manual del Magueyero* (1° ed.). México: Ediciones agrícolas "Trucco."
- Martínez, V. H. S., Alonso, P. A. D., López, J. T., Salado, M. C., & Rocha, J. A. U. (2000). *Simulación de procesos en Ingeniería Química* (1° ed.). México: Plaza y Valdés.
- Miller, D., & Breton-Miller, I. L. (2005). Managing for the long run. Lesions in competitive advantage from great family business. *Cambridge: Mass. Harvard Business Schoolpress*, 15 p.
- Miller, I., & Freund, J. E. (2004). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros* (1° ed.). New Jersey, USA: Reverté.
- Moshfegh, A. J., Friday, J. E., Goldman, J. P., & Ahuja, J. K. (1999). Presence of Inulin and Oligofructose in the Diets of Americans. *The Journal of Nutrition*, (129), 1407–1411.
- Mota, L. D., & Díaz, P. M. (2008). Municipios, Desarrollo Local y Descentralización en el siglo XXI. *Ra Ximhai: Revista de Sociedad, Cultura Y Desarrollo Sustentable*, 4(3), 543–558.

- Muñiz-Márquez, D. B., Rodríguez-Jasso, R. M., Rodríguez-Herrera, R., Contreras-Esquivel, J. C., & Aguilar-González, E. C. N. (2013). Producción Artesanal del Aguamiel: Una Bebida Tradicional Mexicana  
Artisanal Production of Aguamiel: A Traditional Mexican Beverage. *Revista Científica de La Universidad Autónoma de Coahuila*, 5(10), 12–19.
- ONU. (1987). *Informe Brundtland: Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo*.
- Parris, T. M., & Kates, R. W. (2003). Characterizing and Measuring Sustainable Development. *Annual Review of Environment and Resources*, 28(Nov.), 559–585.
- Parsons, J. R., & Parsons, A. H. (1990). *Maguey Utilization in Highland central México: An Archaeological Ethnography* (1° ed.). Ann Arbor, Illinois.: Univ of Michigan Museum.
- Pilch, S. M. (1987). Physiological effect and health consequences of dietary fiber. *Bethesda, M. D. Federation of American Societies for Experimental Biology*.
- Pinkava, D. J. (1985). Desert plants. In *Symposium on the Genus Agave*. Phoenix, Arizona.: The University of Arizona.
- Ravi, A., & Ullman, J. (1998). *Compiladores: principios, técnicas y herramientas* (1° ed.). Pearson.
- Raworth, K. (2012). A Safe and Just Space For Humanity: Can we live within the Doughnut? *Nature*, 1–26.
- Roberfroid, M. B. (2005). Introducing inulin-type fructans. *British Journal of Nutrition*, 93(1), 13–25.
- Roberfroid, M. B. (2007). Inulin-Type Fructans: Functional Food Ingredients. *The Journal of Nutrition*, (5), 2493–2502.
- Rockström, J., Steffen, W. L., Noone, K., Persson, Å., Chapin Iii, F. S., Rockstrom, J., ... Foley, J. (2009). Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecology and Society*, 14(2).
- Rockwell Automation. (2005). *Arena User Guide. Supercedes Publication*. Rockwell Automation Software.
- Rockwell Automation. (2007). *Variables guide. Supercedes Publication*. Rockwell Automation Software.
- Rosas-Baños, M., & Lara-Rodríguez, R. (2013). Desarrollo endógeno local sustentable y propiedad común: San pedro el alto, México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 10(71), 59–80.
- SAGARPA. (2008). Maguey y sus múltiples usos: la rica fauna silvestre de SLP. *El Cenizotle, Hechos En El Campo*, 3(2), 2–17.
- SAGARPA. (2012a). *México: el sector agropecuario ante el desafío del cambio climático*.
- SAGARPA. (2012b). Programa de Desarrollo de Capacidades, Innovación Tecnológica y Extensionismo Rural. *Evaluación Estatal Del Funcionamiento Y La Operación 2012, En El Estado de Puebla*.
- SAGARPA. (2013). Plan Estratégico para la Operación Anual del Componente de Desarrollo de Capacidades y Extensionismo Rural del Estado de Puebla. *Comisión Estatal Del Componente de Desarrollo de Capacidades Y Extensionismo Rural*.

- SEDESOL. (2004). Encuesta Nacional a Presidentes Municipales 2004.
- SEDESOL. (2010). *Programa para el Desarrollo de Zonas Prioritarias*.
- Sen, M. (1998). Las teorías del desarrollo a principios del siglo XXI. *Cuadernos de Economía*, V(29).
- Senn, J. A. (1992). *Análisis y Diseño de Sistemas de Información* (2° ed.). Mc Graw Hill.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., ... Miller, H. L. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. *Cambridge University Press*, 996 pp.
- Soltero, J. F. J. (2007). Proceso para la elaboración de una bebida alcohólica, tipo cerveza, a base de Agave. México: WO 2007/053000 A1.
- Sosa, J. J. L. (2011). Gobiernos locales y desarrollo territorial en México. *Frontera Norte*, 24(47), 171–192.
- Stevenson, W. J. (2000). *Estadística para Administración y Economía* (1° ed.). Publicaciones HARLA.
- USDA. (2007). *Basic Report 14004, Alcoholic beverage, beer, regular, BUDWEISER*. USA.
- Valderrama, J. O. (2003). Información Tecnológica. *Centro de Información Tecnológica*, 14(3), 49.
- Weissberg, R., & Buker, S. (1990). Writing up research: experimental research report writing for students of English. *Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Regents*.
- Wilkinson, A. M. (1991). The scientist's handbook for writing papers and dissertations. *Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall*.
- Yúnez, N. A. (2010). *La Regularización de la Tierra después de 1992: La Apropiación Campesina de Procedo. Los grandes problemas de México. XI Economía Rural* (1° ed.). México: Colegio de México.
- Zapata, M. (2009). La crisis ecológica: un problema moral. In *III Simposium en Investigación Aplicada a los Negocios*. México.
- Ziccardi, A. (2003). El federalismo y las regiones: una perspectiva municipal. *Gestión Y Política Pública*, XI(3), 323–350.

# Productos de investigación

---

**Producto:** Cartel presentado en la Expo tesis 2016: Seminario de Microinnovación

**Estado:** Cartel Aceptado

**Título:** Prototipo de cultivo de maguey y simulación de sistemas de producción sustentables de sus derivados

**Autor:** Jorge Raymundo Silva

**Lugar:** Ciudad de México 14 y 15 de abril del 2016

**Producto:** Capítulo del libro: Emprendimiento en Pymes

**Estado:** Capítulo Aceptado & Publicación Pendiente

**Título:** Características de la cerveza de agave: bases para el emprendimiento en el mercado artesanal

**Autores:** Jorge Raymundo Silva & Mario Aguilar Fernández

**Lugar:** Ciudad de México 22 de abril del 2016

**Producto:** Ponencia y publicación en el 6° Seminario Internacional para la Investigación en Administración y Negocios (SIAN VI)

**Estado:** Ponencia Realizada & Publicación Pendiente

**Título:** Modelo de simulación del sistema de producción de inulina de agave

**Autores:** Jorge Raymundo-Silva, Mario Aguilar-Fernández, Mariana Marcelino-Aranda & Alejandro D. Camacho.

**Lugar:** Ciudad de México 22 al 24 de junio del 2016

**Producto:** Ponencia y publicación en el 2° Congreso Internacional de Estrategias para el Desarrollo Organizacional (CIESDO II)

**Estado:** En preparación

**Título:** Reintroducción del maguey como alternativa sustentable en zonas semiáridas

**Autores:** Jorge Raymundo-Silva, Alejandro D. Camacho, Mario Aguilar-Fernández, & Mariana Marcelino-Aranda.

**Lugar:** Puerto Vallarta, Jalisco 28 al 30 de septiembre del 2016

**Además:**

\*Dos artículos científicos del Índice JCR o CONACyT (En preparación)