



Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga



**“Diseño de una planta piloto productora de setas
comestibles tipo *Pleurotus spp.*”**

TITULACIÓN INTEGRAL
TESIS

Para Obtener el Grado de:
Ingeniero Industrial

PRESENTA:
Juan Gerardo García Chávez

DIRIGIDA POR:
Dra. S.B. Pamela Romo Rodríguez

Pabellón de Arteaga, Ags., Abril 2022.



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



INSTITUTO TECNOLÓGICO®
de Pabellón de Arteaga

ITEC

Pabellón de Arteaga, Ags.,

14/marzo/2022

M. EN C. VÍCTOR MANUEL VELASCO GALLARDO
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS

PRESENTE

Por medio del presente doy el visto bueno a la Tesis de Licenciatura titulada “**DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PRODUCTORA DE SETAS COMESTIBLES TIPO PLEUROTUS SPP**” del estudiante **JUAN GERARDO GARCÍA CHÁVEZ** con numero de control 161050470 de la carrera de Ingeniería Industrial. Dicho trabajo ya fue revisado por cada uno de los miembros del comité tutorial y el estudiante ya realizo los cambios sugeridos, por lo que autorizamos su impresión.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Tierra Siempre fértil®

DRA. S.B. PAMELA ROMO RODRÍGUEZ
MIEMBRO DE COMITÉ TUTORIAL

ING. ALEJANDRO PUGA VARGAS
MIEMBRO DE COMITÉ TUTORIAL

ING. JORGE LUIS GÓMEZ ALVARADO
MIEMBRO DE COMITÉ TUTORIAL



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



INSTITUTO TECNOLÓGICO®
de Pabellón de Arteaga

ATEC

Pabellón de Arteaga, Ags.,

17/marzo/2022

JUAN GERARDO GARCÍA CHÁVEZ
ESTUDIANTE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
NO. DE CONTROL 161050470

PRESENTE

Por medio de este conducto me permito comunicar a Usted que habiendo recibido los votos aprobatorios de los(las) revisores(as) de su trabajo de Tesis titulado: **“DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PRODUCTORA DE SETAS COMESTIBLES TIPO PLEUROTUS SPP”**, hago de su conocimiento que puede imprimir dicho documento y continuar con los trámites para la presentación de su acto protocolario de titulación integral por Tesis.

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para enviarle un cordial saludo, quedo de Usted.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Tierra Siempre fértil®

M. EN C. VÍCTOR MANUEL VELASCO GALLARDO
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS

Tesis:

**“Diseño de una planta piloto productora de setas
comestibles tipo *Pleurotus spp.*”**

Presenta:

Juan Gerardo García Chávez

Dirigida por:

Dra. S.B. Pamela Romo Rodríguez

Sinodal:

Ing. Alejandro Puga Vargas

Sinodal:

Ing. Jorge Luis Gómez Alvarado

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, doy gracias a Dios que me permitió tener buena experiencia dentro de mi universidad y dentro de ella me forje como el profesional que tanto quería ser, en segundo lugar, agradecer a mi hijo Maximiliano por darme la fuerza y resiliencia que necesitaba para completar el objetivo, así como a mi familia que estuvo apoyándome en cada paso de esta etapa en especial a mi madre que fue la más constante durante el proceso.

En tercer lugar y no menos importante a mis profesores que me apoyaron dentro de mi estancia en el Instituto, de manera particular a la doctora Pamela que estaba guiándome a lo largo del desarrollo de esta tesis, que fue el resultado final de mis conocimientos aplicados.

Y por último a mis amigos que permanecieron ayudándome en momentos importantes de forma académica y personal.

RESUMEN

La producción de setas (*Pleurotus spp.*) es una actividad que se desarrolla en México, y aprovecha residuos agrícolas como materia prima para la producción de alimentos. El objetivo del presente trabajo fue diseñar una planta piloto productora de setas comestibles tipo *Pleurotus spp.* y proponer el escalamiento a nivel industrial, lo anterior con el fin de incrementar la información necesaria para la puesta en marcha del proyecto el cual servirá como herramienta para futuras investigaciones. La investigación se realizó empleando metodologías de diseño, análisis de gestión de tiempo y herramientas de mejora de diseño. Los resultados fueron la obtención de una propuesta para la construcción de una planta piloto considerando aspectos de funcionalidad y manejo integral de la calidad para favorecer el proceso de producción.

.

“DISEÑO DE UNA PLANTA PILOTO PRODUCTORA DE SETAS COMESTIBLES TIPO *PLEUROTUS SPP.*”

Por: **JUAN GERARDO GARCÍA CHÁVEZ**

Dirigido por:

Dra. Pamela Romo Rodríguez

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.2 Planteamiento del problema	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Justificación	2
2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Producción de setas comestibles.	4
2.2 Diseño de distribución de planta SLP	6
2.3 Gestión de tiempo mediante PERT y CPM	7
2.4 Metodología TRIZ	8
3. METODOLOGÍA	10
3.1 Localización y distribución de la planta	10
3.2 Gestión del tiempo de producción.	10
3.3 Diagnostico, evaluación y elaboración de propuestas de mejora de diseño.	11
4. RESULTADOS	12
4.1 Localización y distribución de la planta.	12
4.2 Gestión del tiempo de producción	16
4.3 Diagnostico, evaluación y elaboración de propuestas de mejora de diseño	19
5. CONCLUSIONES	22
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Actividades del proceso de producción de setas comestibles	12
Figura 2. Propuesta de localización de la planta dentro de las instalaciones del ITPA	13
Figura 3. Bosquejo de diseño de planta	13
Figura 4. Diagrama relacional de actividades del proceso de producción de setas comestibles	14
Figura 5. Diagrama relacional de espacios de la planta piloto	15
Figura 6. Propuesta de diseño de planta piloto	15
Figura 7. Diagrama de operación del proceso	17
Figura 8. Diagramas PERT y CPM	18

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Lista de actividades y tiempo requerido dentro del proceso	16
Tabla 2. Parámetros de importancia según la matriz TRIZ	19

NOMENCLATURA

Spp.	Especies
SLP	Systematic Layout Planning
PERT	Technique Program Evaluation and Review
CPM	Critical Path Method
TRIZ	Tieoriya Riesheniya Izobrietatielskij Zadach
EUA	Estados Unidos de America
Kg	Kilogramo
Hab	Habitantes
ITPA	Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga
POM-QM	Production and Operations Management, Quantitative Methods

I. INTRODUCCIÓN

Los hongos comestibles se conocen, desde tiempos remotos, como una fuente tradicional de alimento entre diversos pueblos de México. Su incomparable gusto y aroma, alto contenido de proteínas, así como la presencia de vitaminas y minerales, respaldan su valor en la dieta humana. Sus proteínas contienen aminoácidos, tanto esenciales como no esenciales, lo cual le da un alto valor nutritivo, ya que su calidad es muy cercana a la de la proteína de origen animal (Gaitán-Hernández, 2006). La producción de hongos comestibles es una alternativa importante para satisfacer las necesidades alimenticias de la población. Además, los esquilmos agrícolas son una fuente para generar empleo. Lo anterior hace que este cultivo sea una alternativa nutricional ecológica que permite aprovechar materiales lignocelulolíticos (Sánchez, 2012).

En la producción de hongos comestibles *Pleurotus spp.* participan diversos actores o eslabones de la cadena de valor en todas las regiones de México donde se producen setas (*Pleurotus spp.*). Es importante hacer énfasis en el análisis de las cadenas agroalimentarias para alinear los esfuerzos individuales y colectivos de cada eslabón de la cadena productiva, con el fin de satisfacer de mejor manera las necesidades del consumidor. En varios estados de la república mexicana se han realizado esfuerzos para combatir la pobreza, sin embargo, en las zonas rurales cada vez existen menos oportunidades de empleo, educación, comunicación, acceso a mercados y asistencia técnica (De León-Monzón, 2004). En este sentido, la producción de hongos comestibles puede ser una alternativa de mucho potencial para las zonas marginadas. Se ha documentado la producción de *Pleurotus ostreatus* en diversas poblaciones del país. En la experiencia de diversos autores, el productor que incursiona por primera vez al establecimiento de módulos para la producción de hongos carece del conocimiento sobre factores que se deben tomar en cuenta para establecer de manera exitosa un módulo de producción.

El objetivo de este trabajo fue diseñar una planta piloto productora de setas comestibles tipo *Pleurotus spp.*, lo anterior con el fin de incrementar la información necesaria para la puesta en marcha del proyecto el cual servirá para futuras investigaciones en el campo de la ingeniería industrial.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Es poco conocido el gran potencial de los hongos comestibles como alimento funcional con propiedades nutricionales y medicinales que promueven la salud y más aún los beneficios de su producción y comercialización, por lo que resulta de interés la generación de información sobre los requerimientos básicos para su producción a escala piloto.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una planta piloto productora de setas comestibles tipo *Pleurotus spp.*

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la localización y la distribución de la planta piloto dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga (ITPA) utilizando la metodología SLP.
- Gestionar el tiempo de producción de setas comestibles tipo *Pleurotus spp.* dentro de la planta diseñada mediante las metodologías PERT y CPM.
- Elaborar una propuesta de mejora de diseño mediante una matriz TRIZ.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En los inicios de siglo XXI, a pesar de su importancia social, económica y ecológica, el sistema de producción consumo de setas comestibles representa todavía una de las actividades más herméticas y poco conocidas del sector primario nacional, sobre todo en lo relacionado a sus estructuras, procesos, variables socioeconómicas, patrones de desarrollo, e inter-relaciones con otros sectores. Estas son las causas principales del rezago y eventual sustitución o reemplazo de estas importantes actividades productivas.

El consumo de alimentos naturales no sólo de buen sabor, sino también inocuos, nutritivos y con propiedades benéficas para la salud, representa la gran tendencia mundial de la alimentación humana en el siglo XXI. Lo anterior nace de la confirmación de un principio fundamental y universal: la dieta humana debe ser completa, suficiente, equilibrada y que garantice una completa satisfacción biológica, psicológica y social. La mayoría de nosotros consume setas comestibles por su excelente sabor, aroma, y textura. Sin embargo, es poco conocido su gran

Ingeniería Industrial

Análisis de la percepción de estudiantes de nivel superior ante el uso de las tecnologías de la información y la comunicación en la enseñanza de las ciencias básicas

potencial como alimento funcional con propiedades nutricionales y medicinales que promueven la salud. Estas propiedades son únicas y diferentes a las aportadas por otros alimentos ampliamente consumidos, ya que los hongos constituyen un reino de la naturaleza independiente de las plantas y los animales.

Por todo lo anterior, se plantea realizar el diseño de una planta piloto productora de setas comestibles tipo *Pleurotus spp.*, lo anterior con el fin de incrementar la información necesaria para la puesta en marcha del proyecto el cual servirá para futuras investigaciones en el campo de la ingeniería industrial.

.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Producción de setas comestibles.

Los hongos son organismos diferentes a los del reino vegetal y animal. Pertenecen al reino Fungi, poseen células eucarióticas y pared celular con quitina, son heterótrofos y carecen de clorofila. Estos organismos incluyen desde formas microscópicas, como los mohos y las levaduras, hasta formas macroscópicas, el cuerpo fructífero, que la gente identifica normalmente como hongo. Dependiendo de la forma como obtienen sus nutrientes, los hongos se clasifican en parásitos, saprófitos y micorrícicos. Los primeros consumen plantas o animales vivos, los segundos digieren células y tejidos muertos, conocidos también con el nombre de hongos lignocelulósicos o de pudrición blanca. El tercer grupo de hongos, menos numerosos que los anteriores, son los que establecen relaciones simbióticas con las raíces de las plantas llamadas micorrizas, en la cual, tanto el hongo como la planta se benefician.

Entre la variedad hongos que existen en la naturaleza, la mayoría tienen aplicaciones en la agroindustria, la medicina y poseen propiedades alimentarias, alucinógenas, toxicológicas, entre otras. Los basidiomicetes incluyen especies venenosas como *Amanita phalloides* y especies fitoparásitas que causan pérdidas económicas en los cultivos agrícolas como las royas y los carbonos. También incluye especies importantes por su comestibilidad y relación simbiótica con plantas como el caso de *Amanita caesarea*; otras, por su valor nutritivo y características organolépticas como *Agaricus bisporus* (Eaton y Salmón, 2000).

El cultivo de los hongos comestibles es un sistema de biocorversión ecológica, pues lo que al hombre le es poco útil y que desecha, como las pajas, bagazos, cascarillas y pulpas, los hongos lo transforman en alimento proteínico y en mercancía para venta. Además, una vez que se obtuvo el producto comestible, del sustrato residual se puede obtener abono orgánico mediante procesos de composteo y vermicomposteo para la producción de plantas y hortalizas; dado el efecto directo en la conservación y mejora de la calidad de los suelos. Esta alternativa de producción ha sido explotada con éxito desde hace mucho tiempo en otros países,

principalmente en Asia, donde se ha desarrollado toda una tecnología para la producción y conservación de los hongos comestibles como el champiñón, el Hongo ostra y el Shiitake.

En muchos países asiáticos y del hemisferio norte, el cultivo de hongos comestibles es una agroindustria desarrollada y significativa, donde no sólo se generan divisas, sino que también absorben cuantiosa mano de obra durante todo el año. El desarrollo expansivo y tecnológico de este tipo de cultivos se debe principalmente al considerable aumento del consumo en E.U.A. y Europa. La mayoría de los países productores también son importadores ya que el consumo promedio en esos países es significativamente alto. Se estima que en Alemania, Canadá y Estados Unidos se consumen unos 4 kg/hab/año. En los países bajos el consumo llega a los 14 kg/hab/año. Para hacer frente a este consumo, que está muy lejos de ser estacional, muchos países han desarrollado estrategias propias de producción para abastecer tanto a los mercados locales como externos, lo que ha generado procesos productivos que prácticamente no se detienen durante todo el año y que aprovechan diversos desechos agroforestales como sustratos para el cultivo y transformándolos en productos mucho menos nocivos para el ambiente (Schiess, 2006).

El cultivo de hongos requiere control sobre las condiciones del medio (temperatura, humedad, ventilación, luz, oscuridad, etc.). Entre más factores del medio se puedan controlar, más costos se tendrán que incorporar a la inversión para el cultivo. Los cultivos son más estables y más productivos cuando el lugar de cultivo posee aire acondicionado, pero los costos de producción se elevan. Sin embargo, las condiciones de cultivo artesanal son baratas, aunque dependientes de las condiciones del ambiente y son productivas a bajo nivel, suficiente para autoconsumo y comercialización del excedente. En el cultivo artesanal de hongos se puede ejercer también cierta regulación sobre los factores del medio, acondicionando de tal manera los locales para permitir el flujo de corrientes de aire y aplicación de riego (López, 1995).

Aunque en los países desarrollados se requiere de un significativo capital para establecer una planta de producción de hongos, en muchos países subdesarrollados es suficiente sólo una fracción de dicho capital por dos razones principales: La mano de obra es barata y el clima es

más benigno que en las latitudes situadas más allá de los trópicos de Cáncer y Capricornio. En estos casos no se necesita el equipo altamente tecnificado que se emplea en los países ricos para sustituir su costosa labor humana ni los sistemas de calefacción, enfriamiento y los materiales aislantes que son indispensables para afrontar las inclemencias de un clima extremo.

2.2 Diseño de distribución de planta SLP

Por sus siglas en inglés, Systematic Layout Planning o Planeación Sistemática de la Distribución de Planta, es un método desarrollado por Muther en 1984. Es una forma organizada para realizar la planeación de una distribución con una serie de procedimientos y símbolos convencionales para identificar, evaluar y visualizar los elementos y áreas involucradas en la planeación.

Existe una gran diversidad de métodos para la solución de problemas relacionados con la distribución de planta, sin embargo, el más conocido y del cual se tiene un mayor registro de utilización, además de ser el más completo es sin duda el método SLP.

Este método toma en cuenta criterios cualitativos para la distribución de la planta y no solamente cuantitativos. En algunos casos, estos criterios cualitativos pueden ser más apropiados que los criterios cuantitativos. Esta jerarquización cualitativa puede basarse en consideraciones de seguridad industrial, conveniencia del cliente o flujos aproximados entre distintos departamentos. Por su estructura, el método permite solucionar problemas cualitativos de distribución de planta, donde los clientes interactúan directamente con las instalaciones. El método puede aplicarse a cualquier problema de distribución de planta porque siempre es posible especificar relaciones cualitativas y cuantitativas entre departamentos. Debido a la estructura que presenta el método es posible utilizar distintas herramientas para resolver toda clase de problemas relacionados con la planeación y distribución de planta sin importar si son muy complejos o muy sencillos.

La solución del problema no solo soluciona problemas relacionados con el espacio, sino que permite atacar otros problemas como el flujo de materiales, aumento en la producción, seguridad, disminución de tiempos muertos, entre otros, esto gracias a la estrecha relación que

mantiene con otros aspectos. Puede existir una gran diversidad de posibles soluciones para un mismo problema.

2.3 Gestión de tiempo mediante PERT y CPM

La Investigación de Operaciones consiste en un conjunto de técnicas que contribuyen a la solución de problemas de una amplia gama de actividades, mediante la aplicación de diversos métodos sustentados en modelos matemáticos.

Es el caso de los métodos PERT -Technique Program Evaluation and Review- y CPM -Critical Path Method-, cuya traducción al español es, para el primero, Técnicas de Programación, Evaluación y Control y, para el segundo, Método del Camino Crítico (Hillier y Lieberman, 2015). No obstante, los dos métodos están integrados y se los aplica como uno sólo en la solución a problemas que requieren el cálculo de óptimos en la asignación recursos y costos en un horizonte de planificación determinado, lo que implica programar, revisar y modificar las variables que intervienen en un proyecto favoreciendo su ejecución en las condiciones lo más favorables posibles.

El método PERT-CPM puede aplicarse a cualquier disciplina en la cual se fije un objetivo, se lleven a cabo un conjunto de actividades y se necesite la distribución maximizada de los recursos disponibles. Es el caso de los proyectos que se pueden llevar a cabo en el sector empresarial, aplicados por ejemplo al ámbito de la producción, las finanzas, el marketing, la gestión del talento humano, entre otras (Anderson et al., 2016).

Ahora bien, entre las ventajas de la aplicación de PERT-CPM con respecto a otros métodos de planificación y control de las actividades de los proyectos empresariales, tales como Gantt, Kanban, Ágil, Waterfall, entre otros, se destacan: la visión conjunta del desarrollo a lo largo del tiempo de las diferentes actividades, haciéndose visible la interrelación entre ellas y facilitando su control, así como el enfoque sistémico y flexible de dichas actividades, la identificación de los puntos críticos del proyecto, la selección de alternativas de planificación, la reducción de tiempos, la observación de requisitos técnicos, la asignación adecuada de recursos para cada

etapa del proyecto; la revisión y ajustes de las variables del proyecto, el cálculo de la duración total del proyecto con sus actividades críticas y no críticas y la reducción de contingencias (Hillier y Lieberman, 2015; Winston y Goldberg, 2005).

2.4 Metodología TRIZ

La metodología TRIZ, desarrollada por Genrich Altshuller (1994), defiende que las buenas soluciones poseen una serie de características comunes que las diferencia de las malas soluciones. Estas características comunes son: 1) la resolución de contradicciones, 2) el incremento de la idealidad del sistema, es decir, la mejora de este y 3) la utilización de los recursos ocultos que el medio ofrece.

1) Las contradicciones son conflictos en el sistema, formados por una herramienta que ejerce una determinada acción sobre un objeto. Un buen ejemplo de estas contradicciones nos lo ofrecen Domb y Rantanen (2002), en el que “el filo de un hacha, por ejemplo, es una herramienta que parte un trozo de madera, es decir, el objeto. La capacidad de partir del hacha es una característica positiva que lleva aparejados efectos perjudiciales como, por ejemplo, la dificultad que entraña su uso. Un hacha más pesada parte trozos de madera más gruesos, pero su manejo resulta más complicado”. Aquí podemos observar la contradicción. Por un lado, obtenemos una mejora, ya que podemos partir trozos más gruesos, pero, por otro lado, el sistema empeora ya que se debe construir un hacha más pesada y más difícil de usar, por consiguiente.

2) La idealidad del sistema hace referencia a la distancia a la que se encuentra este con respecto a la excelencia o perfección en su campo. Cada vez que realizamos una mejora sobre un sistema, este se aproxima a su “resultado final ideal”, que será aquel en el que el sistema posee todos los beneficios buscados sin que ello suponga ningún efecto no deseado.

3) Los recursos ocultos son aquel conjunto de elementos disponibles para resolver nuestra contradicción de los que todavía no se ha hecho uso, bien por no conocerlos, bien por no saber cómo aprovecharlos o por cualquier otro motivo.

Ingeniería Industrial

Análisis de la percepción de estudiantes de nivel superior ante el uso de las tecnologías de la información y la comunicación en la enseñanza de las ciencias básicas

Por tanto, estas tres características comunes se encuentran relacionadas, de forma que mediante la utilización de los recursos ocultos podemos resolver las contradicciones, lo que repercutirá de forma positiva en la idealidad del sistema.

III. METODOLOGÍA

3.1 Localización y distribución de la planta.

Se realizaron tres fases, la primera fase consistió en recolectar la información requerida para realizar la distribución mediante visitas de campo a las instalaciones del ITPA. Se definieron los procesos de producción de las setas comestibles y el espacio disponible para la planta de producción.

La segunda fase fue la aplicación de la metodología SLP, donde se realizaron: análisis de las relaciones de actividades, se construyó un diagrama de relación de actividades, y, por último, un diagrama relacional de espacios.

En la tercera fase se realizó una propuesta de distribución de planta teniendo en cuenta la información recolectada y analizada con anterioridad.

3.2 Gestión del tiempo de producción.

Se monitoreo el tiempo en minutos del proceso de producción de setas en escala laboratorio, con estos tiempos se determino el diagrama de operaciones de proceso siguiendo los siguientes pasos:

1. Determinación de los principales componentes del proceso.
2. Orden de las actividades
3. Elección de los símbolos correctos para cada actividad
4. Conexión entre las actividades
5. Identificación del comienzo y el final del proceso
6. Revisión del diagrama de procesos

Con los datos anteriores y empleando el programa POM-QM se realizó el análisis de datos y los gráficos PERT y CPM.

3.3 Diagnostico, evaluación y elaboración de propuestas de mejora de diseño.

Se empleo la matriz de contradicciones de Altshuller. Esta matriz tiene 39 filas por 39 columnas. Filas y columnas se corresponden con una lista de 39 posibles características del sistema. En las filas se seleccionó la primera característica del sistema que se quiere mejorar, mientras que en las columnas se seleccionó la segunda característica del sistema que se deteriora en consecuencia, ya que existe una contradicción entre ambas. En la casilla correspondiente a la fila y la columna seleccionada se encuentro la recomendación de cuáles son los principios inventivos que convendría utilizar para resolver la contradicción, entresacados de la lista de los llamados 40 principios inventivos.

IV. RESULTADOS

4.1 Localización y distribución de la planta.

Se identificaron los principales pasos o actividades en la producción de setas, estos se pueden observar en la figura 1. Además, se determinó la zona para la elaboración del diseño dentro de las instalaciones del ITPA (Fig. 2).

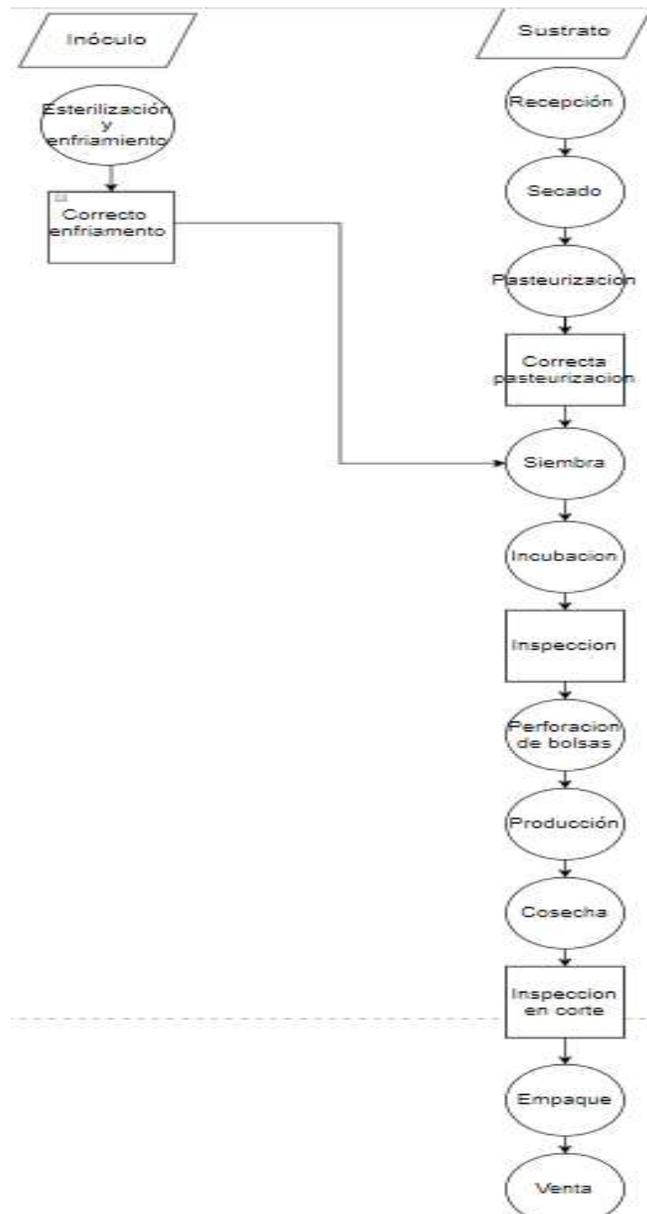


Figura 1. Actividades del proceso de producción de setas comestibles.



Figura 2. Propuesta de localización de la planta dentro de las instalaciones del ITPA.

En un primer bosquejo del diseño de la planta piloto se determinaron las áreas a incluir dentro del diseño (Fig. 3).

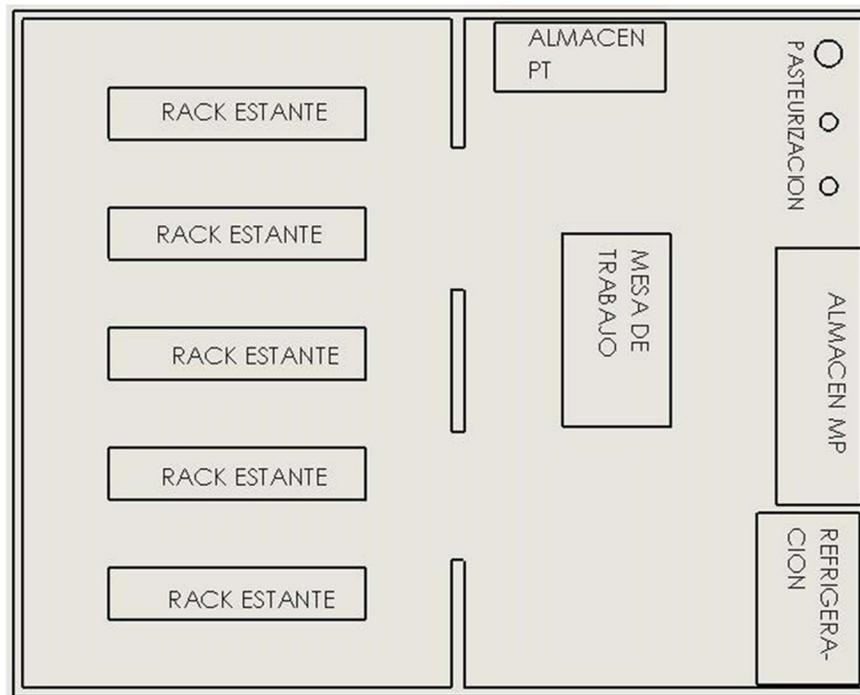


Figura 3. Bosquejo de diseño de planta.

Al conocer la secuencia de actividades requeridas para la producción de setas y teniendo en cuenta el flujo de materiales, información y restricciones de los elementos utilizados se realizó el diagrama relacional de actividades donde se muestra una matriz donde, al cruzarse las variables (áreas de la empresa), se generan unos niveles de importancia que vienen dados por los siguientes parámetros: A (absolutamente importante), E (especialmente importante), I (importante), O (importancia ordinaria), U (sin importancia), X (indeseable) (Fig. 4).

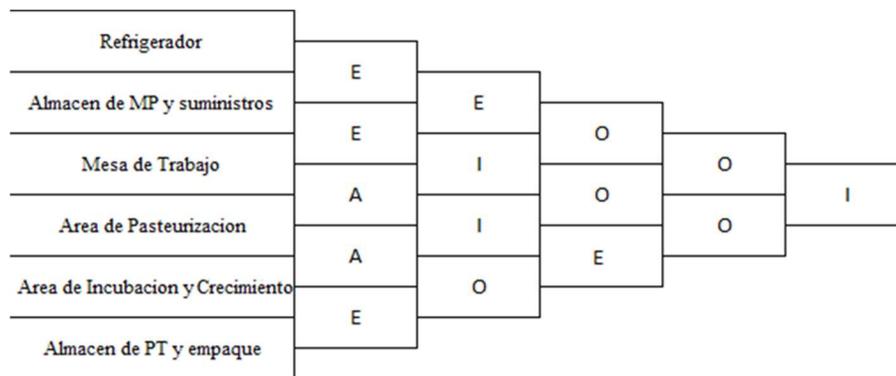


Figura 4. Diagrama relacional de actividades del proceso de producción de setas comestibles.

Se realizo un diagrama donde se definieron la estructura y la forma como una representación a escala del tamaño que ocupa cada área proporcional al espacio requerido en la planta física, ya que para su elaboración se tiene en cuenta un estudio de espacios y las necesidades de cada área respecto a dicha variable (Fig. 5).

Ingeniería Industrial

Análisis de la percepción de estudiantes de nivel superior ante el uso de las tecnologías de la información y la comunicación en la enseñanza de las ciencias básicas

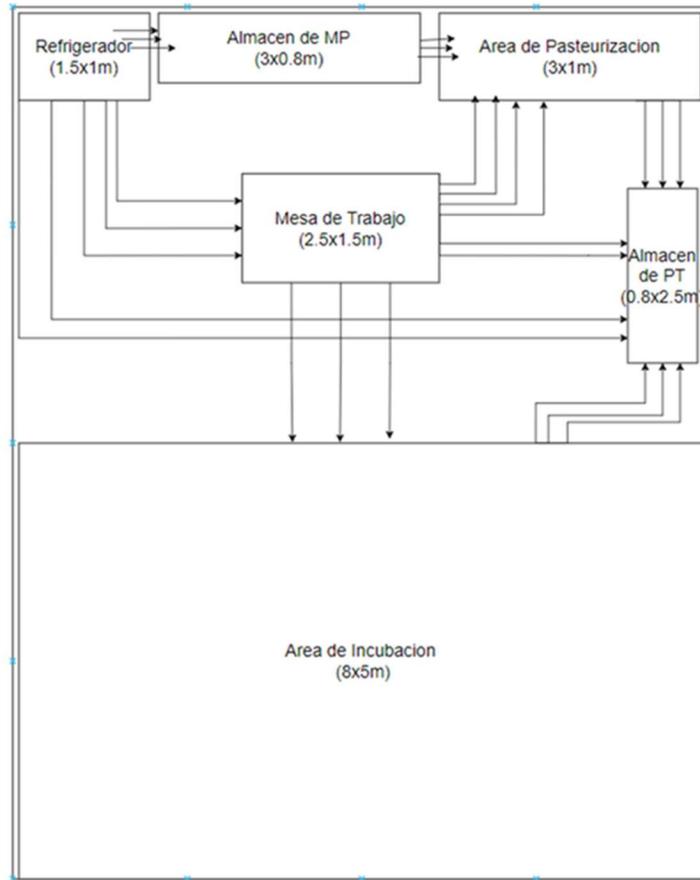


Figura 5. Diagrama relacional de espacios de la planta piloto.

Por último, se propuso la distribución de planta piloto (Fig. 6).

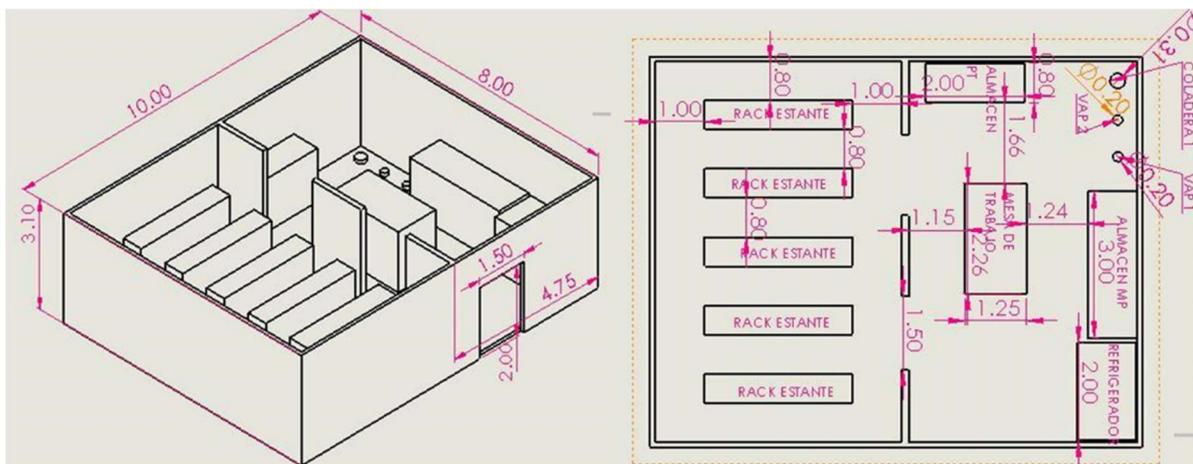


Figura 6. Propuesta de diseño de planta piloto.

4.2 Gestión del tiempo de producción.

Con el propósito de representar gráficamente los acontecimientos que se producen durante la producción dentro de la planta piloto se realizó un diagrama de operaciones de proceso (Fig. 7), contemplando los tiempos para cada actividad (Tab. 1).

Orden	Actividad	Tiempo
1	Sacar los quemadores del Inventario de M.P.	120
2	Posicionar los quemadores en el area de pasteurizacion	60
3	Sacar los soportes de vaporeras	60
4	Posicionar los soportes encima de los quemadores	60
5	Sacar las vaporeras del Inventario de M.P.	120
6	Llevar las vaporeras a la mesa de trabajo	75
7	Sacar la paja del Inventario de M.P	90
8	Llevar a mesa de trabajo	70
9	Acomodar la paja dentro de la vaporera	150
10	Llevar las vaporeras al area de pasteurizacion	60
11	Colocar las vaporeras	60
1	Inspeccionar que este todo bien	60
12	Colocar agua en vaporeras	270
13	Ajustar quemadores	150
2	Inspeccionar agua y quemadores	60
14	Hervir el sustrato	3825
3	Inspeccionar	120
15	Enfriar el sustrato	1800
4	Inspeccionar	30
16	Retirar los residuos de agua a un costado en la coladera	120
17	Llevar a la mesa de trabajo	180
18	Sacar el inoculo del refrigerador e insumos	90
19	Llevar a mesa de trabajo	180
20	Iniciar siembra	600
21	Llevar la siembra al area de incubacion	90
5	Inspeccionar temperatura y humedad	120
22	Esperar al dia siguiente	64800
23	Realizar pequeñas perforaciones	300
6	Inspeccionar crecimiento del primordio	300
24	Realizar agujeros donde haya mayor crecimiento	450
25	Ajustar humedad y temperatura	600
7	Inspeccionar la humedad y temperatura	1200000
8	Inspeccionar setas grandes	1200
26	Ir por las herramientas al Inventario de Producto Terminado	120
27	Llevar al area de incubacion	90
28	Cortar las setas con mayor crecimiento	1200
29	Llevar las setas a la mesa de trabajo	120
30	Retirar residuos no conformes al producto	600
31	Sacar insumos para empaque de I.P.T.	110
32	Llevar insumos a mesa de trabajo	90
33	Empacar para su envio inmediato	1500
9	Inspeccion final	120

Tabla 1. Lista de actividades y tiempo requerido dentro del proceso.

Ingeniería Industrial

Análisis de la percepción de estudiantes de nivel superior ante el uso de las tecnologías de la información y la comunicación en la enseñanza de las ciencias básicas

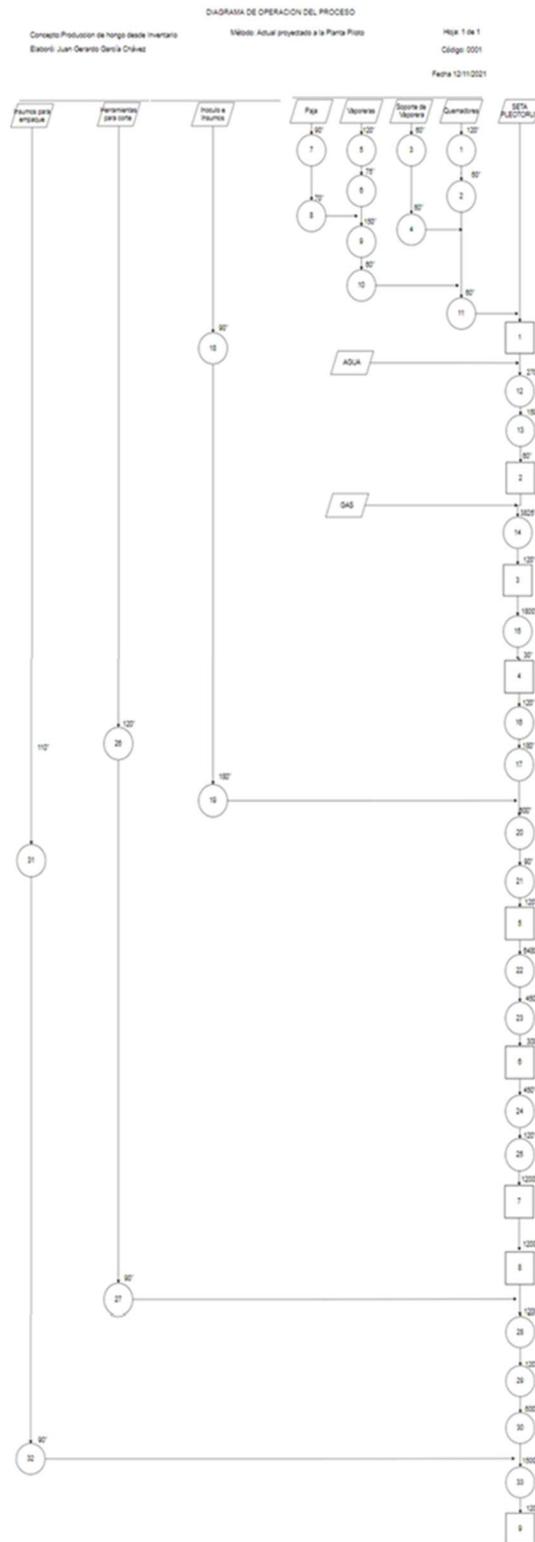


Figura 7. Diagrama de operación del proceso.

Ingeniería Industrial

Análisis de la percepción de estudiantes de nivel superior ante el uso de las tecnologías de la información y la comunicación en la enseñanza de las ciencias básicas

Con los datos anteriores se elaboraron los diagramas PERT y CPM. Analizando los tiempos de cada actividad involucrada para completar el proceso se puede ver que la ruta crítica involucra la parte de incubación que es la que más tiempo consume en el proceso, por lo cual es la que no se puede posponer por ninguna otra actividad, va a ser muy importante al momento de la instalación tratar de estandarizar un tiempo según el comportamiento de la seta con las variables de temperatura y humedad para reducir al máximo posible este tiempo y al momento indicar cuantos procesos se pueden llevar a cabo en ese tiempo para realizar más ciclos de las actividades previas al momento de la incubación o después de la cosecha para reducir tiempos de holgura en la planta piloto (Fig 8).

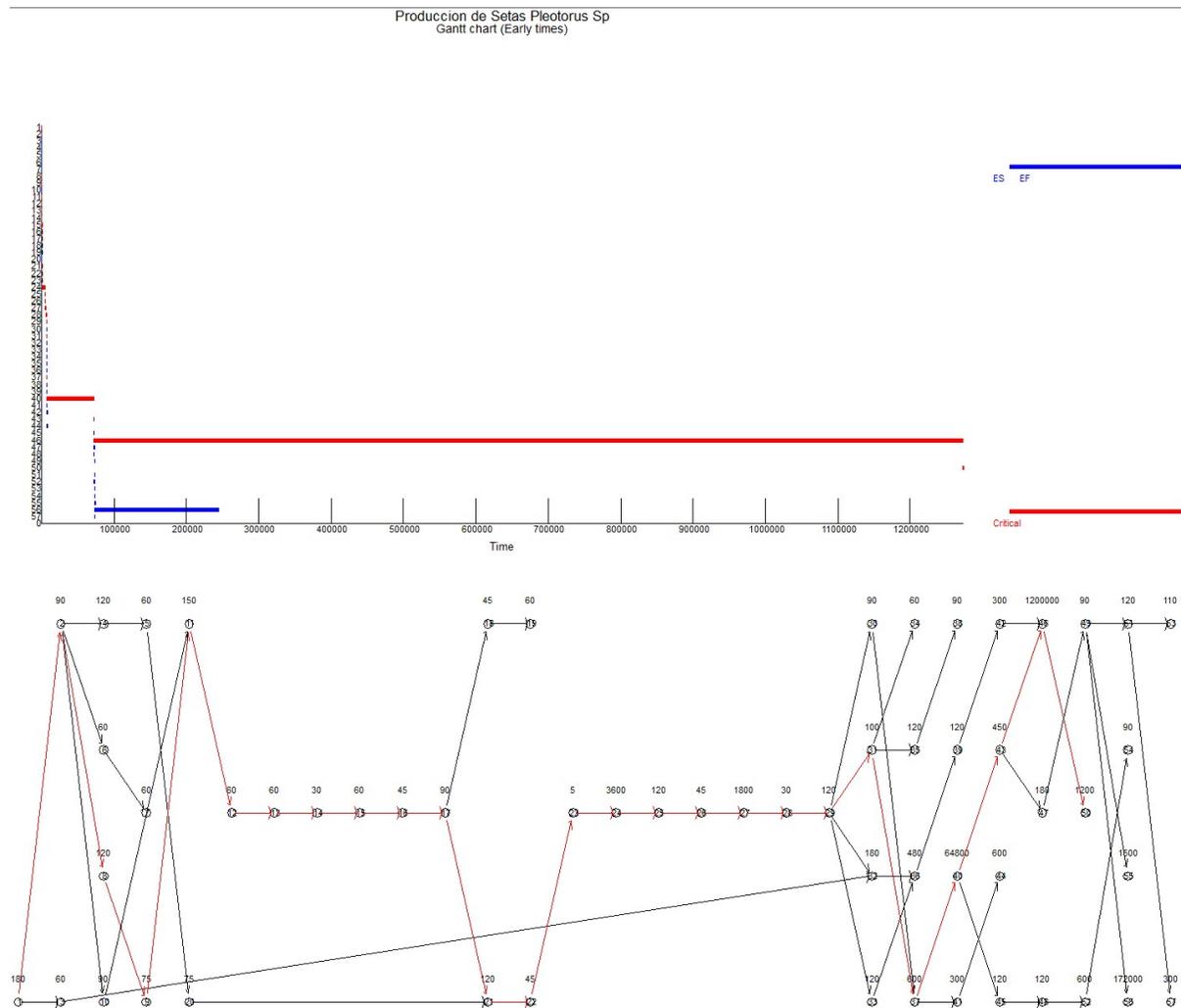


Figura 8. Diagramas PERT y CPM.

4.3 Diagnostico, evaluación y elaboración de propuestas de mejora de diseño.

A partir de la matriz TRIZ nos podemos dar cuenta de que parámetros van a ser los que definirán gran parte de las decisiones para realizar el diseño de planta de la planta piloto de producción. Solamente se toman en cuenta los más importantes o los que más influyan según la matriz (Tab. 2).

Acción preliminar	62
Universalidad	58
Inversión	58
Acción periódica	57
Retroalimentación	50
Homogeneidad	49
Equipotencialidad	48
Expansión térmica	45
Segmentación	44
Calidad Local	39

Tabla 2. Parámetros de importancia según la matriz TRIZ.

A partir de los principales 10 se obtienen las siguientes premisas que van a tener el impacto más grande en el diseño:

a) Acción preliminar:

Ya se tienen las actividades que se tienen que llevar a cabo para la producción de las setas, entonces solo se afirma que se necesita una excelente organización de las áreas y herramientas de la mejor manera para evitar pérdidas de tiempos y/o producto.

b) Universalidad:

Que el objeto realice múltiples funciones, dentro del sistema que es el diseño de una planta piloto, las áreas y herramientas tienen que ejecutar diversas partes del proceso para eliminar la necesidad de utilizar más espacio y/o equipo del requerido.

c) Inversión:

Realizar una acción opuesta a la dictada por las especificaciones del problema. En este caso el área que sea para una actividad tener que invertirla para usarla para otra parte del proceso, invertir todo el espacio disponible para una adaptabilidad rápida al cambio.

d) Acción periódica:

Reemplazar una acción continua por una periódica. Dentro de la planta piloto se tiene que llevar el proceso de forma continua, aunque ya se sabe que se tienen tiempos muertos en la espera para cuando empieza a florecer la seta. Se tiene que hacer el proceso de manera periódica dividiendo

el proceso para poder aprovechar esos tiempos muertos en otras actividades del mismo proceso o en estudios de calidad cuando ya se tenga instalado todo el proceso y elementos.

e) Retroalimentación:

Se tiene que estar introduciendo bastante retroalimentación durante la aplicación del sistema, ya que de manera teórica se está aplicando todo un estudio y varias metodologías, pero si algo no está bien se tiene que modificar para mejorar el proceso, tiempo o resultado final. Por lo tanto, se tendrán que llevar a cabo varios estudios ya sea de calidad, ergonomía, de inversión para conocer cantidades reales durante la operación.

f) Homogeneidad:

Hacer que los objetos interactúen con un objeto hecho del primero o algún material similar en comportamiento. En este caso los hongos al finalizar se tendrán que comercializar por lo cual será difícil que interactúen entre sí, en esa parte, pero como es una planta se tiene que analizar cualquier comportamiento que afecte todo el proceso ya que todo es para una finalidad común, todo el comportamiento será similar y es una interacción continua. Así como los estudios que se tengan que aplicar como Kaizen.

g) Equipotencialidad:

Aprovechar el potencial máximo de cada equipo. En el caso del diseño de planta se tiene que aprovechar al máximo todo el espacio y equipo disponible para maximizar la inversión que se realice. En sí, una mesa de trabajo se está aprovechando para diferentes partes del proceso, las áreas como el área de pasteurización tiene para desechar residuos, etc.

h) Expansión térmica:

Use la expansión o contracción de un material por calor. Para el proceso se tiene que usar el calor suficiente para hacer que la temperatura se mantenga estable y se pueda maximizar los resultados a partir de los cambios químicos del proceso. Además de que algunos sustratos con suficiente calor se aprovechan para su secado, así como para la pasteurización.

i) Segmentación:

Dividir un objeto en partes independientes. Este principio se aplica en diferentes contextos del sistema, para iniciar se tiene que dividir el área total del espacio para cada área de una parte del

proceso y así mismo el área para cada equipo y/o herramienta para que cumpla su función en específico.

j) Calidad local:

Transición de una estructura homogénea de un objeto o medio ambiente externo (acción externa), a una estructura heterogénea, hacer que diferentes partes del objeto lleven a cabo diferentes funciones o colocar cada parte del objeto en las condiciones más favorables para su funcionamiento. En el sistema las diferentes áreas que se tienen estarán disponibles para adaptarse a cualquier cambio, para realizar más funciones para las que están diseñadas principalmente y para que toda la organización del diseño de planta pueda llevarse a cabo en las condiciones más favorables para lograr el mejor resultado.

Por lo anterior, el análisis con la metodología TRIZ reafirma que para la planta piloto es indispensable aprovechar todo el espacio al máximo, hacer adaptable el espacio para cualquier cambio, y de forma continua analizar y realizar estudios en campo para mejorar los resultados.

V. CONCLUSIONES

- Se realizó una propuesta de diseño para la futura construcción de una planta piloto productora de setas comestibles *Pleurotus spp.* El diseño propuesto contempla las principales actividades dentro del proceso.
- Se determinaron los pasos críticos a considerar dentro del diseño de planta, identificándose aquellos en los que es necesario considerar su control.
- Se propuso una serie de medidas a considerar para la mejora del diseño una vez se ponga en marcha la construcción de la planta piloto.
- De manera general las herramientas de diseño y control empleadas en el presente estudio fueron útiles para determinar la viabilidad, en este caso positiva, del proyecto de construcción de una planta piloto para la producción de setas comestibles dentro de las instalaciones del ITPA.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Altshuller GS (1994). And suddenly the inventor appeared. Technical Innovation books, Worcester, MA 01605
2. Anderson, D. R., Sweeney, D. J., Williams, T. A., Camm, J. D., y Martin, K. (2011). *Métodos cuantitativos para los negocios*. Cengage Learning.
3. De León-Monzón, J. H., Sánchez, J. E., y Nahed-Toral, J. (2004). El cultivo de *Pleurotus ostreatus* en los Altos de Chiapas, México. *Revista Mexicana de Micología*, 18(1), 31-38.
4. Domb E, Rantanen K (2002). Simplified TRIZ: New Problem-Solving Applications for Engineers and Manufacturing Professionals, PQR Group, Upland, California, USA.
5. Eaton González, R.; Salmón Peralta, E. 2000. Hongos venenosos del estado de Baja California, del orden Agaricales (en línea). Universidad Autónoma de Baja California. Baja California, México.
6. Gaitán-Hernández, R. S. M. (2006). Manual práctico de cultivo de setas: aislamiento y producción. Xalapa, Veracruz: Instituto de Ecología.
7. Lieberman, G. J., y Hillier, F. S. (2005). *Introduction to operations research* (Vol. 8). New York, NY, USA: McGraw-Hill.
8. López R, A. 1995. Cultivo de setas: alternativa alimenticia de la economía familiar (en línea). Veracruz, México, Universidad Veracruzana, Centro de Genética Forestal.
9. R. Muther, Systematic Layout Planning, New York, NY, USA: CBI Publishing Company, Inc, 1984.
10. Sánchez, J. E. (2012). El aprovechamiento de macromicetos. Una tendencia global en crecimiento. JM Sánchez, Hongos comestibles y medicinales de Iberoamérica, 365-373.
11. Schiess, M. 2006. Hongos comestibles (en línea). Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas. La Pintana, Santiago de Chile.
12. Winston, W. L., y Goldberg, J. B. (2005). *Investigación de operaciones: aplicaciones y algoritmos* (Vol. 4). México, México: Thomson.