

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE INÓCULO DE HONGOS
COMESTIBLES EN LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARIO ANTONIO SOSA PÉREZ

ASESORADO POR: ING. ROBERTO VALLE GONZÁLEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO INDUSTRIAL

GUATEMALA, JULIO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| VOCAL I | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| VOCAL II | Lic. Amahán Sánchez Álvarez |
| VOCAL III | Ing. Julio David Galicia Celada |
| VOCAL IV | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz |
| VOCAL V | Br. Elisa Yazminda Vídez Leiva |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivonne Veliz Vargas |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| EXAMINADOR | Inga. María del Rosario Colmenares Samayoa |
| EXAMINADOR | Inga. Paula Vanesa Ayerdi |
| EXAMINADOR | Ing. Edwin Bracamonte |
| SECRETARIO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DISEÑO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE INÓCULO DE HONGOS COMESTIBLES
EN LA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN
CARLOS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha octubre de 2003.

f. _____

Mario Antonio Sosa Pérez

ÍNDICE GENERAL

| | |
|------------------------------|------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | VI |
| GLOSARIO..... | VII |
| RESUMEN..... | IX |
| OBJETIVOS..... | XI |
| INTRODUCCIÓN..... | XIII |

1. ANTECEDENTES

| | | |
|-----|---|---|
| 1.1 | Introducción al mundo de los hongos..... | 1 |
| 1.2 | Descripción de inóculo..... | 1 |
| 1.3 | Características naturales de crecimiento..... | 2 |
| 1.4 | Historia y aspecto legal del proyecto..... | 2 |

2. SITUACIÓN ACTUAL

| | | |
|-----|-------------------------------------|---|
| 2.1 | Procedimiento actual..... | 5 |
| 2.2 | Instalaciones actuales..... | 7 |
| 2.3 | Cantidad producida actualmente..... | 7 |

3. PROPUESTA

| | | |
|---------|---|----|
| 3.1 | Diseño del proceso de producción | 9 |
| 3.1.1 | Descripción del proceso..... | 10 |
| 3.1.2 | Diagrama de flujo del proceso..... | 10 |
| 3.1.3 | Descripción de cada paso del proceso..... | 12 |
| 3.1.3.1 | La preparación del inóculo..... | 12 |
| 3.1.3.2 | Preparación del inóculo primario..... | 12 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.1.3.3 | Preparación de inóculos secundarios..... | 13 |
| 3.1.3.4 | Preparación del sustrato..... | 13 |
| 3.1.3.5 | Siembra e incubación..... | 14 |
| 3.1.3.6 | Fructificación..... | 14 |
| 3.2 | Diseño del edificio..... | 16 |
| 3.2.1 | Características generales..... | 16 |
| 3.2.2 | Áreas de trabajo..... | 17 |
| 3.2.2.1 | Método SLP de distribución de plantas..... | 18 |
| 3.2.3 | Distribución de la planta..... | 20 |
| 3.2.4 | Tamaño de la planta..... | 20 |
| 3.2.5 | Ventilación natural..... | 23 |
| 3.2.5.1 | Preparación de medios de cultivo..... | 23 |
| 3.2.5.2 | Almacén de medios de cultivo..... | 23 |
| 3.2.5.3 | Laboratorio de aislamiento de cepas y producción de inóculo..... | 23 |
| 3.2.5.4 | Cepario de micelio y esporas | 23 |
| 3.2.5.5 | Laboratorio de incubación de inóculo..... | 24 |
| 3.2.5.6 | Servicio sanitario..... | 24 |
| 3.2.5.7 | Laboratorio de procesamiento de hongos..... | 24 |
| 3.2.5.8 | Área de incubación..... | 24 |
| 3.2.5.9 | Laboratorio de inoculación del sustrato..... | 24 |
| 3.2.5.10 | Área de drenaje, secado y esterilización..... | 25 |
| 3.2.5.11 | Almacén de sustrato crudo..... | 25 |
| 3.2.5.12 | Laboratorio de preparación de sustrato..... | 25 |
| 3.2.5.13 | Sala de atención al público..... | 25 |
| 3.2.5.14 | Oficina..... | 25 |
| 3.2.5.15 | Área de lavado y muerte de medios de cultivo..... | 26 |
| 3.2.5.16 | Invernaderos y planta forestal..... | 26 |
| 3.2.5.17 | Segundo nivel..... | 26 |

| | | |
|----------|---|----|
| 3.2.6 | Iluminación natural | 26 |
| 3.2.6.1 | Laboratorio de preparación de medios de cultivo..... | 27 |
| 3.2.6.2 | Almacén de medios de cultivo | 27 |
| 3.2.6.3 | Laboratorio de aislamiento de cepas y producción de inóculo | 27 |
| 3.2.6.4 | Cepario de micelio y esporas | 27 |
| 3.2.6.5 | Laboratorio de incubación de inóculo | 27 |
| 3.2.6.6 | Servicio sanitario | 27 |
| 3.2.6.7 | Laboratorio de procesamiento de hongos..... | 28 |
| 3.2.6.8 | Área de incubación | 28 |
| 3.2.6.9 | Laboratorio de inoculación del sustrato | 28 |
| 3.2.6.10 | Área de drenaje, secado y esterilización..... | 28 |
| 3.2.6.11 | Almacén de sustrato crudo..... | 28 |
| 3.2.6.12 | Laboratorio de preparación del sustrato..... | 29 |
| 3.2.6.13 | Sala de atención al público..... | 29 |
| 3.2.6.14 | Oficina..... | 29 |
| 3.2.6.15 | Área de lavado y muerte de medios de cultivo..... | 29 |
| 3.2.6.16 | Invernaderos y planta forestal..... | 29 |
| 3.2.6.17 | Segundo nivel..... | 29 |
| 3.2.7 | Techo..... | 30 |
| 3.2.8 | Pisos..... | 30 |
| 3.2.9 | Divisiones internas..... | 30 |
| 3.3 | Condiciones artificiales..... | 31 |
| 3.3.1 | Descripción de los ambientes que requieren condiciones artificiales..... | 31 |
| 3.3.2 | Descripción del sistema de iluminación artificial..... | 32 |
| 3.3.3 | Descripción del sistema de ventilación artificial..... | 32 |
| 3.4 | Condiciones ambientales..... | 32 |

| | | |
|---------|--|----|
| 3.4.1 | Descripción de los ambientes que requieren sistemas de humedad artificial..... | 33 |
| 3.4.2 | Diseño del sistema artificial de humedad..... | 33 |
| 3.5 | Instalaciones eléctricas..... | 33 |
| 3.5.1 | Diseño de la iluminación general..... | 33 |
| 3.5.1.1 | Pasillos primer nivel..... | 33 |
| 3.5.1.2 | Laboratorios del primer nivel..... | 34 |
| 3.5.1.3 | Pasillos segundo nivel..... | 34 |
| 3.5.1.4 | Laboratorios del segundo nivel..... | 35 |
| 3.5.2 | Diseño de tomacorrientes generales..... | 35 |
| 3.5.2.1 | Tomacorrientes en pasillos del primer nivel..... | 34 |
| 3.5.2.2 | Tomacorrientes generales en laboratorios..... | 36 |
| 3.5.2.3 | Tomacorrientes en pasillos segundo nivel..... | 36 |
| 3.5.3 | Descripción del área donde se instalarán equipos especiales..... | 36 |
| 3.5.4 | Cálculo de cargas en área de equipo especial..... | 37 |
| 3.5.5 | Cálculo total de consumo esperado..... | 37 |

4. IMPLEMENTACIÓN

| | | |
|-------|--------------------------|----|
| 4.1 | Equipamiento..... | 43 |
| 4.1.1 | Materiales..... | 43 |
| 4.1.2 | Mobiliario general..... | 43 |
| 4.1.3 | Equipo especial..... | 44 |
| 4.1.4 | Mobiliario especial..... | 44 |
| 4.1.5 | Transporte..... | 45 |
| 4.1.6 | Financiamiento..... | 45 |
| 4.1.7 | Capital de trabajo..... | 45 |

5. SEGUIMIENTO

| | | |
|------------------------------|--|-----------|
| 5.1 | Control de calidad..... | 47 |
| 5.2 | Verificación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a los proyectos de desarrollo del inóculo..... | 48 |
| 5.3 | Verificación del desarrollo del proyecto por organismos internacionales..... | 46 |
| CONCLUSIONES | | 51 |
| RECOMENDACIONES | | 53 |
| BIBLIOGRAFÍA | | 55 |
| APÉNDICE..... | | 57 |
| ANEXOS | | 58 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Diagrama de flujo del proceso actual..... | 06 |
| 2. | Diagrama de flujo del proceso de producción propuesto..... | 11 |
| 3. | Matriz diagonal desarrollada por el método SLP para la distribución de la planta..... | 18 |
| 4. | Diagrama de hilos para la distribución de la planta..... | 19 |
| 5. | Planta de distribución propuesta, primer nivel..... | 21 |
| 6. | Planta de distribución propuesta, segundo nivel..... | 22 |
| 7. | Planta de iluminación, primer nivel..... | 38 |
| 8. | Planta de iluminación, segundo nivel..... | 39 |
| 9. | Planta de distribución de energía, primer nivel..... | 40 |
| 10. | Planta de distribución de energía, segundo nivel..... | 41 |
| 11. | Diagrama de recorrido del producto..... | 57 |

TABLAS

| | | |
|------|--|----|
| I. | Hoja de control para seguimiento del producto..... | 58 |
| II. | Tabla de niveles de iluminación en Lux..... | 59 |
| III. | Tabla de flujo luminoso para lámpara fluorescentes rectas..... | 60 |
| IV. | Calibre del conductor requerido para carga en 230 V..... | 61 |
| V. | Calibre del conductor requerido para carga en 115 V..... | 62 |

GLOSARIO

| | |
|-------------------|--|
| Agar-Malta | Goma obtenida de algas marinas que se utilizan para solidificar nutrientes líquidos mezclados con cebada. |
| Cepa | Conjunto de individuos que presentan un mismo carácter genético. |
| Esporas | Microorganismos que sirven para la reproducción de hongos. |
| Hifas | Filamentos que forman el cuerpo vegetativo de los hongos. |
| Inóculo | Conjunto de microorganismos que son preparados para transmitirse desde un medio artificial hacia medios naturales. |
| Micelio | Talo o cuerpo del hongo; generalmente provienen de la germinación de esporas. |
| Micología | Ciencia que se encarga del estudio de los hongos. |
| Micorriza | Asociaciones de tipo simbiótico entre hongo y plantas. Simbiosis entre una planta y un hongo. |
| Pleroutus | Variedad de hongos comestibles. |
| Simbiosis | Relación de beneficio mutuo entre dos seres vivientes. |

Sustrato

Desecho de pulpa de café, maíz u otro que sirve de base al crecimiento del hongo.

RESUMEN

Inóculo es el conjunto de microorganismos que son preparados para transmitirse desde un medio artificial hacia medios naturales.

La Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC está a cargo del proyecto Hongos Comestibles de Guatemala. Este proyecto se fundamenta en los Acuerdos de Paz suscritos en 1996 y tiene por objeto proveer inóculo a las comunidades rurales del país, para que éstas puedan cosechar hongos comestibles.

El proceso se realiza en cuatro etapas fundamentales: preparación del inóculo, preparación del sustrato, siembra e incubación y fructificación. El material a utilizar para el crecimiento del hongo es la pulpa de café.

Actualmente se lleva a cabo en los laboratorios y pasillos de la Facultad de Farmacia. Por ello se hace necesario construir una planta productora que reúna condiciones técnicas.

El cultivo de hongos requiere un proceso que provea condiciones favorables como humedad, ventilación, temperatura y pH del sustrato.

Al construirse el edificio dentro del campus central de la USAC, deberá cumplir con normas de estética y funcionamiento, además de adecuarse al rol de la docencia. Por ello se combinan los conocimientos de la ingeniería con el criterio de microbiólogos especializados, que actualmente realizan el proyecto bajo condiciones adversas.

Se propone entonces, una distribución de áreas de trabajo y las condiciones requeridas para el desarrollo del proceso en cada ambiente. Se concluye con una propuesta para el control de calidad y seguimiento del producto.

OBJETIVOS

General

Diseñar una planta productora de inóculo de hongos comestibles que permita, a la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC, cumplir con el compromiso de proveer dicho inóculo a las comunidades campesinas dedicadas al cultivo de hongos comestibles.

Específicos

1. Diseñar el proceso de producción de inóculo para hongos comestibles en todas sus etapas.
2. Diseñar las áreas de trabajo que son necesarias para el proceso de producción.
3. Diseñar el tamaño óptimo de la planta; ubicando las áreas de producción, servicios, administración y docencia.
4. Diseñar un sistema adecuado de iluminación y ventilación de acuerdo a las condiciones del proceso de producción.
5. Diseñar un sistema apropiado de instalaciones eléctricas, de acuerdo con el equipo a utilizar en el proceso y calcular el consumo de energía eléctrica total esperado.

6. Determinar el equipo, mobiliario y materiales mínimos para que la planta pueda iniciar operaciones.
7. Crear las condiciones y especificaciones para el control de calidad y seguimiento del producto.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de hongos comestibles constituye una alternativa de alimento a bajo costo y en poco tiempo.

Dentro de los Acuerdos de Paz, la Universidad de San Carlos de Guatemala, se ha comprometido a investigar y transmitir el conocimiento científico a la población de escasos recursos para mejorar su calidad de vida.

La USAC ha avanzado mucho en el estudio microbiológico acerca de la producción de inóculo para producir hongos comestibles. Esto hace necesario la edificación de una planta industrial donde se produzca inóculo para proveer a las comunidades que lo requieran, así como cultivar pequeñas cantidades de hongos que permitan darle seguimiento al proceso de investigación.

El desarrollo de este trabajo, es el diseño de la planta productora. Dicha planta se instalará dentro del campus central de la USAC, razón por la cual se omitió el estudio de localización.

El primer capítulo describe el producto, las condiciones naturales de desarrollo y las bases legales del proyecto.

El capítulo dos, describe el proceso actual y las condiciones en que se realiza.

En el capítulo tres, se diseña la planta productora de acuerdo con los principios de Ingeniería Industrial. Se considera la distribución de la planta, tamaño de la misma, iluminación, ventilación, instalaciones eléctricas, piso y techo.

El capítulo cuatro describe el equipo necesario para que la planta entre en operación. Se incluye un listado de mobiliario y materiales que son necesarios para el proceso.

El capítulo cinco propone los planes para el control de calidad y seguimiento que se haga al producto.

El proceso requirió el aporte de la experiencia y conocimientos especializados de los profesionales del departamento de Microbiología de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC.

1. ANTECEDENTES

1.1 Introducción al mundo de los hongos

La influencia de los hongos en el ambiente es enorme debido a que actúan como descomponedores de materia orgánica contribuyendo a la formación del suelo. Además, constituyen el segundo grupo más numeroso en la tierra después de los insectos.

Los hongos pueden dividirse en tres grandes grupos: los saprófitos, que utilizan la materia orgánica en descomposición; los micorrícicos que forman simbiosis mutualista con las raíces de las plantas; y los parásitos, que atacan a plantas y animales para alimentarse con efectos nocivos para el hospedero.

Por otro lado está su utilidad en la gran variedad de especies comestibles existentes. El valor nutritivo de los hongos se centra en su contenido mineral y vitamínico, similar al de las hortalizas comunes, aunque poseen un mayor contenido de proteína y son bajos en calorías.

1.2 Descripción de inóculo

Inóculo es el conjunto de microorganismos que son preparados para transmitirse desde un medio artificial hacia medios naturales. Generalmente se trabaja con bacterias, virus y hongos.

En Guatemala se han realizado estudios sobre la producción de inóculo primario de hongos comestibles saprófitos utilizando diferentes tipos de granos: soya, trigo, maíz, arroz y cebada en bolsas de polipapel (Bran et. al. 2003 y 2004). También se ha elaborado inóculo de hongos micorrícicos para verificar su eficiencia en plántulas de fin forestal (Flores et. al. 2002).

Actualmente, a través del proyecto USAC-DIGI 2.28 “Hongos Comestibles de Guatemala” se ha logrado aislar y mantener alrededor de 40 cepas de hongos comestibles nativos, lográndose elaborar, con éxito, el inóculo de varias especies (Bran et. al. 2003 y 2004).

1.3 Características naturales de crecimiento

La reproducción es la formación de nuevos individuos con características típicas de la especie progenitora. En el caso de los hongos hay dos tipos de reproducción: sexual y asexual.

De acuerdo con el concepto de asexualidad, los hongos pueden presentar cuatro tipos: a) fragmentación del talo o cuerpo b) división de células somáticas en células hijas c) formación de esporas a partir de una célula somática y d) formación de esporas que se producen sobre hifas modificadas.

En la fragmentación del talo o cuerpo, cada fragmento da lugar a un nuevo individuo. Esta es la forma más comúnmente usada en el laboratorio para propagación de hongos y producción de inóculos.

1.4 Historia y aspecto legal del proyecto

El cultivo de hongos con fines comerciales ha sido poco explotado en Guatemala, a pesar de que constituye una buena opción y alternativa de producción de alimento a bajo costo y en poco tiempo. Además contribuye a la conservación del medio ambiente al utilizar desechos agro-industriales que quedan olvidados o sub-utilizados y que son la causa de grandes problemas de contaminación de aguas, aire y fuente de diversas afecciones.

En la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la Universidad de San Carlos de Guatemala, se ha logrado la producción de inóculo in vitro de algunas especies de hongos.

Pero las instalaciones resultan ahora pequeñas para la demanda de servicio en docencia e investigación. Por ello, la finalidad del presente proyecto es la construcción de una planta piloto para ampliar la producción de inóculo de hongos comestibles que realiza la Facultad, de modo que la Universidad de San Carlos de Guatemala pueda constituirse en una unidad productora de inóculo en mediana escala y así proveer de mejor manera a las comunidades campesinas que lo requieran.

El marco legal para esta labor de la Universidad de San Carlos de Guatemala se fundamenta en los Acuerdos de Paz suscritos en 1996.

El acuerdo sobre identidad y derechos de los pueblos indígenas, apartado III, Derechos Culturales, Sección F, Ciencia y Tecnología, dice:

1. "Se reconoce la existencia y el valor de los conocimientos científicos de los pueblos indígenas; este legado debe ser recuperado, desarrollado y divulgado."

2. “El gobierno se compromete a promover su estudio y difusión y a facilitar la puesta en práctica de estos conocimientos. También se insta a las universidades, centros académicos, medios de comunicación, organismos no gubernamentales y de la cooperación internacional a reconocer y divulgar los aportes científicos y técnicos de los pueblos indígenas.”

3. “Por otra parte, el gobierno posibilitará el acceso a los conocimientos contemporáneos a los pueblos indígenas e impulsará los intercambios científicos y técnicos.”

Es una necesidad urgente que en la USAC se construya una planta productora de inóculo, con invernadero incorporado, para el control de calidad del mismo inóculo.

Debe resaltarse que la preparación del inóculo requiere condiciones de laboratorio particulares y del trabajo de personal capacitado, por lo que esta planta debe edificarse dentro del campus universitario, ya que contará con profesionales especializados y contratados por la misma universidad

Este proyecto conlleva producir inóculo de hongos nativos para la posterior producción de cuerpos fructíferos comestibles por parte de comunidades rurales mediante producción artesanal y en vivero. Obviamente los beneficiados directos de los resultados de este proyecto serán campesinos que quieran dedicarse al cultivo de estos hongos.

2. SITUACIÓN ACTUAL

2.1 Procedimiento actual

El procedimiento químico biológico que se realiza actualmente en la USAC para la producción de inóculo y cultivo de hongos, es el que se recomienda por los especialistas en la materia (Flores et. al. 2002, Bran et. al. 2003).

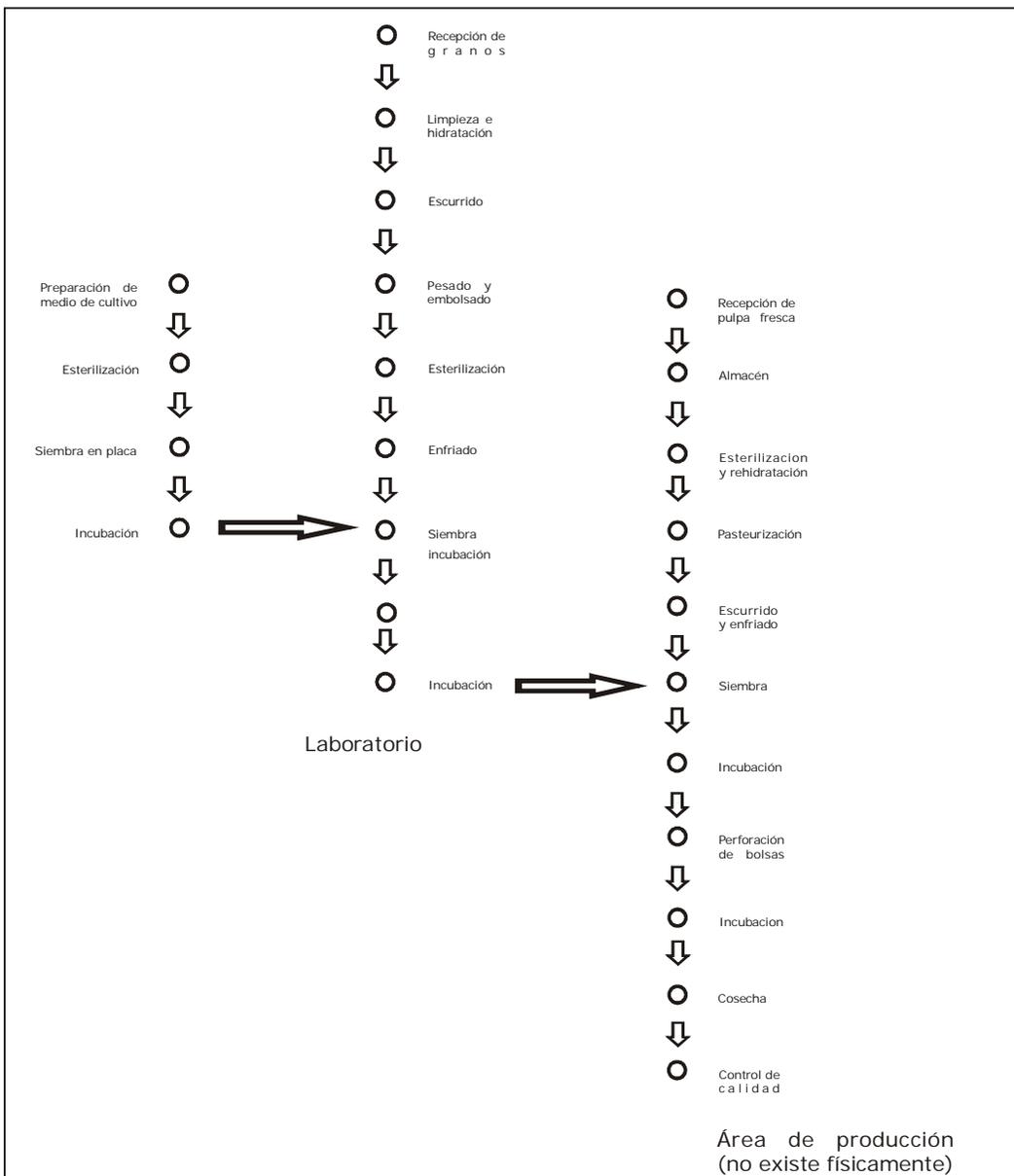
El problema que afronta actualmente la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia para producir inóculo, es que no cuenta con instalaciones exclusivas para este proceso; los procedimientos se realizan compartiendo instalaciones y equipo con estudiantes que efectúan sus actividades regulares. Esto entorpece el proceso, hace grande el riesgo de contaminación, prolonga los tiempos de operación y de transporte. Varias actividades se realizan en los patios y corredores del edificio, lo que reduce en oportunidades el tránsito de personas.

El proceso actual se realiza en cuatro etapas fundamentales que son:

1. Preparación del inóculo: se realiza en el laboratorio y comprende varios pasos específicos.
2. Preparación del sustrato: actualmente se realiza fuera de la USAC, pues ya se compra listo sólo para rehidratar y pasteurizar.
3. Siembra e incubación: se refiere al momento de inocular el sustrato con el hongo, y el tiempo de espera que se da en alguna parte del laboratorio por no contar con sala de incubación.
4. Fructificación: consiste en eliminar las bolsas de polietileno y llevar la masa hongo – sustrato a la sala de fructificación y mantener control sobre: humedad, pH, temperatura, luz y ventilación.

El diagrama de flujo que se presenta en la gráfica 1, es el que se utiliza para producir hongo a partir de pulpa de café que se lleva ya preparada en pequeñas cantidades, a la USAC.

Figura 1. Diagrama de flujo para producción de hongos (plerotus) a partir de pulpa de café utilizado actualmente



2.2 Instalaciones actuales

Como se mencionó en el inciso anterior, físicamente no existen instalaciones destinadas a este proceso. Se comparte tiempo, espacio y equipo con los estudiantes de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia.

Guatemala como país cuenta con varias plantas productoras de inóculo y hongos comestibles de cepas de origen extranjero. Sin embargo, estas plantas productoras, por ser empresas privadas producen con fines lucrativos y sus productos son comercializados muy cercanos al precio de los importados (libra de hongos alrededor de Q 70.00).

Las condiciones de producción actual, dentro de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC evidencian la necesidad de construir la planta productora, pues en las gradas y pasillos puede observarse los insumos y subproductos.

Se enfatiza pues, que no existen instalaciones dedicadas a este proceso.

2.3 Cantidad producida actualmente

La cantidad de inóculo que se produce actualmente es de treinta libras al mes. Esta cantidad sólo puede concebirse como una producción experimental; la cual ha demostrado la viabilidad y necesidad del proyecto. Sin embargo, el proyecto *puirna* 2.28 pretende lograr una producción de cincuenta libras diarias de inóculo para distribuir a las comunidades dedicadas a la cosecha de hongos.

3. PROPUESTA

3.1 Diseño del proceso de producción

El cultivo de hongos con fines comerciales requiere de un proceso sencillo. Básicamente se precisa de una tecnología que involucre el mantenimiento de condiciones climáticas favorables para el desarrollo del hongo: humedad, ventilación, temperatura y el pH del sustrato son factores primordiales que se deben vigilar y mantener constantes para optimizar la producción. Los materiales en nuestro medio para el crecimiento del hongo que pueden utilizarse son varios, entre ellos: la pulpa de café, la mazorca de cacao, paja de trigo y mazorca de maíz.

El micelio del *Plerotus* (uno de los hongos de mayor cultivo a nivel mundial, y que tiene prioridad de cultivo en los proyectos de la USAC, (Bran et. al. 2004)), crece bien en temperaturas que van de 10° C a 40° C; sin embargo, la temperatura óptima oscila alrededor de 25° C. La humedad relativa ambiental debe oscilar entre 65% al 95%.

Los hongos requieren luz de longitudes de onda cortas (cargado hacia el color azul del espectro), por lo que la luz se proporciona con lámparas fluorescentes entre 1500 a 2000 lux.

Tomando en cuenta estos detalles, el diseño del proceso de producción de hongos, particularmente de *Plerotus* exige la construcción de instalaciones especiales en un edificio apropiado.

3.1.1 Descripción del proceso

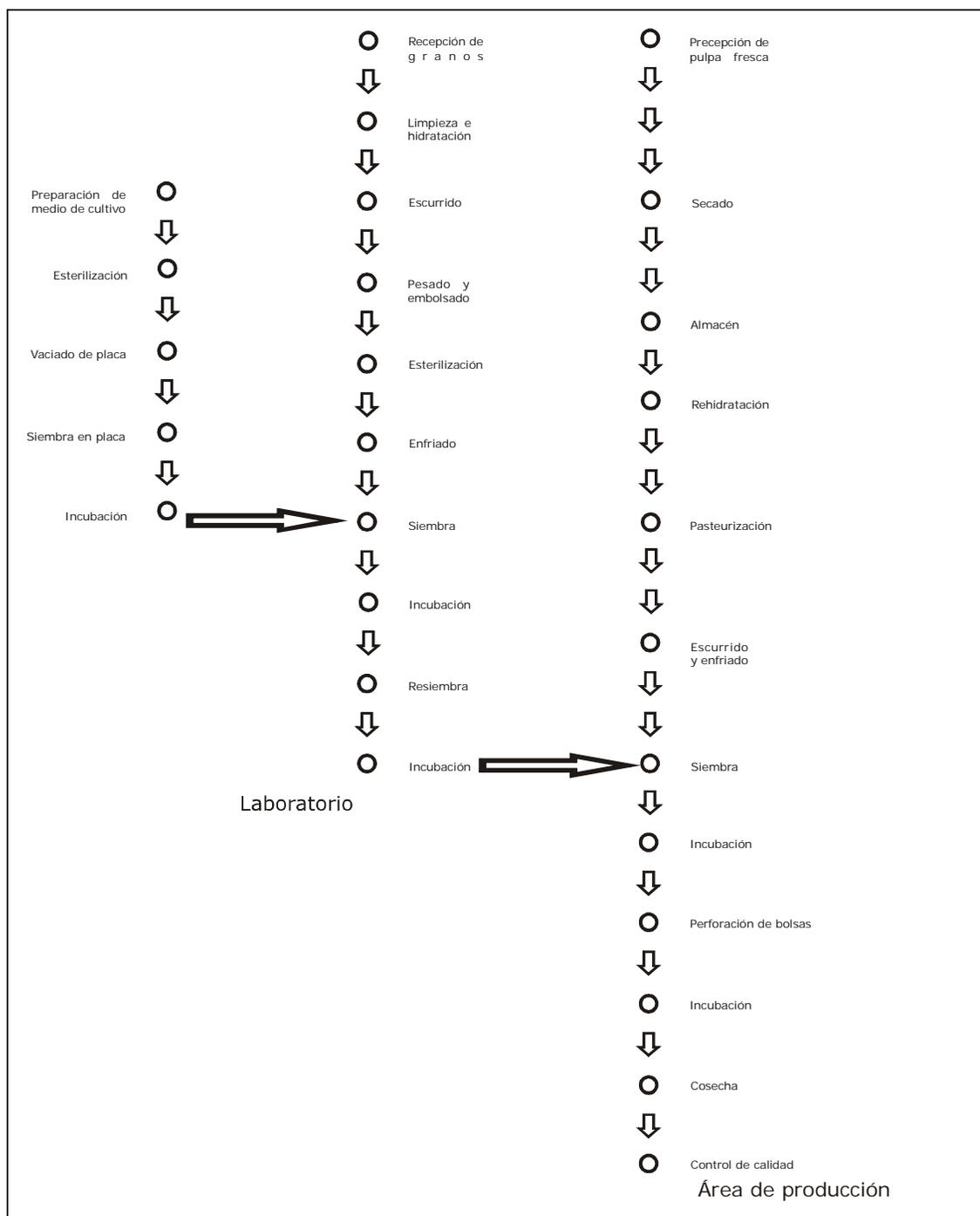
La producción de hongos comestibles consta de cuatro etapas fundamentales:

- 1) Preparación del inóculo
- 2) Preparación del sustrato
- 3) Siembra e incubación
- 4) Fructificación

3.1.2 Diagrama de flujo del proceso

El diagrama de flujo para el proceso propuesto, se presenta a continuación.
(Ver página siguiente)

Figura 2. Diagrama de flujo para producción de hongos (plerotus) a partir de pulpa de café propuesto



3.1.3 Descripción de cada paso del proceso

En el inciso 3.1.1 se mencionó que las cuatro etapas fundamentales del proceso de producción son: preparación del inóculo, preparación del sustrato, siembra e incubación y fructificación.

Ahora se explicarán cada uno de estos pasos.

3.1.3.1 La preparación del inóculo

Esta etapa debe efectuarse en condiciones de extremo cuidado en laboratorio. Se refiere a la siembra y propagación del micelio del hongo a partir de un tubo de ensayo que contenga la cepa original en óptimas condiciones fisiológicas (proceso bioquímico).

La siembra se hace en caja de petri sobre agar malta, agar papa dextrosa u otro que se elija. Se incuba a 28° C durante 8 días aproximadamente en oscuridad. Al cabo de este período, el hongo se resiembra en un sustrato intermedio (grano de trigo, arroz, sorgo, maíz u otro) en cantidad suficiente para que una vez desarrollado su micelio, la mezcla grano hongo se use como semilla en la siembra del sustrato definitivo.

3.1.3.2 Preparación del inóculo primario

El grano elegido como sustrato intermedio, se rehidrata en agua pura (durante 15 horas para el caso del sorgo o 24 horas para el maíz). Se deja después escurrir para eliminar el exceso de agua, se pesa en proporciones de 200 gramos y se introduce en bolsas de polipapel.

Posteriormente se esteriliza a 121° C durante 30 minutos. Se deja enfriar y se inocula en condiciones de asepsia rigurosa, con un centímetro cuadrado de micelio de hongo que se ha cultivado previamente en caja de petri. Cada porción de 200 gramos inoculada y debidamente embolsada se incuba durante 10 a 15 días a 28° C en oscuridad. A cada porción así preparada se denomina inóculo primario.

3.1.3.3 Preparación de inóculos secundarios

A partir de un inóculo primario, en el que el hongo debió desarrollarse satisfactoriamente, se pueden tomar estérilmente de ocho a diez porciones de grano para ser sembradas en el mismo número de bolsas que contengan el sustrato intermedio estéril. Esta nueva porción se incuba a las mismas condiciones que los primarios. Una vez crecido el hongo, a estos segundos paquetes de grano hongo se les denomina “inóculos secundarios”.

La utilización de inóculos secundarios, como semilla para siembra en el sustrato definitivo, es ampliamente recomendada ya que disminuye el consumo de medios sintéticos. La propagación del hongo en el inóculo secundario es más rápido porque ya está adaptado al grano. Se puede inocular mayor cantidad de porciones y además la transferencia de primario a secundario es más sencilla y menos delicada que la transferencia de caja de petri a primario.

3.1.3.4 Preparación del sustrato

Esta parte comprende la fermentación (en el caso de pulpa de café o el bagazo de caña), el secado y la fracturación (en el caso de la cáscara de cacao, o el olote de maíz), así como la hidratación, escurrimiento, la pasteurización y finalmente el enfriamiento de los materiales que servirán como soporte para el crecimiento y fructificación del hongo.

La pasteurización es una actividad importante. Su función es eliminar organismos que puedan competir con el hongo en la utilización del sustrato. Se pone a calentar agua suficiente para que cubra la totalidad del lote de sustrato por pasteurizar. Cuando el agua alcanza 90°C se agrega el sustrato ya embolsado y se mantiene a esa temperatura durante un mínimo de 40 minutos.

3.1.3.5 Siembra e incubación

La etapa de siembra e incubación se refiere al momento de inocular el sustrato con el hongo y al período de espera o reposo que se debe dar al sustrato inoculado para permitir el adecuado desarrollo del micelio. La siembra se realiza agregando y distribuyendo en capas alternas los doscientos gramos de un inóculo secundario en 4 a 7 Kg. de sustrato.

La mezcla sustrato-inóculo secundario se acomoda dentro de una bolsa de polietileno (tamaño 50 x 60 cm aproximadamente). Al terminar la siembra, la bolsa se cierra por medio de un nudo, teniendo cuidado de eliminar el aire del interior. La incubación de las bolsas inoculadas se realizará en la “sala de incubación” donde se colocan los paquetes a 28°C durante 10-15 días, según el sustrato. Durante la incubación, dos días después de haber efectuado la siembra se hacen unas 80 perforaciones perfectamente distribuidas (con una aguja o navaja estéril) sobre toda la superficie de cada bolsa. Esto es para permitir un mejor intercambio gaseoso y un mejor crecimiento del hongo.

3.1.3.5 Fructificación

Después de la incubación, cuando ya ha crecido bien el micelio y ha formado una superficie blanco algodonosa que cubre totalmente el sustrato, es el momento de eliminar la bolsa de polietileno y pasar la masa de hongo-sustrato formada, hacia la sala de fructificación.

La sala de fructificación debe ser un área amplia, dedicada exclusivamente a este propósito. Debe mantenerse bajo condiciones bien controladas de humedad, de ventilación, de temperatura así como de iluminación.

Las condiciones recomendadas son:

| | |
|----------------------|--|
| Humedad del sustrato | 50% |
| pH del sustrato | 6.5 – 7.00 |
| Humedad relativa | 85% - 90% |
| Temperatura | 25°C – 30°C |
| Luz | 1500 – 2000 lux (suficiente para leer) |
| Ventilación | 4 a 6 veces el volumen de la sala por hora |

La ventilación tiene como objetivo eliminar el dióxido de carbono, generado por la respiración del hongo y renovarlo por aire puro. Una ventilación insuficiente propicia la acumulación de dióxido de carbono y el exceso de ventilación produce el resecamiento del sustrato.

Otro aspecto importante es el riego, aunque sea sólo en algunas horas del día, es necesario aplicar riegos en el cuarto de fructificación para aumentar la humedad y evitar el resecamiento del sustrato. Los riegos deben hacerse por medio de pulverización hacia el ambiente. Es necesario instalar un higrómetro y estar pendiente que la humedad nunca sea inferior al 80%.

Dos días después de haber llevado los pasteles a la sala de fructificación y de haberse eliminado la bolsa de polietileno, empiezan a aparecer los primeros cuerpos fructíferos (primarios). Cuatro días después los primarios se han desarrollado bien; cubren la totalidad de la superficie del pastel y estarán en madurez comercial listos para ser cosechados.

3.2 Diseño del edificio

Basados en las actividades representadas en la figura del diagrama de flujo (figura 2) y considerando el aspecto docente, experimental y de intercambio de información que se desarrollará en la planta, se requieren las siguientes áreas de trabajo:

1. Área de laboratorio, donde se concentra el trabajo para la producción de inóculo.
2. Área de almacenamiento de componentes microbiológicos.
3. Área de tratamiento del sustrato, en donde se realizan las actividades de secado, rehidratación, fragmentación, pasteurización y otras.
4. Área de producción, en donde se realizan las actividades necesarias para el crecimiento y fructificación del hongo.
5. Área de conservación y empaque del producto.
6. Bodega de materiales y componentes voluminosos.
7. Área administrativa.
8. Área de docencia e intercambio de información.
9. Área de servicios.

3.2.1 Características generales

Para el mejor aprovechamiento del espacio la planta será de dos niveles con construcción de primera categoría. Para proporcionar impermeabilidad, aislamiento térmico, aislamiento acústico, duración y seguridad, el techo será de concreto armado.

3.2.2 Áreas de trabajo

Previo al cálculo del edificio, se han definido las áreas que se utilizan en cada una de las zonas, en base a los requerimientos de laboratorio, proceso e información. Es decir, el tamaño mínimo del mobiliario y equipo a utilizar en cada puesto de trabajo (incubadoras, esterilizadoras, pasteurizadoras y otros).

En los espacios destinados para la pasteurización y para la producción de inóculo debe tomarse en cuenta el tiempo- movimiento- duración de la operación y el volumen manejado por persona.

Las áreas donde se manipula el sustrato, se incrementan de manera proporcional al volumen de éste (almacén, incubación, fructificación, etc.).

El volumen de producción máxima, técnicamente permisible en la sala de fructificación sería de 25 Kg/día. Para controlar los parámetros operativos en producciones mayores es mejor tener varias salas con un máximo de 25 m². La sala de incubación deberá guardar una proporción de aproximadamente la mitad de la sala de fructificación.

Para el caso concreto de producción de inóculo y de cuerpos fructíferos para verificación, la distribución de la planta que resulta más conveniente es la de proceso (Baca, 1990), ya que se agrupa a las personas que realizan tareas similares, el trabajo es intermitente y presenta flexibilidad a cambios en el proceso. Además la distribución por proceso permite reducir al mínimo posible el costo del manejo de materiales.

Los métodos para realizar la distribución por proceso son el diagrama de recorrido y el SLP (Systematic Layout Planning) (Baca, 1990).

3.2.2.1 Método SLP de distribución de plantas

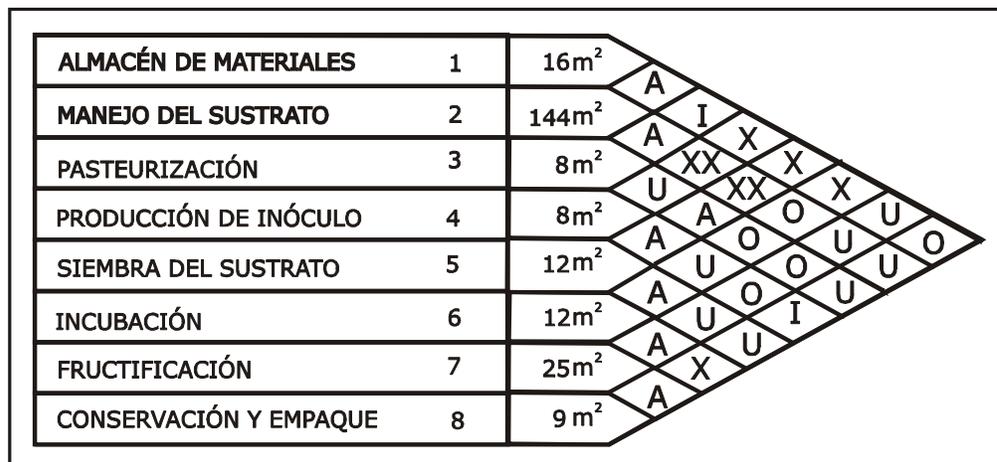
Este método propone distribuciones con base en la conveniencia de cercanía entre los departamentos. Se emplea la simbología internacional:

| | |
|--------------|--------------------------------|
| <i>Letra</i> | <i>Orden de proximidad</i> |
| A | Absolutamente necesario |
| E | Especialmente importante |
| I | Importante |
| O | Ordinaria o normal |
| U | Unimportante (sin importancia) |
| X | Indeseable |
| XX | Muy indeseable |

Pasos a seguir

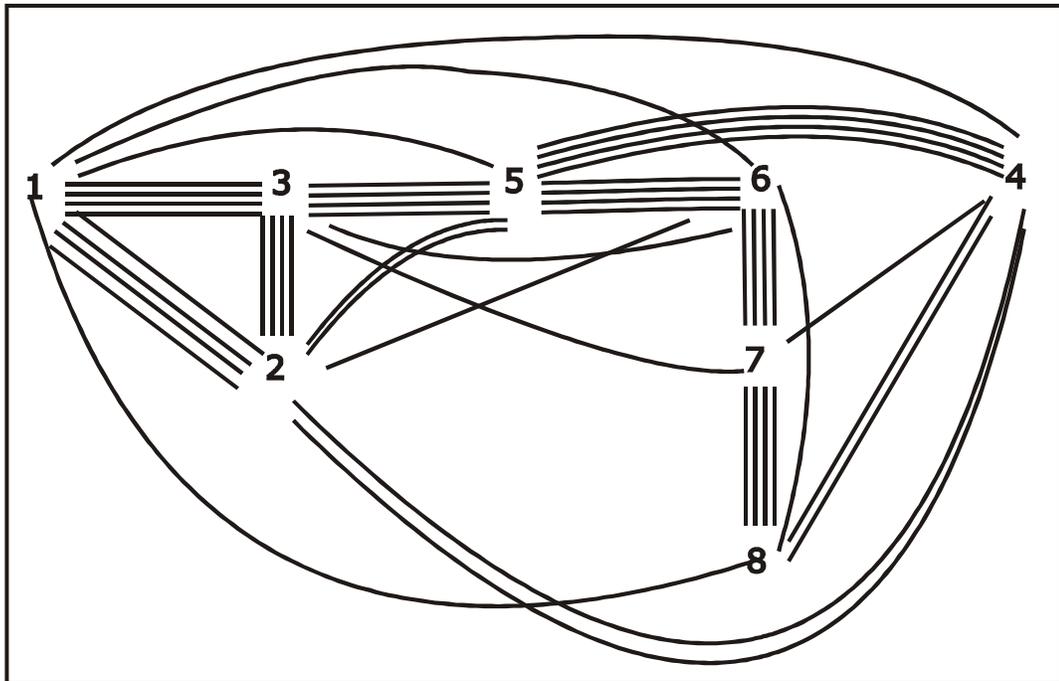
1. Se construye una matriz diagonal. La matriz tiene tal forma, que por medio de ella están relacionados todos los espacios de trabajo de la planta.
2. Se llenan los cuadros de la matriz (diagrama de correlación) con la letra del código de proximidad que se considere más acorde con las necesidades de cercanía entre las áreas

Figura 3. Matriz diagonal desarrollada por el método SLP para la distribución de una planta productora de hongos.



3. Se construye un diagrama de hilos usando el valor de las líneas de código de proximidad.

Figura 4. Diagrama de hilos desarrollado por el método SLP para la distribución de una planta productora de hongos



4. El diagrama de hilos debe coincidir con el de correlación en lo referente a la proximidad de las áreas. Ésto se considera la base para proponer la distribución.
5. La distribución propuesta es óptima cuando las proximidades coinciden en ambos diagramas y en el plano de la planta.

Este método se desarrolla por prueba y error, por lo que intervienen la experiencia, el ingenio y el sentido común del diseñador, ya que no siempre es posible hacer la distribución siguiendo fielmente los resultados cuantitativos.

En el caso de nuestra planta productora de inóculo para hongos comestibles, debe contar con el área para verificación de producción, así como de otras sub-áreas donde ha sido determinante el criterio de microbiólogos especializados. Debe recordarse además que la planta estará ubicada dentro del campus de la USAC, por lo que deben considerarse ambientes académicos y de usos varios, así como la importancia de ubicación de los ventanales, ya que los vientos predominantes en el campus vienen del norte, lo que puede ser un factor de contaminación por partículas de polvo y gérmenes en el proceso.

3.2.3 Distribución de la planta

De acuerdo a lo expuesto, se propone a continuación la distribución de la planta para producción de hongos en la USAC. (Ver figura 5)

3.2.4 Tamaño de la planta

Las variables analizadas para decidir este aspecto fueron:

1. Áreas mínimas requeridas para cada paso del proceso de producción.
2. Espacios administrativos necesarios.
3. Salones de docencia.
4. Áreas de servicio.
5. Costo del terreno dentro de la USAC.
6. Diseño típico de los edificios dentro del Campus de la USAC.
7. Normas de seguridad e higiene industrial.

Para cubrir todos estos aspectos, el área mínima requerida es de aproximadamente 800 m², por lo que se ha optado por un edificio de dos niveles para reducir a la mitad el terreno a utilizar.

Figura 5. Planta general primer nivel

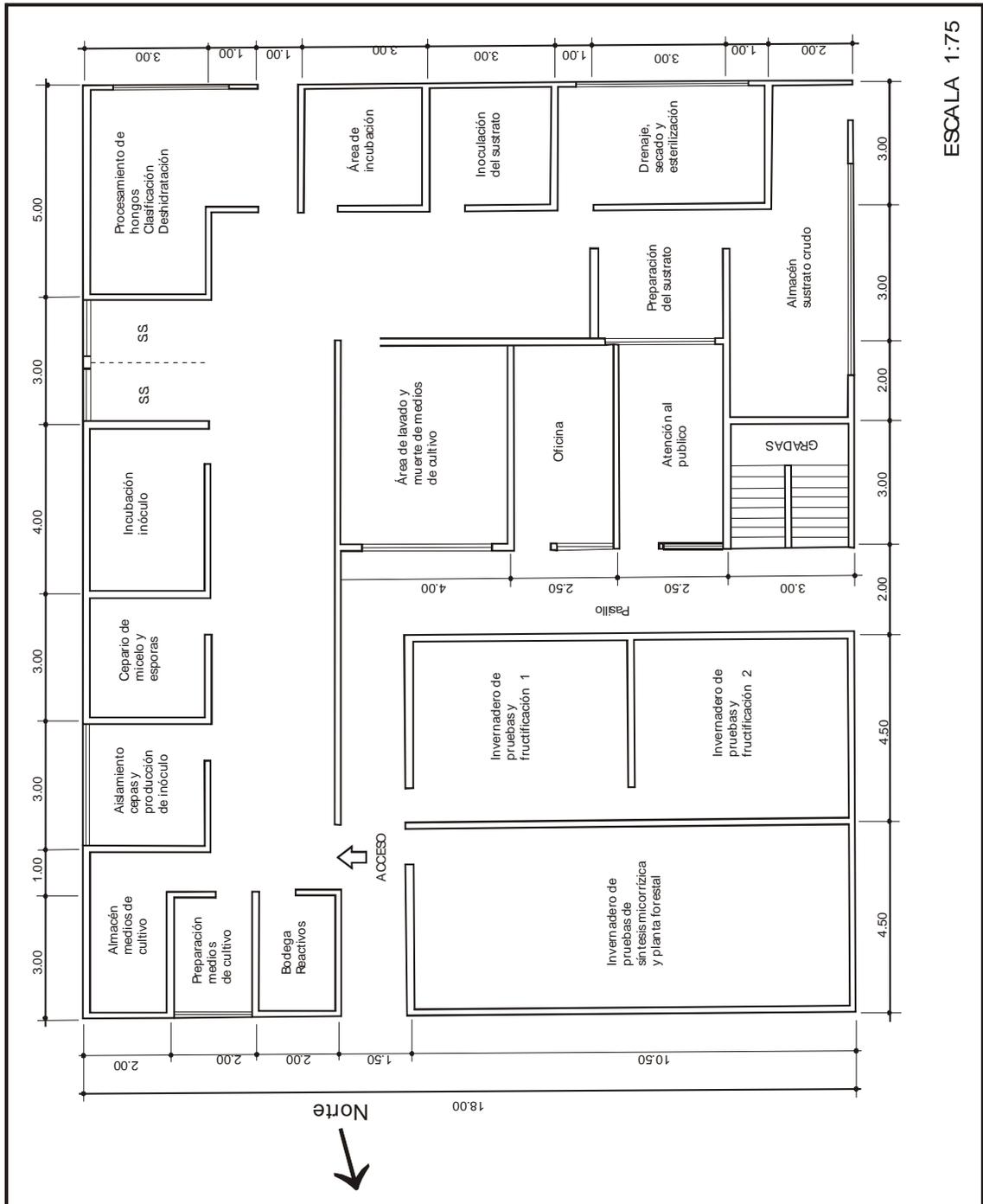
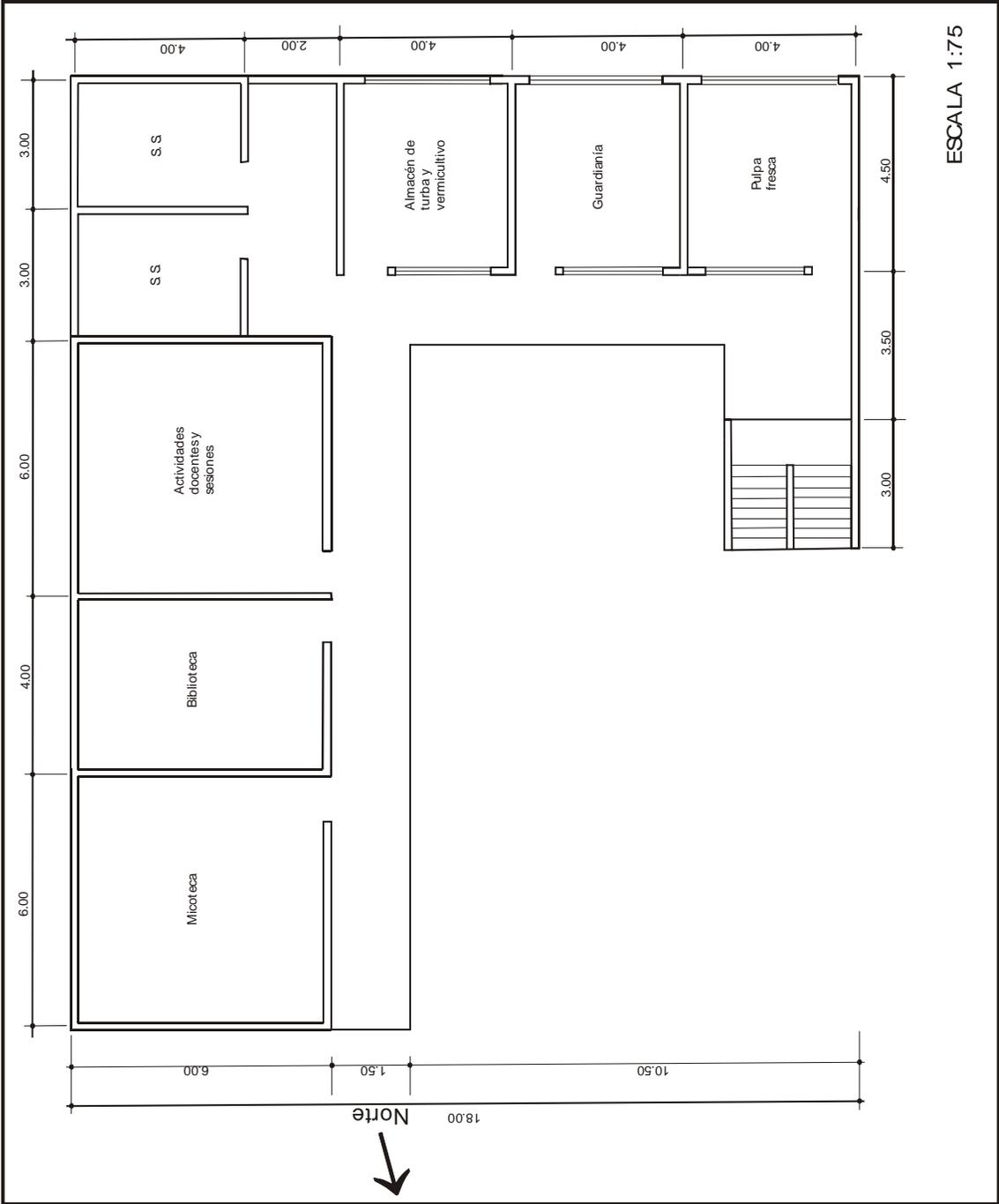


Figura 6. Planta general segundo nivel



3.2.5 Ventilación natural

3.2.5.1 Preparación de medios de cultivo

Este laboratorio necesita la ventilación necesaria para que una persona trabaje con comodidad. Contará con una ventana hacia el exterior, la cual será de paletas de vidrio para operarla según las necesidades.

El sillar estará a 1.6 m del piso y el dintel a la altura del techo; lo que dará un área de 1.8 m de largo por 1.4 m de alto (2.5m²).

3.2.5.2 Almacén de medios de cultivo

Este ambiente será completamente cerrado (sin ventanas). Con techo, piso y paredes de azulejo para evitar contaminación por humedad. Por lo tanto, no existe ventilación natural.

3.2.5.3 Laboratorio de aislamiento de cepas y producción de inóculo

Para evitar entrada de polvo, este laboratorio tendrá ventana hacia el exterior con vidrios fijos. La ventana hacia el exterior tendrá sillar a 1.6 m de altura con largo de 2.6 m y dintel a la altura del techo. El área de la ventana entonces será de 3.6 m², lo cual permitirá una adecuada iluminación natural.

3.2.5.4 Ceparío de micelio y esporas

Para evitar entrada de polvo o microorganismos, este ambiente carece de ventanas. Las paredes, el piso y el techo serán recubiertas con azulejo, por la misma razón anotada en el numeral 3.2.5.2.

3.2.5.5 Laboratorio de incubación de inóculo

Este ambiente tampoco permite la ventilación. Por lo tanto no tendrá ventanas. Las paredes piso y techo serán recubiertas con azulejo.

3.2.5.6 Servicio sanitario

La ventilación es convencional, por lo tanto, la ventana al exterior tendrá 2.2 m de altura de sillar con dintel a la altura del techo y largo de 1m. (1m largo x 0.8 m de ancho).

3.2.5.7 Laboratorio de procesamiento de hongos

Este ambiente necesita ventilación e iluminación natural. Tendrá una ventana lateral con sillar de 1.6 m de alto y dintel a la altura del techo. Todas las ventanas serán de paletas de vidrio.

3.2.5.8 Área de incubación

Este ambiente no debe tener ventilación pues en el aire podrían ingresar microorganismos extraños al proceso. Las paredes, el piso y el techo serán recubiertos con azulejo.

3.2.5.9 Laboratorio de inoculación del sustrato

Este laboratorio también será completamente cerrado con paredes, piso y techo recubiertos con azulejo.

3.2.5.10 Área de drenaje, secado y esterilización

Este ambiente necesita ventilación natural. Se ha diseñado para que el techo sea más alto para contar con una ventana superior hacia el lado interno. También contará con una ventana de 4 m de largo y 2 m de alto en la parte exterior sur. El sillar estará a 1.6 m de alto. Todas las ventanas serán de paletas para permitir que al abrirse exista renovación de aire.

3.2.5.11 Almacén de sustrato crudo

Este almacén tendrá ventilación natural hacia el lado poniente con ventana de 5m de largo x 1.20 m de alto; es decir, el sillar tendrá 1.8 m de alto. La ventana será de paletas.

3.2.5.12 Laboratorio de preparación de sustrato

Este laboratorio tendrá ventilación natural a través de una ventana superior en el desnivel del techo. Dicha ventana tendrá 2.5 m de largo y 0.6 m de alto. La ventana será de paletas.

3.2.5.13 Sala de atención al público

Esta sala tendrá una ventana frontal de 1.4 m de largo por 2 m de alto. El sillar estará a 1 m de alto y el dintel a la altura del techo. La ventana será de paletas.

3.2.5.14 Oficina

La oficina tendrá una ventana frontal de 1.4 m de largo por 2 m de alto. El sillar 1 m de alto y el dintel a la altura del techo. La ventana será de paletas.

3.2.5.15 Área de lavado y muerte de medios de cultivo

Esta sala tendrá una ventana frontal de 3 m de largo por 2 m de alto. El sillar estará a 1 m de alto y el dintel a la altura del techo. La ventana será de paletas.

3.2.5.16 Invernaderos y planta forestal

La ventilación de estas áreas es casi total, ya que estarán recubiertos por un domo de zarán. Los invernaderos tendrán un muro perimetral de 1 m de alto y el complemento de alto será el domo de zarán.

3.2.5.17 Segundo nivel

El segundo nivel será ocupado esencialmente para actividades técnico administrativas. Sólo corresponden al proceso de producción, la bodega de pulpa fresca y el almacén de turba y vermiculita, los cuales necesitan suficiente luz y ventilación natural. Por eso todo, el segundo nivel tendrá ventanales de sillar a 1 m del piso y dinteles a la altura del techo. Se exceptúan los servicios sanitarios que tendrán ventanas con sillar a 2 m del piso. Todas las ventanas serán de paletas.

3.2.6 Iluminación natural

Todas las ventanas fueron calculadas en el diseño de ventilación natural. Ahora sólo se hará mención del material a utilizar.

3.2.6.1 Laboratorio de preparación de medios de cultivo

Este laboratorio cuenta con una ventana de 1.8 m de largo x 1.4 m de alto. Se colocará vidrio transparente para aprovechar la luz natural. Los marcos serán de aluminio anodizado.

3.2.6.2 Almacén de medios de cultivo

Este ambiente será completamente cerrado (sin ventanas), por lo tanto, no existe iluminación natural.

3.2.6.3 Laboratorio de aislamiento de cepas y producción de inóculo

Este ambiente contará con luz natural para trabajar tareas visuales con objetos pequeños (5,000 lux aproximadamente). La ventana hacia el exterior tendrá un área de 6 m² con vidrios fijos.

3.2.6.4 Ceparío de micelio y esporas

Este ambiente no tendrá iluminación natural.

3.2.6.5 Laboratorio de incubación de inóculo

Este ambiente tampoco tendrá iluminación natural.

3.2.6.6 Servicio sanitario

La ventilación es convencional; la ventana al exterior tendrá el sillar a 2 m de altura y dintel a 2.6 m.

3.2.6.7 Laboratorio de procesamiento de hongos

La iluminación requerida es alrededor de 5,000 lux. Contará con una ventana lateral con sillar a 1.5 m de alto y dintel a la altura del techo, el largo será de pared a pared (es decir 4.8 m x 1.5 m). También contará con ventana frontal de 2 m x 3 m.

3.2.6.8 Área de incubación

Este ambiente no tendrá iluminación natural.

3.2.6.9. Laboratorio de inoculación del sustrato

También será completamente cerrado, sin luz natural.

3.2.6.10 Área de drenaje, secado y esterilización

Este sector tendrá iluminación natural. En la parte exterior sur contará con ventana de 4 m de largo y 2 m de alto. También contará con una ventana de 4 m x 0.6 en el lado superior hacia el norte.

3.2.6.11 Almacén de sustrato crudo

Este almacén contará con ventana hacia el lado exterior (poniente) de 5m de largo x 1 m de alto.

3.2.6.12 Laboratorio de preparación del sustrato

Este laboratorio no tendrá iluminación natural, pues la actividad en él es de tipo manual muy sencilla. Esencialmente consiste en el llenado de bolsas de polipapel con el sustrato. Por ello se ha ubicado al inicio del pasillo, para así aprovechar mayor área.

3.2.6.13 Sala de atención al público

Esta sala tendrá una ventana frontal de 1.4 m de largo x 2 m de alto. El sillar estará a 1 m de alto y el dintel a la altura del techo.

3.2.6.14 Oficina

La oficina administrativa tendrá una ventana frontal de 1.4 m de largo x 2 m de alto.

3.2.6.15 Área de lavado y muerte de medios de cultivo

Esta sala contará con una ventana frontal de 3 m de largo x 2 m de alto.

3.2.6.16 Invernaderos y planta forestal

La iluminación de esta área es casi total pues estarán recubiertas por un domo de zarán. En el mercado puede encontrarse zarán del 60% de luz hasta el 90%. En nuestro caso se utilizará el 70% de luz.

3.2.6.17 Segundo nivel

El segundo nivel será ocupado para actividades técnico administrativas.

La bodega de pulpa fresca y el almacén de turba y vermiculita son los únicos ambientes que corresponden al proceso industrial. Sin embargo, éstos funcionan con buena iluminación natural. Por ello, todo el segundo nivel tendrá ventanales con sillar a 1 m del piso y dinteles a la altura del techo. Se exceptúan los servicios sanitarios (ver plano de planta de conjunto).

3.2.7 Techo

De acuerdo con los requerimientos establecidos en el numeral 3.2 el techo debe ser de concreto armado. Esto permite impermeabilidad, aislamiento, duración, seguridad y estética.

3.2.8 Pisos

La carga viva sobre los pisos, en ningún caso excederá las 75 lb/pie² que se consideran el límite para cargas livianas. Por lo tanto, los pisos serán de granito para que las superficies sean lisas, fáciles de limpiar y mantener. Solo en algunas áreas especiales que se mencionaron en ventilación natural e iluminación natural el piso será recubierto de azulejo. En todos los casos el piso será de color claro para reflejar la mayor cantidad de luz cuando sea necesario.

3.2.9 Divisiones internas

La naturaleza del proceso de producción, requiere que cada área de trabajo sea aislada de las otras.

Por esto las divisiones internas deberán construirse con paredes formales, que pueden ser de ladrillo o de concreto.

3.3 Condiciones artificiales

Las condiciones artificiales se refieren a la adecuación que ciertos ambientes dentro de la planta deberán tener para que el inóculo se desarrolle en un medio controlado que optimice el proceso. Es el caso de humedad, temperatura, luz y ventilación.

3.3.1 Descripción de los ambientes que requieren condiciones artificiales

Almacén de medios de cultivo, cepario de micelo y esporas, laboratorio de incubación de inóculo.

En estos ambientes, se requiere mantener una temperatura ambiente entre 20°C y 30°C; por lo que deberán equiparse con campanas de flujo.

La iluminación artificial se refiere a los ambientes que necesitan luz todo el tiempo, pues los procesos deben realizarse de día y de noche.

Estos son ambientes de crecimiento natural de las plantas, trabajo de laboratorio y trabajo administrativo.

La humedad por aspersión es necesaria en la sala de fructificación, por lo que se instalará una tubería de P.V.C. de ½ pulgada de diámetro en la parte alta de las paredes con puntos de aspersión colocados a 1 m de distancia entre sí.

Para eliminar el exceso de dióxido de carbono en la sala de fructificación deberá instalarse un extractor de aire capaz de remover 6 veces por hora el volumen del aire de la sala de fructificación.

3.3.2 Descripción del sistema de iluminación artificial

La planta de producción propiamente dicha satisface sus necesidades de iluminación artificial con candelas fluorescentes de 40 Watts instaladas en lámparas de techo de dos candelas.

La sala de fructificación deberá estar iluminada todo el tiempo con cuatro pares de lámparas de las mencionadas para proporcionar entre 1500 a 2000 lux. Del mismo modo se iluminará todo el edificio (así se usa en toda la USAC) para aprovechar la eficiencia del alumbrado fluorescente que redundará en bajo consumo de energía eléctrica.

3.3.3 Descripción del sistema de ventilación artificial

La sala de fructificación necesita que se elimine el exceso de dióxido de carbono. Por ello se recomienda que el volumen total de aire de la sala sea renovado seis veces por hora.

Como el volumen de la sala es de 75 metros cúbicos; la capacidad del extractor deberá ser de 450 metros cúbicos /hora. Este extractor evacuará el aire cargado de dióxido de carbono directamente al exterior de la planta. El aire expulsado no contiene ningún contaminante ambiental pues solamente se está haciendo circular el aire con leve exceso de dióxido de carbono.

3.4 Condiciones ambientales

El ambiente natural donde se desarrolla el proceso, deberá simularse dentro de la planta. Anteriormente se mencionó que los factores determinantes son: humedad, temperatura, luz y ventilación. Estos factores deberán diseñarse de tal modo que permitan ser controlados de forma permanente.

3.4.1 Descripción de los ambientes que requieren sistemas de humedad artificial.

El plerotus se desarrolla en ambientes muy húmedos (del 85% al 90 % de humedad). Por ello, la sala de fructificación necesita un sistema de riego que permita evitar el resecamiento.

3.4.2 Diseño del sistema artificial de humedad

Se instalará un sistema de riego por aspersion. En la parte alta de las paredes se colocará una tubería de PVC de media pulgada de diámetro con puntos de aspersion colocados a 1 m de distancia entre sí.

3.5 Instalaciones eléctricas

La instalación eléctrica se diseñará de acuerdo con los consumos parciales esperados en cada ambiente; tomando en cuenta iluminación, equipo de consumo permanente, tomacorrientes eventuales, ventiladores, equipo de computación, extractores de aire, equipo para docencia, alarmas y lo necesario para que los materiales y equipos a utilizar presten un servicio óptimo.

3.5.1 Diseño de la iluminación general

3.5.1.1 Pasillos primer nivel

El pasillo interior de la planta tiene 23 m. de largo y 3 m. de ancho; se colocarán lámparas fluorescentes con dos candelas de 40 W. cada una, las lámparas serán colocadas al centro del pasillo con distancia entre si de 3 m. y distancia del extremo hacia la primera lámpara: 1.5 m (ver plano instalación eléctrica).

El total de lámparas a colocar son 7 x 100 watts cada una (candelas de 40 W + 10 W reactivos) = 700 Watts por lo que se conectará alambre sólido calibre 12 con bajada hacia los interruptores calibre 14. (Tabla No. 5 normas para acometidas EEGSA, XII edición, ver Apéndice).

3.5.1.2 Laboratorios del primer nivel

Todos los ambientes del primer nivel tienen áreas muy cercanas a los 10 m². La luz necesaria en ellas es equivalente a una sala de estudio ya que todas las funciones a desarrollar son equivalentes a trabajo de lectura y escritura en oficinas.

Se ha diseñado de acuerdo con el método de cavidad zonal. (Koenigsberger, Ingeniería eléctrica 2, USAC 1985).

En cada salón se instalarán 2 lámparas de dos candelas de 40 watts cada una. El total es de 30 lámparas de 100 watts cada una (incluye potencia reactiva), para hacer 3,000 watts.

Se distribuirá la carga en 2 circuitos de 1,500 W cada uno. El circuito de recorrido se hará con alambre calibre 12 y las bajadas a interruptores con alambre calibre 14.

3.5.1.3 Pasillos segundo nivel

El pasillo del segundo nivel mide 30 m de largo x 1.5 m de ancho. Se colocarán 10 lámparas fluorescentes con 2 candelas de 40 W cada una.

Las lámparas se colocarán al centro del pasillo con separación entre sí de 3.0 m y la primera lámpara se colocará a 1.5 m del extremo (ver plano).

El total de lámparas a colocar son 10 x 100W cada una; para hacer un consumo de 1,000 W.

El circuito de alumbrado de pasillo del segundo nivel se hará con alambre calibre 14.

3.5.1.4 Laboratorios del segundo nivel

Los requerimientos de iluminación para los ambientes del segundo nivel son similares al primer nivel. La distribución se hará con lámparas fluorescentes de dos candelas de 40 watts cada una, colocadas con 2 m de separación entre sí.

Serán entonces un total de 17 lámparas para un consumo total de 1,700 W. Se utilizará alambre calibre 12 con bajadas hacia los interruptores con alambre calibre 16.

3.5.2 Diseño de tomacorrientes generales

Nos referimos a los tomacorrientes donde pueden conectarse equipo y aparatos eléctricos que funcionan con 120 voltios

3.5.2.1 Tomacorrientes en pasillos de primer nivel

En los pasillos del primer nivel se instalarán cuatro tomacorrientes de 1,500 W cada uno, lo que da un consumo de 6,000 W. Se conectarán mediante alambre calibre 10.

3.5.2.2 Tomacorrientes generales en laboratorios

Se instalarán dos tomacorrientes de 1,500 W cada uno, en cada laboratorio, con lo que se totalizan 30 tomacorrientes.

El consumo será de 30 unidades x 1,500 watts = 45 kW que se distribuirán en tres circuitos de 15 kW cada uno.

3.5.2.3 Tomacorrientes en pasillos segundo nivel

Los tomacorrientes en el pasillo del segundo nivel, solamente se utilizarán para conectar equipo de limpieza.

Se colocarán 5 tomacorrientes de 1,500 watts cada uno. El consumo total máximo es de 7,500 watts, por lo que se hará con alambre calibre 10 a tensión de 120 voltios.

3.5.3 Descripción del área donde se instalarán equipos especiales

Los equipos especiales consisten en: refrigeradoras industriales, cabina con extractor de aire, incubadoras, deshidratador, autoclaves y campana de flujo. Todos estos aparatos funcionan con 220 voltios y su consumo oscila entre 1,200 y 1,500 watts cada uno.

Los tomacorrientes para 220 voltios, se instalarán en: laboratorios de medio de cultivo, almacén de medios de cultivo, laboratorio de aislamiento de cepas, cepario de micelio, laboratorio de incubación de inóculo, laboratorio de procesamiento de hongos, sala de secado y esterilización y en el área de lavado y muerte de medios de cultivo.

3.5.4 Cálculo de cargas en área de equipo especial

En estas áreas, el consumo máximo esperado es de 15 KW, los cuales se distribuirán mediante circuitos con cable 06.

3.5.5 Cálculo total de consumo esperado

El consumo máximo esperado se producirá al estar funcionando al 100% las instalaciones con todo el equipo y alumbrado. Incluye iluminación general, iluminación específica, consumo por servicio de limpieza, funcionamiento de equipo especial + 10% de tolerancia. Bajo estas condiciones el consumo total sería de 65 kilovatios.

Figura 7. Planta de iluminación primer nivel

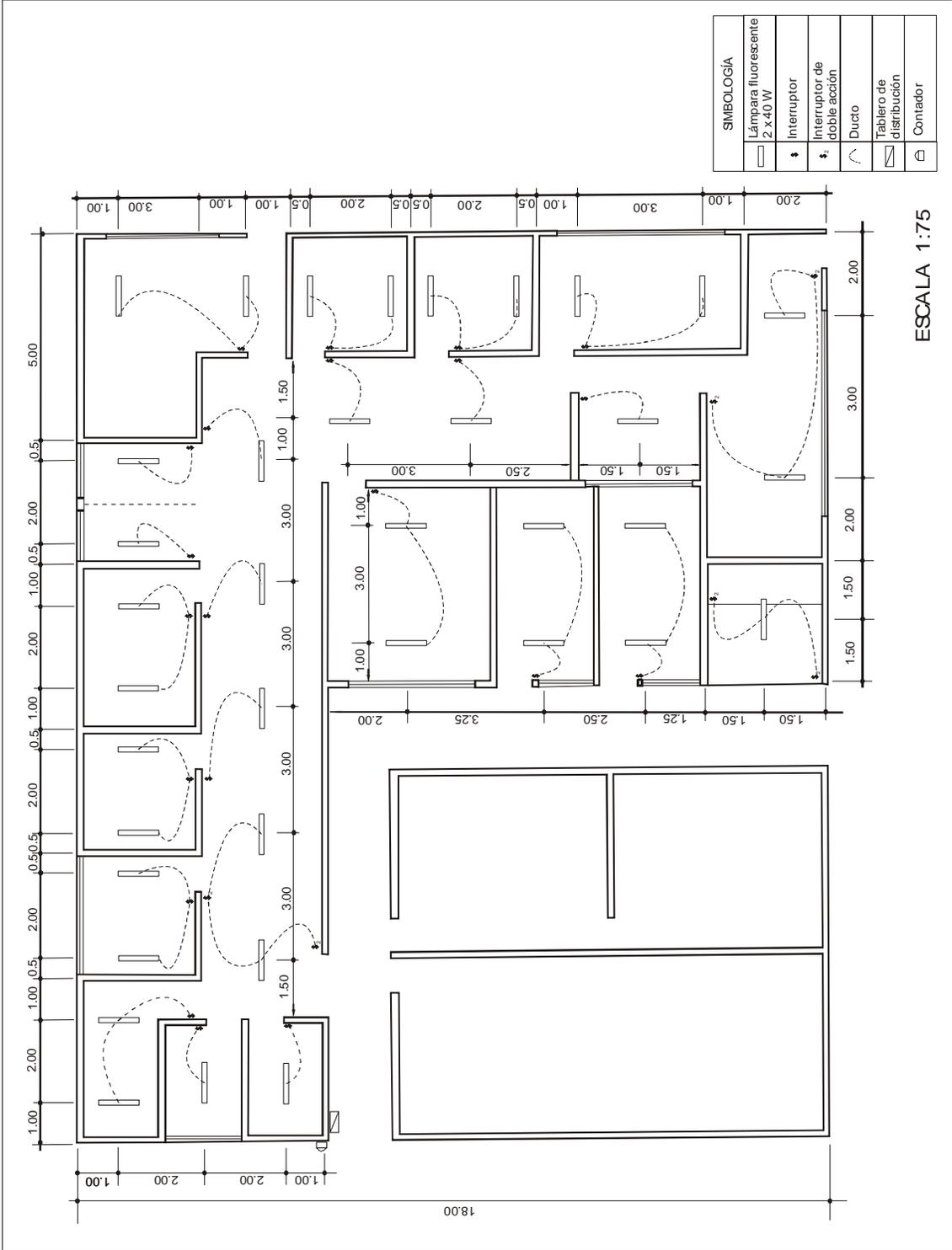


Figura 9. Planta de distribución de energía primer nivel

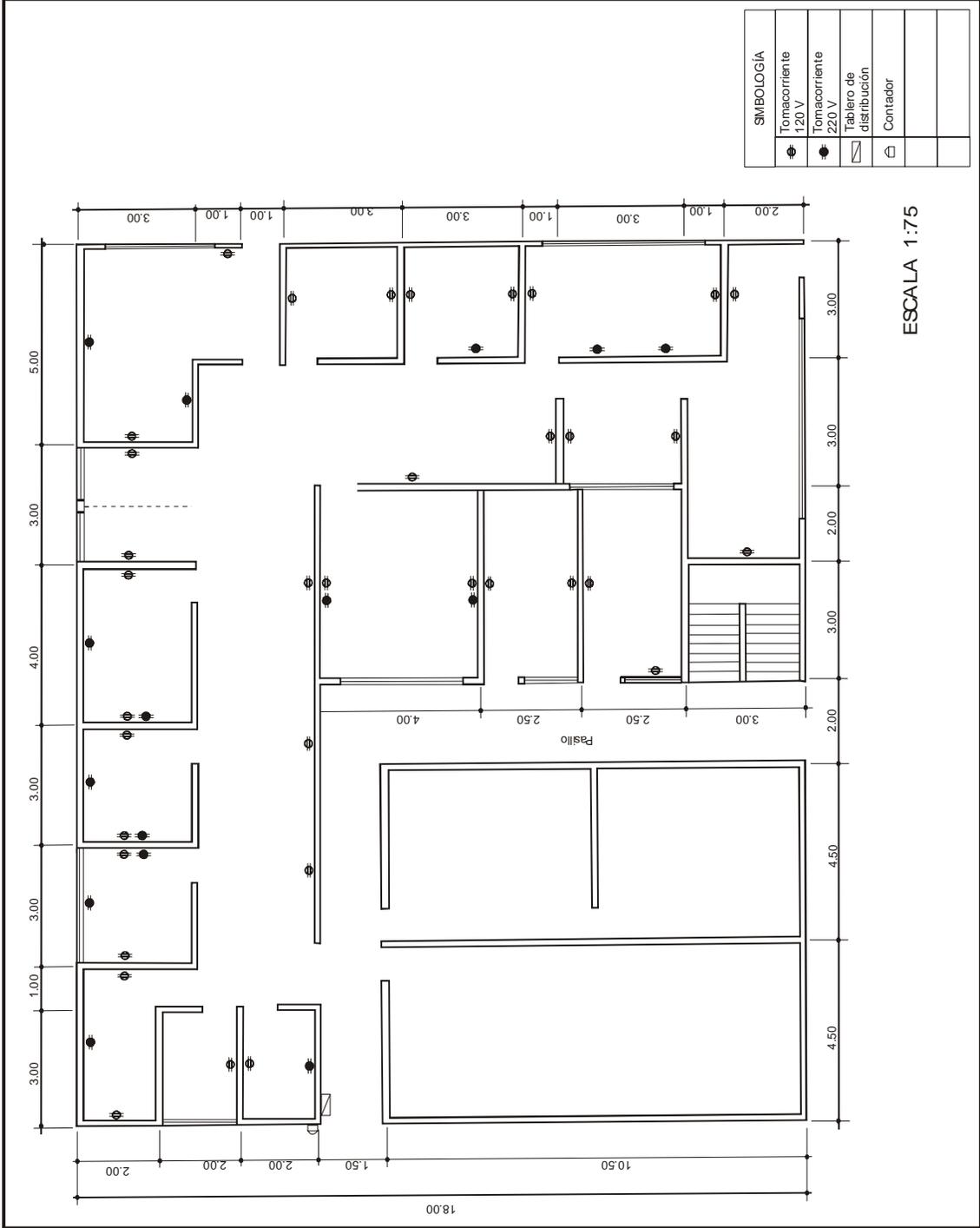
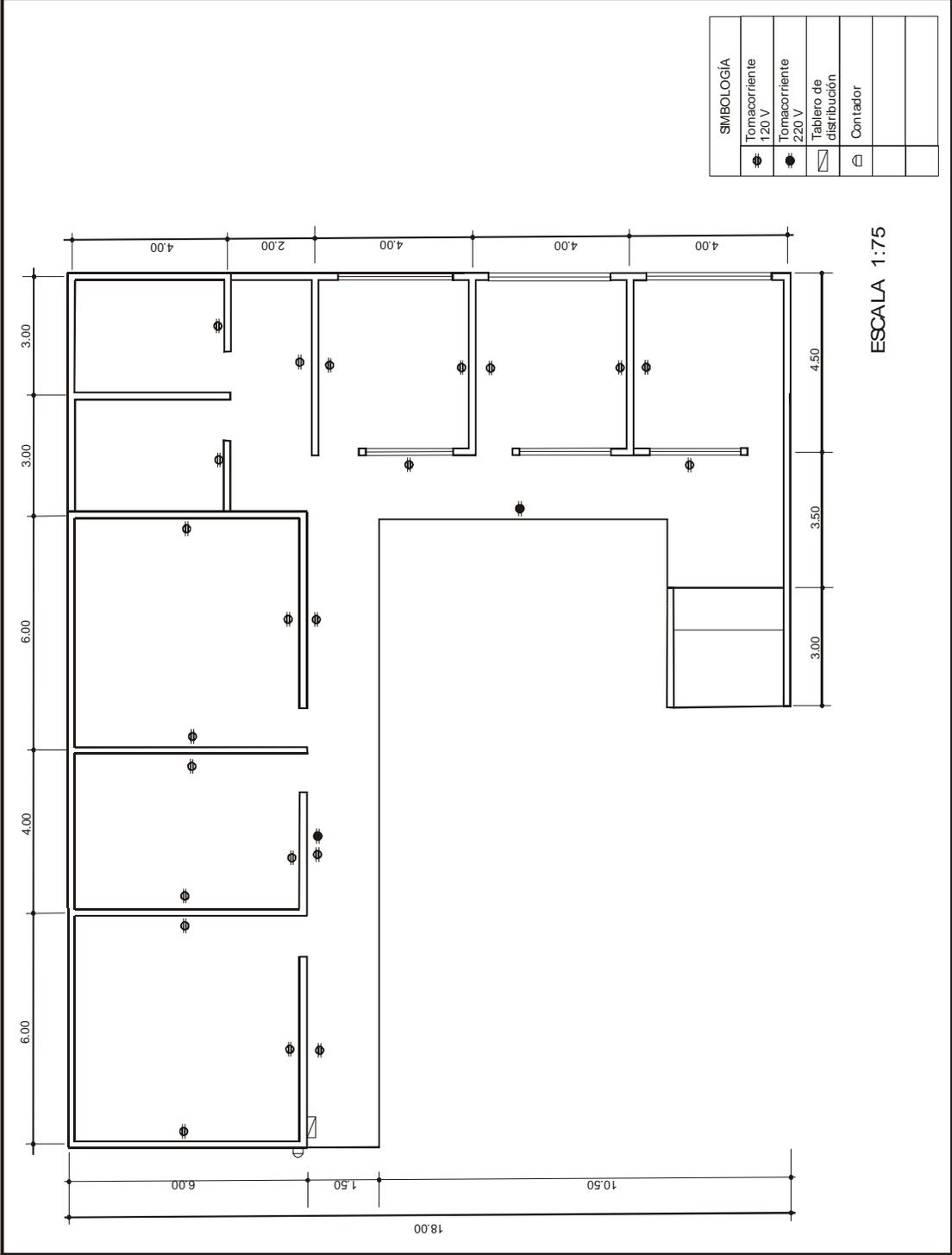


Figura 10. Planta de distribución de energía segundo nivel



4. IMPLEMENTACIÓN

4.1 Equipamiento

El equipo necesario para la producción dentro de la planta es muy diverso. Se necesitará desde muebles muy sencillos como estanterías de madera, hasta equipo sofisticado de esterilización, sin olvidar el mobiliario de uso administrativo y el de uso docente.

4.1.1 Materiales

Son propiamente los materiales a usar en la producción, tal como:

Reactivos de laboratorio

Dióxido de carbono líquido

Agua destilada

Pulpa de café

Bolsas de papel

Bolsas plásticas

Bobinas de papel craft

4.1.2 Mobiliario general

Son los muebles que normalmente se usan para tareas básicas o para tareas administrativas, tales como: mesas metálicas, mesas de madera, sillas y escritorios secretariales, muebles para salón de sesiones, estanterías metálicas y de madera, archivadores y otros, de acuerdo a las necesidades.

4.1.3 Equipo especial

Es mobiliario no adherido al edificio con utilización indispensable durante el proceso de producción que garantiza las condiciones higiénicas para los seres vivos que se están desarrollando.

Éstos son:

- Dos esterilizadores (autoclaves)
- Tres incubadoras
- Diez microscopios electrónicos
- Un estéreo microscopio
- Desecadoras artesanales
- Tres refrigeradoras de calidad bacteriológica
- Dos campanas de flujo laminar
- Diez lámparas ultravioleta para mesa
- Dos cámaras fotográficas digitales
- Un agitador electromagnético
- Un higrómetro
- Un termociclador

4.1.4 Mobiliario especial

Consiste en algunos muebles con características necesarias para el proceso, éstos son:

- Cuatro mesas de acero inoxidable con rodos
- Quince sets completos de cristalería para laboratorio químico
- Diez anaqueles metálicos
- Cuatro bandejas grandes de acero inoxidable
- Diez lavaderos metálicos
- Dos computadoras completas

4.1.5 Transporte

El transporte de materia del sustrato (cáscara de café, mazorca de maíz u otro que se elija) se hace desde el interior de la república hacia la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia por parte de la USAC. Por esta razón es indispensable contar con un pick up de todo terreno exclusivo para el proyecto.

4.1.6 Financiamiento

Este proyecto tiene su fundamento legal en los Acuerdos de Paz, donde el gobierno se compromete a promover el estudio y difusión de los conocimientos científicos a los pueblos indígenas y a facilitar la puesta en práctica de estos conocimientos. De esta forma el gobierno central es la primera instancia para financiar el proyecto. Simultáneamente algunos gobiernos amigos y entidades de desarrollo internacional han mostrado su interés en el mismo, pues como ya se indicó se beneficiará a gran parte de la población guatemalteca.

4.1.7 Capital de trabajo

El capital de trabajo necesario dependerá esencialmente de la producción requerida. Este proyecto es de tipo social, por lo que no se podrá cuantificar el tiempo en el cual se esperaría recuperar la inversión inicial. Los gastos de funcionamiento de la planta deberán en su mayoría ser absorbidos por la USAC, pues éstos son: sueldo de catedráticos especializados, sueldo de técnicos permanentes, mantenimiento del edificio, gastos administrativos, mantenimiento de equipo, depreciación de mobiliario y equipo. Los beneficios esperados son de tipo social: formación de profesionales especializados y apoyo directo a la población mediante la entrega de inóculo.

Se estima que el proyecto sea auto sostenible en la compra de insumos para la producción de inóculo. Los gastos recuperables son:

- Reactivos y material de laboratorio
- Depreciación de cristalería
- Transporte del sustrato
- Bolsas de producción y empaque
- Gastos administrativos de producción

La libra de inóculo tendrá un precio de Q 15.00. En México puede conseguirse a Q 30.00 la libra más los gastos de acarreo. Al vender a Q 15.00 la libra se ha calculado que los costos de producción ascienden a Q 13.00 por libra, dejando un margen de utilidad de Q 2.00.

Se estima que el proyecto sea auto sostenible en la compra de insumos para la producción de inóculo. Los gastos recuperables son:

- Reactivos y material de laboratorio
- Depreciación de cristalería
- Transporte del sustrato
- Bolsas de producción y empaque
- Gastos administrativos de producción

La libra de inóculo tendrá un precio de Q 15.00. En México puede conseguirse a Q 30.00 la libra más los gastos de acarreo. Al vender a Q 15.00 la libra se ha calculado que los costos de producción ascienden a Q 13.00 por libra, dejando un margen de utilidad de Q 2.00.

Un control de calidad final del inóculo producido se realiza en los hongos fructificados mediante inspección del tamaño, color, cantidad producida y sabor (prueba de degustación).

5.2 Verificación de la Universidad de San Carlos de Guatemala a los proyectos de desarrollo del inóculo

En primer lugar, la USAC establece normas para la venta de micelio (semilla):

1. Que las comunidades hayan recibido la capacitación que se da para ser parte del proyecto (deben poseer certificado de capacitación específico del proyecto).
2. Los técnicos de la USAC deben inspeccionar el área de trabajo durante la producción.
3. La USAC recabará información estadística de la producción obtenida, a través de una hoja de control que se ha elaborado. (Ver anexo 1)

5.3 Verificación del desarrollo del proyecto por organismos internacionales

Los organismos patrocinadores o cooperantes del proyecto podrán comprobar el funcionamiento del mismo mediante visitas periódicas a la planta de producción de inóculo y a las comunidades cultivadoras.

También pueden verificar la calidad mediante la certificación de la Asociación Guatemalteca de Exportadores de Productos no Tradicionales.

Adicionalmente puede darse seguimiento al proyecto verificando los acuerdos de intercambio científico y tecnológico que se vayan alcanzando con otras universidades o entidades afines de la región.

CONCLUSIONES

1. El proceso de producción de inóculo de hongos comestibles que se trasladará a las comunidades se realiza en cuatro etapas fundamentales: preparación de inóculo, preparación del sustrato, siembra e incubación y fructificación. Cada etapa se desarrolla en varios pasos.
2. Las áreas de trabajo requeridas para la planta de producción de inóculo son: área de laboratorio, almacén de componentes microbiológicos, área tratamiento del sustrato, área de producción, área de conservación y empaque, bodega de materiales voluminosos, área administrativa, área de docencia e intercambio de información y área de servicios. Cada área se subdivide en ambientes específicos.
3. La distribución de la planta para el proceso de producción se hará por proceso, agrupando a las personas que hacen tareas similares ya que el proceso es intermitente.
4. Algunos ambientes se diseñaron sin ventilación natural para evitar entrada de polvo u otros contaminantes desde el exterior; éstos son: almacén de medios de cultivo, laboratorio de aislamiento de cepas, cepario de micelio y esporas, laboratorio de incubación de inóculo y laboratorio de inoculación del sustrato.

5. El proceso de producción requiere que en algunos ambientes se proporcione iluminación artificial con luz cargada hacia el color azul del espectro. Se ha diseñado toda la iluminación general artificial del edificio con lámparas fluorescentes. Cada lámpara contará con dos candelas de 40 watts para que la iluminación sea suficiente y el consumo de energía mínimo.
6. Algunos ambientes de la planta como: almacén de medios de cultivo, laboratorio de producción de cepas, cepario de micelio y esporas, laboratorio de incubación y laboratorio de inoculación del sustrato serán recubiertos interiormente con azulejo para evitar proliferación de otros microorganismos indeseables.
7. En iluminación artificial, funcionamiento del equipo de producción, aparatos de servicio y accesorios administrativos, la demanda de energía eléctrica máxima esperada es de 65 kilovatios en línea trifásica de 220 voltios.
8. La planta de producción de inóculo debe incluir anexo invernadero de prueba y fructificación así como planta forestal. El propósito es que allí se desarrollen pruebas de control de calidad al producto final en condiciones similares a las que suceden en las comunidades rurales dedicadas al cultivo de hongos comestibles.

RECOMENDACIONES

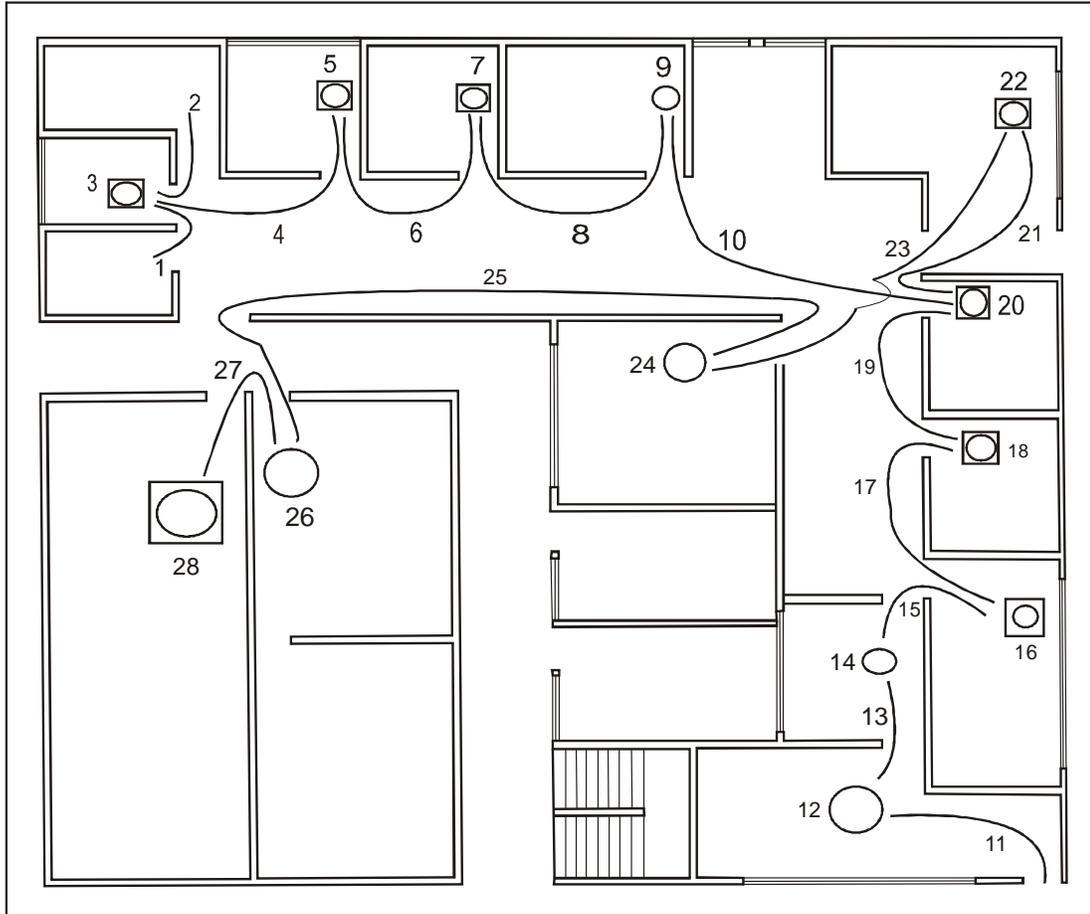
1. Que el ingeniero civil o la empresa constructora que se haga cargo del proyecto se apoye en un ingeniero industrial para ejecutar adecuadamente las especificaciones y condiciones planificadas en este trabajo.
2. Que al entrar en operaciones la planta, ésta sea administrada por un ingeniero industrial que optimice los procesos de producción.
3. Que continuamente se realice revisión de los procesos para evaluar o promover nuevas alternativas en la producción.
4. Promover campañas de divulgación del proyecto para que más personas puedan tener acceso al mismo y aprovechen sus beneficios.
5. Dar seguimiento a los programas de intercambio de información que actualmente se realizan entre la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia de la USAC con otras entidades afines, para el mejor aprovechamiento de la capacidad instalada.
6. Capacitar personal de nivel medio que pueda realizar tareas específicas dentro de la planta de producción.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez Mejía, Julio Roberto. Edificios industriales. Tesis Ing. Industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1987.
2. Baca Urbina, Guillermo. **Evaluación de Proyectos**. México.. 2ª ed., México. McGraw Hill, 1990.
3. Bello Mendoza, Ricardo. **Criterios para el Diseño de una Planta Productora de Plerotus**. México. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, 1994.
4. Bran, María del Carmen y otros. **Aspectos Económicos del Cultivo de Plerotus**. Guatemala. Editorial USAC, 2001
5. Bran, María del Carmen. **Hongos comestibles de Guatemala**. Guatemala. Editorial USAC, 2003.
6. Flores, Roberto y otros. **Cultivo artesanal de hongos comestibles**. Guatemala. Editorial USAC, 2004.
7. Gala Palacios, Javier. "La evaluación social de proyectos". **Federalismo y Desarrollo**. (México.) (61): 22. 1998.
8. Koenigsberger, Rodolfo. **Ingeniería eléctrica 2**. 2ª ed. Guatemala. s.e., 1988
9. Martínez Carrera, José y otros. **Los hongos comestibles de México**. México. Ciencia y Desarrollo, 1993.
10. Sánchez Vázquez, José Ernesto. **Producción de Plerotus a partir de Residuos de la Agricultura**. México. SAHR – INIFAP - CERI, 1992.
11. Sánchez Vázquez, José Ernesto. **Producción de hongos comestibles**. México. Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste, 1994.
12. Toledo Posadas, Rafael. Diseño e instalación de una pequeña industria de formulación de sulfurrucinato. Tesis Ing. Industrial. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. 1992.
13. Torres, Sergio. **Ingeniería de plantas**. 2ª ed. Guatemala. s.e., 2004.

Apéndice

Figura 11. Diagrama de recorrido del producto



Anexo 1

Tabla I Hoja de control para seguimiento del producto

| UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA DIRECCIÓN GENERAL DE INVESTIGACIÓN – DIGI – FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA PROGRAMA UNIVERSITARIO DE INVESTIGACIÓN EN DESARROLLO INDUSTRIAL – PUIDI – PROYECTO: Producción de inóculo de cepas nativas para estimular el cultivo de hongos comestibles en comunidades campesinas, como alternativa de autoconsumo y comercialización | | | | | |
|---|-----------------------------|---------------------------------------|--|--------------------|-------------------------------|
| Nombre del grupo: _____ Comunidad: _____ Municipio: _____ _____ | | | | | |
| Tipo de semilla: _____ | | | | | |
| Producción de hongos | | | | | |
| No. de bolsas sembradas | Tipo de sustratos sembrados | Tiempo de incubación de los sustratos | Tiempo transcurrido para que fructificara | Número de cosechas | Peso de los hongos cosechados |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Comercialización | | | Hongos utilizados para el consumo familiar | | |
| Libras de hongos vendidos | Precio por libra | Lugar donde se comercializó | Libras de hongos consumidos para alimento | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Anexo 2

Tabla II Muestra los niveles de iluminación, en lux necesarios según las tareas a realizar

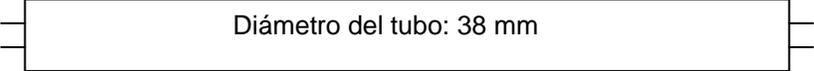
TABLA DE NIVELES DE ILUMINACIÓN (lux)

| País: Sociedad o norma: | U.S.A IES | Inglaterr a IES | Francia IES | Aleman a DIN | Suecia CIE | Bélgica CNBE | Suiza SEV |
|--|-----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| TAREAS DE MUY DIFÍCIL VISIÓN: Trabajos de mucha precisión (Mecánica precisión, relojería, armado electrónico, etc.) | 10,000 a 20,000 | 1,500 a 3,000 | 1,500 a 3,000 | 4,000 | 1,000 a 2,000 | — | 1,000 |
| TAREAS DE DIFÍCIL VISIÓN: Trabajos de precisión (contabilidad, dibujo, lectura o escritura continua) | 5,000 a 10,000 | 700 a 1,500 | 700 a 1,500 | 600 a 1,000 | 300 a 500 | 500 a 1,000 | 300 a 1,000 |
| TAREAS DE MÁS FÁCIL VISIÓN: Trabajos prolongados. Oficinas, colegios, comercio, talleres, etc. | 1,000 a 5,000 | 300 a 700 | 300 a 500 | 250 a 500 | 300 | 250 a 500 | 150 a 300 |
| TAREAS DE VISIÓN ORDINARIA: Operación de máquinas automáticas, que requieren solo visión intermitente. | 500 a 1,000 | 150 a 300 | 150 a 300 | 120 a 250 | 150 | 100 a 250 | — |
| TAREAS DE VISIÓN OCASIONAL: Lavanderías, depósitos, recepción, bodegas de materiales pequeños, etc. | 200 a 300 | 70 a 150 | 70 a 150 | 60 | 40 a 80 | 50 a 80 | 40 a 80 |
| TAREAS DE VISIÓN GENERAL: Corredores, bodegas de materiales gruesos, escaleras, etc. | 100 a 200 | 30 a 70 | 30 a 70 | 30 | 20 | 20 a 30 | — |

Fuente: Koenigsberger, Rodolfo, Ingeniería eléctrica 2, pág. 58

Anexo 3

Tabla III. Tabla de flujo luminoso para lámparas fluorescentes rectas según su potencia nominal

| LÁMPARAS FLUORESCENTES | | | | |
|--|---|--|--------------------------|----------------------------------|
|  Diámetro del tubo: 38 mm | | | | |
| Potencia nominal (W) | Potencia incluida la reactancia (W) | Longitud (incluidas las espigas) (mm) | Flujo luminoso (lm) | Eficiencia luminosa (lm/ W) |
| 15 | 23 | 438 | 600 | 26.0 |
| 20 | 29 | 590 | 1080 | 37.2 |
| 25 | 34 | 970 | 1500 | 44.1 |
| 30 | 40 | 895 | 2000 | 50.0 |
| 40 | 50 | 1200 | 2500 | 50.0 |
| 65 | 75 | 1500 | 4000 | 53.3 |

Fuente: Álvarez Mejía, Julio Roberto, Edificios industriales, Tesis de Graduación, pág. 93

Anexo 4

Tabla IV. Tabla del calibre del conductor requerido para cargas en 230 Voltios

| CARGAS MONOFÁSICAS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------|----------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| CALIBRE DEL CONDUCTOR DE COBRE REQUERIDO PARA CARGAS EN 230 V. CON UN 2% DE CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga en Vatios | Carga en Amps | Longitud del conductor en metros | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 38 | 46 | 53 | 61 | 68 | 76 | 83 | 91 | 106 | 122 |
| 1150 | 5 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 1380 | 6 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 08 |
| 1610 | 7 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 08 | 08 |
| 1840 | 8 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 08 | 08 | 08 |
| 2075 | 9 | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 08 | 08 | 08 | 08 |
| 2300 | 10 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 10 | 08 | 08 | 08 | 08 | 06 |
| 2760 | 12 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 08 | 08 | 08 | 08 | 06 | 06 | 06 |
| 3220 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 08 | 08 | 08 | 08 | 06 | 06 | 06 | 06 |
| 3680 | 16 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 08 | 08 | 08 | 06 | 06 | 06 | 06 | 06 | 04 |
| 4140 | 18 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 08 | 08 | 06 | 06 | 06 | 06 | 06 | 04 | 04 |
| 4600 | 20 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 08 | 08 | 08 | 06 | 06 | 06 | 06 | 04 | 04 | 04 |
| 5750 | 25 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 08 | 08 | 06 | 06 | 06 | 06 | 04 | 04 | 04 | 04 | 02 |
| 6900 | 30 | 10 | 10 | 10 | 08 | 08 | 08 | 06 | 06 | 06 | 04 | 04 | 04 | 04 | 04 | 02 | 02 |
| 8050 | 35 | 10 | 10 | 08 | 08 | 08 | 08 | 06 | 06 | 04 | 04 | 04 | 04 | 02 | 02 | 02 | 02 |
| 9200 | 40 | 10 | 08 | 08 | 08 | 06 | 06 | 06 | 04 | 04 | 04 | 04 | 02 | 02 | 02 | 02 | 01 |
| 10350 | 45 | 08 | 08 | 08 | 08 | 06 | 06 | 06 | 04 | 04 | 04 | 02 | 02 | 02 | 02 | 01 | 01 |
| 11500 | 50 | 08 | 08 | 08 | 06 | 06 | 06 | 04 | 04 | 04 | 02 | 02 | 02 | 02 | 01 | 01 | 0 |
| 13800 | 60 | 06 | 06 | 06 | 06 | 06 | 04 | 04 | 02 | 02 | 02 | 02 | 01 | 01 | 01 | 0 | 00 |
| 16100 | 70 | 06 | 06 | 06 | 06 | 04 | 04 | 04 | 02 | 02 | 02 | 01 | 01 | 0 | 0 | 00 | 00 |
| 18400 | 80 | 04 | 04 | 04 | 04 | 04 | 04 | 02 | 02 | 02 | 01 | 01 | 0 | 0 | 00 | 000 | 000 |
| 20750 | 90 | 04 | 04 | 04 | 04 | 04 | 04 | 02 | 02 | 01 | 01 | 0 | 0 | 00 | 00 | 000 | 000 |
| 23000 | 100 | 02 | 02 | 02 | 02 | 02 | 02 | 02 | 01 | 01 | 0 | 00 | 00 | 00 | 000 | 000 | 4/0 |
| 26450 | 115 | 02 | 02 | 02 | 02 | 02 | 02 | 02 | 01 | 0 | 0 | 00 | 00 | 00 | 000 | 4/0 | 4/0 |

Fuente: Manual de Normas de la Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A., pág.

Anexo 5

Tabla V. Tabla del calibre del conductor requerido para cargas en 115 Voltios

| CARGAS MONOFÁSICAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| CALIBRE DEL CONDUCTOR DE COBRE REQUERIDO PARA CARGAS EN 115 V CON UN 2% DE CAÍDA DE VOLTAJE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Longitud del conductor en metros | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Carga en Voltios | Carga en Amps. | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | 9 | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 38 | 46 | 53 | 61 | 68 | 76 | 83 | 91 | 106 | 122 |
| 575 | 5 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 |
| 690 | 6 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 |
| 805 | 7 | 14 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| 920 | 8 | 14 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 |
| 1035 | 9 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 |
| 1150 | 10 | 14 | 14 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 4 | 6 | 4 | 4 | 4 |
| 1380 | 12 | 14 | 12 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 |
| 1610 | 14 | 14 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 |
| 1840 | 16 | 12 | 12 | 10 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 |
| 2075 | 18 | 12 | 12 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2300 | 20 | 12 | 10 | 10 | 8 | 8 | 8 | 8 | 6 | 6 | 4 | 4 | 4 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 |

Fuente: Manual de Normas de la Empresa Eléctrica de Guatemala, S. A., pág. 116