ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA DE UN PRODUCTO DERIVADO DE LA SETA *PLEUROTUS PULMONARIUS*

por

Ángela Patricia Anaya Salazar

Proyecto sometido en cumplimiento parcial de los
requerimientos para el grado de

MAESTRO EN INGENIERÍA

en

Sistemas Gerenciales

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2008

Aprobado por:

_____	_____
Pedro Resto, Ph.D. Presidente, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Agustín Rullán, Ph.D. Miembro, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Fernando Pérez, Ph.D. Miembro, Comité Graduado	Fecha
_____	_____
Robinson Rodríguez, Ph.D. Representante de Escuela Graduada	Fecha
_____	_____
Agustín Rullán, Ph.D. Director, Departamento	Fecha

RESUMEN

Este proyecto se hizo con el fin de encontrar la viabilidad económica de deshidratar sobrantes de setas frescas mediante un método de bajo costo en la empresa Hepperly Enterprises.

Se realizó un diseño de experimentos tipo Split-Plot para encontrar los factores relevantes para la configuración del horno deshidratador compuesto de un foco, una caja de cartón, una entrada de aire, una parrilla y una chimenea. Los factores tomados en consideración fueron el foco, la diedrita usada como simulador de un deshumidificador, la ventilación inducida por un abanico y el tiempo en el que se removieron las muestras de setas. La variable respuesta fue el peso de las setas tomado desde cinco hasta 30 horas en incrementos de cinco horas. Los resultados incluyen la configuración de un horno con un foco de 60 vatios, sin diedrita y sin ventilación inducida. Luego se determinó el tiempo que debe estar prendido el foco mediante un experimento de un solo factor aleatorio: Se tomó el tiempo como el factor y el peso de las setas medido cada tres horas desde un mínimo de nueve hasta un máximo de 18 horas como respuesta. Se estableció que el tiempo del proceso de deshidratación es de nueve horas siendo éste el tiempo que debe permanecer el foco prendido. Finalmente, se hizo un análisis de viabilidad económica teniendo en cuenta el método de la Tasa Interna de Retorno para comparar la alternativa de compostar diferentes cantidades de sobrantes de setas frescas, con la alternativa de producir harina con los sobrantes y hacer composta sin los mismos. Se encontró que para sobrantes de cuatro, 4.5 y cinco porciento, es mejor realizar harina que solo composta.

ABSTRACT

This project was developed in order to find the economic feasibility of dehydrate mushroom scraps with a low cost methodology in Hepperly Enterprises.

A Split-Plot experiment was made to find the relevant factors in the configuration of the dehydrator oven composed of a light bulb, a card board box, an air entrance, a grid and a chimney. The factors taken in consideration where the bulb, the diedrite used as a simulator for a dehumidifier, a fan to induce ventilation, and the time in which the samples were removed. The response variable was the weight of the mushrooms taken from five to 30 hours in increments of five hours. The results include a configuration of the oven with a 60 watt bulb, without diedrite and without induced ventilation. Following, the time the bulb must be on was determined with a single factor experiment: Time was the factor and weight of the mushrooms taken every three hours, from a minimum of nine to a maximum of 18 hours as response. It was established that the dehydration process should last nine hours, during which the bulb must be on. Finally, an economic feasibility analysis was performed using the Internal Rate of Return method. In order to compare the alternative of composting different amounts of mushroom scrap versus the alternative of producing mushroom flour with the scrap and the compost without them. It was found that for scrap amounts of four, 4.5 and five percent it is better to produce mushroom flour than only compost.

DEDICATORIA

A mi compañero, mi soporte y mi guía. Mi Jesús, porque todo lo puedo en ti que me fortaleces.

A mi Ángel, mi mejor amiga, mi motor, mi más grande amor ahora y siempre. A mi mamá, porque juntas luchamos incansablemente. Para ti este triunfo y muchos más por venir.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco inmensamente a mi asesor de tesis el Doctor Pedro Resto, por haber creído en mí y haber dado vuelo a este proyecto desde el inicio de mi maestría.

A los miembros del comité graduado, Doctor Agustín Rullan, por haberme permitido regresar a culminar mis estudios, por su apoyo y conocimiento aportado. Un especial y gigante agradecimiento al Doctor Fernando Pérez, por las muchas horas de dedicación, por haberme guiado y encaminado a través de todo el proyecto y más aun por su amistad, gracias por su apoyo como profesor y como persona.

Agradezco a los Profesores David González, Mercedes Ferrer, Noel Artiles y Héctor Carlo, porque estuvieron allí para resolver mis dudas, por su mano amiga y comprensión.

A mis amigos, Ana María Correa, porque me acompañaste en muchas noches de soledad y desilusión. Natalia González, porque me enseñaste a ver un mundo rosa y feliz, porque no importa la situación, siempre puedo volver a tomar tu mano. Milady Rivera, por tu adopción, me brindaste la mejor familia adoptiva que he tenido. Yesenia Cruz, por tantas noches de estudio y risas. Yanira Marrero, por tus noches de películas y tus delicias Puertorriqueñas. Dennis Rosario, por tu ayuda académica y principalmente por tu amistad incondicional. Andrés Uribe, Wilfredo Yushimito y Joel Rivera por las largas charlas y constantes risas. Lina Gutiérrez, mi amiguita desde el kínder, gracias por ayudarme a cumplir mi sueño, por tantos años de vivencias y compañerismo. Jesús Gómez, porque si tu puedes, yo puedo. Adriana Vera y María Cecilia Zapata, porque el Messenger no tiene hora, lugar ni espacio cuando se trata de sostener una amistad. Esteban Gómez, mi mejor amigo, por estar siempre a mi lado a pesar de la distancia, por tus consejos, tu cariño, tu preocupación y dedicación. Finalmente a mi guía espiritual, quien me llevó a través del peor momento de mi vida, quien me dio la esperanza y dedicó tantas horas de su vida a consolarme en mi dolor, a mi gran amiga Cynthia Rodríguez, porque fuiste, eres y seguirás siendo la luz al final de camino.

A quienes ocupan la parte más grande de mi corazón, mi familia, Wilfrido Anaya mi papito lindo, porque siempre has creído en mí, por empujarme a ser mejor cada día, por

hacerme entender que las limitaciones son actitudes, mas no realidades. Hernán Anaya, por tu inmenso amor y perseverancia, por enseñarme el valor de los sueños. María Alejandra Anaya, porque eres la persona más fuerte que he conocido en mi vida, por estar a mi lado para levantarme aún cuando parecía no haber salida. Anita Mosquera, gracias por ser leal, incondicional, por tu amor y por haber querido pertenecer a nuestra familia. A mi Matías, bebe precioso que llenas mis días de esperanza y amor. A Sonia Gómez, gracias por ser el motor de mi hermano, por tu alegría y cariño. A mi abuelita y toda mi familia, gracias por creer en mí y darme fuerzas para seguir.

Finalmente a Gladys Salazar, quien fue más que mi mamá, mi mejor amiga, mi razón de vivir, mi ilusión, mi alegría, anhelo verte de nuevo y sé que Jesús te tiene en el lugar más bello donde esperas por mí, gracias por tu amor, tu confianza y por enseñarme a mantenerme en pie aún cuando me faltas tú.

TABLA DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN 1
1.1 Justificación 1
1.2 Objetivos del proyecto 2
1.2.1 Objetivo general 2
1.2.2 Objetivos específicos 2
1.3 Metodología 3
1.3.1 Tipo de estudio 3
1.3.2 Fuentes 3
1.3.3 Procedimiento 3
2 REVISIÓN DE LITERATURA 6
2.1 Generalidades acerca del género *Pleurotus* 6
2.2 Descripción de las especies *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus pulmonarius* 10
2.2.1 Clasificación de las setas 11
2.2.2 Morfología 12
2.2.3 Propiedades medicinales 13
2.2.4 Formas de cultivo 14
2.2.4.1 *Pleurotus pulmonarius* 14
2.2.4.2 *Pleurotus ostreatus* 16
2.3 Procesos de conservación de las setas 18
2.3.1 Refrigeración 18
2.3.2 Conservación en salmuera 19
2.3.3 Deshidratación 19
2.4 Glutamato en las setas *Pleurotus* spp. 22
2.5 Productos a base de setas 24
2.6 Evaluación económica 26
3 CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN, RECOLECCIÓN Y EMPAQUE DE LA SETA FRESCA Y LA COMPOSTA 30
3.1 Caracterización de los procesos en que se incurre en la producción de *Pleurotus pulmonarius* fresco 30
3.1.1 Cultivo 30

3.1.2 Recolección 41
3.1.3 Empaque 42
3.1.4 Almacenamiento 43
3.2 Caracterización de los procesos en que se incurre en la producción de composta. 43
3.3 Recursos utilizados en los procesos de producción de setas frescas 44
3.3.1 Humanos 44
3.3.2 Técnicos 45
3.3.3 Materiales e insumos 46
4 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE LA SETA CON UN SECADOR DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO 48
4.1 Diseño y construcción del secador 48
4.1.1 Diseño del cuarto de secado 48
4.1.2 Diseño de Experimentos 50
4.2 Resultados de la deshidratación de las setas y establecimiento del cuarto de secado 59
4.2.1 Análisis del experimento Split-Plot y establecimiento del cuarto de secado 59
4.2.2 Análisis del experimento de un solo factor aleatorio y cálculo del tiempo de proceso … 63
4.2.3 Estimación teórica del peso aproximado de las setas deshidratadas 64
4.3 Elaboración de *Pleurotus pulmonarius* en polvo 66
5 EVALUACIÓN ECONÓMICA 68
5.1 Costos en que se incurre para la elaboración de la composta y la deshidratación de las setas 68
5.1.1 Costos de inversión inicial 68
5.1.2 Costos directos de manufactura 69
5.1.3 Costos indirectos de manufactura 72
5.1.4 Costos directos de labor 79
5.2 Análisis de factibilidad económica de la producción de harina de setas mediante el uso de la Tasa Interna de Retorno. 80
5.2.1 Escenario 1: se produce composta con los sobrantes de setas frescas 82

5.2.2 Escenario 2: se produce harina de setas con los sobrantes de setas frescas y se hace la composta sin los mismos 85
5.2.3 Comparación de los escenarios uno y dos mediante la tasa interna de retorno . 90
5.3 Evaluación económica de la producción de harina de setas considerando el espacio del cuarto de producción..... 93
6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS 97
6.1 Conclusiones. 97
6.2 Trabajos futuros..... 98
7 REFERENCIAS 100

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Proporción de aminoácidos esenciales por cada 100 gramos de proteína cruda . 7
Tabla 2. Porcentaje del valor nutritivo de las setas cultivadas por cada 100 gramos de peso seco 9
Tabla 3. Contenido de Glutamato, Guanilato y GMP en miligramos por cada 100 gramos de seta..... 24
Tabla 4. Equipos y facilidades involucrados en la producción de *Pleurotus pulmonarius* fresco. 45
Tabla 5. Materiales e insumos involucrados en la producción de *Pleurotus pulmonarius* fresco. 46
Tabla 6. Materia prima involucrada en la producción de composta y setas deshidratadas. 69
Tabla 7. Materiales usados para el establecimiento del deshidratador, la elaboración de la composta y la seta molida. 72
Tabla 8. Resumen de costos indirectos. 78
Tabla 9. Costo de inventario de setas frescas para la elaboración de harina. 79
Tabla 10. Inflación anual para Puerto Rico. 81
Tabla 11. Costos por concepto de materiales o equipos. 82
Tabla 12. Valor de los sobrantes de setas frescas. 83
Tabla 13. Costos anuales por concepto de producción de composta. 83
Tabla 14. Ingresos anuales por concepto de producción de composta. 84
Tabla 15. Tasa interna de retorno para la composta de acuerdo a los sobrantes de setas frescas. 84
Tabla 16. Resumen de costos para producir harina de acuerdo a las cantidades de sobrantes. 85
Tabla 17. Continuación del resumen de costos para producir harina de acuerdo a las cantidades de sobrantes. 86
Tabla 18. Costos anuales por concepto de producción de harina de setas. 87
Tabla 19. Costos anuales por concepto de producción de composta sin sobrantes de setas frescas. 88
Tabla 20. Empresas productoras de productos a base de setas. 88

Tabla 21. Ingresos anuales por concepto de producción de harina de setas. 89
Tabla 22. Ingresos anuales por concepto de producción de composta sin sobrantes de setas frescas..... 90
Tabla 23. Tasa interna de retorno para la producción de harina y composta..... 90
Tabla 24. Costo unitario de los frascos de harina acuerdo al porcentaje de sobrantes. 92
Tabla 25. Costos anuales por concepto de producción de harina de setas para una producción continua bajo las condiciones del cuatro porciento de sobrantes. 93
Tabla 26. Costos anuales por concepto de producción de harina de setas para una producción continua con 54 hornos. 94
Tabla 27. Costo unitario por frasco de harina para una producción continua con 54 hornos..... 95
Tabla 28. Resumen de costos y ganancias de las setas frescas de acuerdo a su modalidad de venta. 95

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Valor nutricional de la seta *Pleurotus* 8
Figura 2. *Pleurotus ostreatus* 11
Figura 3. *Pleurotus pulmonarius* 11
Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de recolección de materia prima. 31
Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de preparación del sustrato 33
Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de pasteurización 35
Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de inoculación 37
Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de fructificación 40
Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de recolección 42
Figura 10. Diseño del horno deshidratador 49
Figura 11. Horno deshidratador configurado con diedrita y ventilación inducida 50
Figura 12. Resultados del experimento Gauge R&R 53
Figura 13. Número de réplicas 59
Figura 14. Resultados del experimento Split-Plot 61
Figura 15. Efectos principales del experimento Split-Plot 62
Figura 16. Resultados del experimento de un solo factor aleatorio. 63
Figura 17. Efectos principales del experimento para un solo factor aleatorio. 64
Figura 18. Tasa interna de retorno para los escenarios uno y dos 91

LISTA DE APENDICES

Apéndice A. Arreglos y resultados para el experimento Gauge R&R……105
Apéndice B. Arreglos y resultados para el experimento Split-Plot…….108

1 INTRODUCCIÓN

Las setas u hongos son alimentos que están presentes principalmente en las culturas orientales, donde el consumo de éstos forma parte de la dieta regular de las personas. Son comunes por agregar sabor a las comidas y por sus propiedades medicinales. Actualmente existen numerosas investigaciones acerca del cultivo de hongos; esto se da debido a los descubrimientos que se han hecho sobre sus propiedades alimenticias y medicinales.

Varios estudios han demostrado que las setas tienen componentes que realzan el sabor de las comidas y además son usadas para acompañar tratamientos de enfermedades que afectan el sistema inmunológico. En la mayor parte de la población mundial se conoce el *Agaricus bisporus* o champiñón. Éste es común en la dieta de numerosos países, pero aún falta promover una cultura en la cual se introduzcan las setas como parte de la alimentación de las personas. Según Hawksworth (2001) el número de variedades de setas en el mundo se estima en 140,000, de las cuales se conocen solo una pequeña parte. Hasta ahora, muchas de las especies conocidas han sido de gran utilidad para la humanidad por sus beneficios en el campo de la salud como en el campo ecológico.

Los hongos del género *Pleurotus* son una fuente de proteínas no cárnica y tienen la habilidad de convertir desechos ricos en lignina y celulosa en elementos útiles para los cultivos. En éste aspecto compiten con los desperdicios de madera y de los productos derivados de la misma, así como con la pasilla del arroz y la borra de café, entre otros. Éstos desechos pueden ser compostados y usados como abono en plantas e incluso como alimento para animales.

1.1 Justificación

Con este proyecto se propone estudió la viabilidad económica de los residuos de producción de la seta *Pleurotus pulmonarius* en la empresa Hepperly Enterprises. Lo anterior se realiza porque la empresa está produciendo y comercializando setas frescas pero se tiene una fracción de producto defectuoso ya que el *Pleurotus* es una seta bastante

delicada y, en el momento de la recolección, se tienen pérdidas por deficiencia en la manipulación o porque la apariencia de la seta recolectada no es apropiada a los ojos del cliente y el mismo la percibe como dañada aunque en la realidad no lo esté. Actualmente los sobrantes de setas y los desechos de sustrato se están compostando, y vendiendo como abono. Esto hace que la seta se venda a un valor menor del que realmente tiene.

Las setas defectuosas, en cuanto a su apariencia estética, pueden ser deshidratadas para luego ser molidas y obtener así un tipo de harina. El enfoque de este proyecto es analizar la viabilidad económica de la realización de ésta harina como una alternativa de producción para la empresa, puesto que al obtener el producto de esta manera, se logra venderlo como seta, lo cual evita la subestimación del valor comercial de la misma, que es lo que actualmente sucede al tratarlo como composta.

1.2 Objetivos del proyecto

1.2.1 Objetivo general

Determinar la rentabilidad de la realización de una harina a base de *Pleurotus pulmonarius* y comparar con la rentabilidad del producto que actualmente se está produciendo con los sobrantes (composta).

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar una caracterización de los procesos de cultivo, recolección y empaque de la seta fresca y la composta.
- Caracterizar el proceso de deshidratación de la seta usando un secador de bajo consumo energético y evaluar los costos del mismo para la producción de la seta deshidratada.
- Estimar los costos que generan el secado, la molienda y el empaque de la harina con el fin de obtener la información necesaria para la comparación con el proceso que convierte los residuos de setas y sustrato en composta.
- Realizar un análisis de viabilidad económica que sustente o rechace la preparación de la harina como alternativa de negocio.

1.3 Metodología

1.3.1 Tipo de estudio

El estudio que se realizó en este proyecto es inicialmente de tipo descriptivo porque se realizó una observación de los procesos de la empresa y una revisión de la literatura, con el fin de describir los hechos, situaciones y eventos que ocurren en la industria de las setas; buscando la recolección de información necesaria para concluir en una viabilidad económica. En el aspecto relacionado a la deshidratación, el estudio se tornó de tipo experimental al realizarse un diseño de experimentos para sustentar las condiciones en las que se obtiene una deshidratación a bajo costo que permitiera proseguir con la molienda de la seta.

1.3.2 Fuentes

Las fuentes utilizadas para la recolección de información fueron:

- **Primarias.** Se hizo una observación de los procesos de la empresa Hepperly Enterprises con el fin de caracterizar el proceso actual de producción, buscando la recolección de información que permitiera encontrar los datos necesarios para realizar el estudio económico.
- **Secundarias.** Se realizó un sondeo en la literatura buscando información relacionada con las características de las setas, la industria de las mismas, los métodos de deshidratación aplicados en la actualidad y diversos estudios económicos realizados con anterioridad.

1.3.3 Procedimiento

El proyecto se desarrolló de acuerdo al siguiente procedimiento:

- **Revisión de literatura.** Ésta etapa incluye obtención de información a cerca de la composición de las setas del género *Pleurotus*, haciendo énfasis en las especies *Pleurotus pulmonarius* y *Pleurotus ostreatus*, su morfología, su forma de cultivo, sus usos en cuanto a la alimentación y la salud de las personas, los diferentes métodos de

deshidratación y conservación de las mismas y los productos que pueden ser creados a base de éstas. También se hará un sondeo de los diferentes métodos de evaluación económica que existen para aclarar los conceptos y hacer una mejor elección de los que se deban usar en el presente análisis.

- **Caracterización del proceso actual de producción.** Ésta etapa consiste en observar y documentar el proceso de cultivo, recolección y empaque de la seta fresca al igual que el proceso de compostaje con el fin de entender los costos en que se incurre en ambos procesos. Para la caracterización se hicieron visitas a la empresa en época de siembra y recolección para entender con precisión todas las actividades que se realizan. Estas actividades fueron documentadas minuciosamente a manera informativa.
- **Análisis de sobrantes.** Después de la recolección y venta de las setas frescas quedan sobrantes de producto. Se observó la cantidad de los mismos con el fin de estimar el volumen de setas que queda y así poder evaluar la necesidad de infraestructura para la deshidratación del producto.
- **Deshidratación de la seta.** En ésta etapa se realizaron experimentos para deshidratar las setas por medio de un proceso artesanal. Se tomaron datos del peso de las setas después de cada proceso de deshidratación, siendo ésta la variable respuesta a la que se le hicieron los análisis. Para las pruebas se construyó un horno con una caja de cartón, una rejilla, un bombillo, una entrada de aire y una chimenea; para saber la potencia requerida se hicieron pruebas con bombillos de diferentes potencias con el fin de determinar la combinación de potencia y tiempo que provea el mejor secado. Se realizaron las pruebas con y sin deshumidificador al igual que con y sin ventilación para observar la necesidad de los mismos. Los análisis hechos a los datos colectados con las diferentes configuraciones del horno deshidratador permitieron encontrar la configuración ideal.
- **Molienda.** Se tomaron las setas deshidratadas y se hicieron pruebas en un molino de disco para encontrar la posibilidad de triturar la seta hasta lograr una contextura tipo harina.
- **Análisis de Factibilidad Económica.** Este análisis se hizo para evaluar la factibilidad de la producción de harina en comparación con el subproducto actual (composta). Se

tomo la información obtenida por la empresa Hepperly Enterprises sobre el costo de producir una libra de setas. Se determinó la cantidad de sobrante de sustrato para determinar parte del costo de producción de la composta. De acuerdo a la caracterización del proceso de la composta y de la producción de harina se estimaron los costos relacionados a cada proceso. Teniendo en cuenta diferentes cantidades de sobrantes de setas frescas, se evaluaron dos escenarios mediante el método de la tasa interna de retorno (en un horizonte de tiempo de cinco años), el primero fue la opción donde los sobrantes de setas se compostan y el segundo fue la opción donde los mismos se deshidratan para hacer harina y la composta se hace sin ellos. Luego se procedió a indagar sobre la viabilidad de realizar una cantidad de harina mayor a la que se hace con los sobrantes, para lo cual se compararon los márgenes de ganancia (calculados teniendo en cuenta el valor presente neto de los costos en un horizonte de cinco años, las unidades producidas y el precio actual de una bolsa de composta y para el caso de la harina, el precio de venta de la empresa Mighty Mushrooms) del escenario dos y de las setas destinadas a la venta en fresco.

- **Generación de reporte final.** Partiendo de los resultados obtenidos en las comparaciones hechas con la tasa interna de retorno obtenida para los dos escenarios, y los margenenes de ganancia de hacer harina y composta sin sobrantes versus hacer setas para la venta en fresco, se procedió a dar recomendaciones a la empresa con respecto a la viabilidad económica de la preparación de la harina y se sugirieron trabajos de investigación similares para evaluar opciones reducción de costos en el proceso de producción de harina de setas al igual que opciones de negocio adicionales para la empresa Hepperly Entreprises.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

A fin de satisfacer los objetivos a través de la revisión de literatura, es necesario identificar los siguientes puntos: generalidades acerca del genero *Pleurotus*, descripción de la especies *Pleurotus pulmonarius* y *Pleurotus ostreatus*, procesos de conservación de las setas, glutamato en las setas *Pleurotus* spp, productos a base de setas y evaluación económica.

2.1 Generalidades acerca del género *Pleurotus*

Inicialmente, las setas eran clasificadas dentro del reino de las plantas debido a sus atributos estructurales poco complicados. Después de realizarse múltiples estudios se llegó a la conclusión que éstas conforman un reino aparte y, por lo tanto, se dejaron de considerar vegetales. Las setas se alimentan de materiales orgánicos que se encuentran en tejidos vivos o muertos de plantas o animales.

El cultivo de setas tiene un gran potencial en el campo de la producción de alimentos ricos en proteínas de buena calidad y en el campo del reciclaje de agro-residuos ricos en celulosa. Según Lindequist et al. (2005) existen 14,000 especies de setas conocidas dentro de las cuales las más comunes son: *Agaricus bisporus* (champiñón), *Lentinus edodes* (shiitake), *Pleurotus* spp. (hongo ostra), *Volvarella volvavea* (hongo straw), *Flammulna velutipis* (hongo de invierno) y el *Auricularia polytricha* (hongo oreja).

Las setas del género *Pleurotus* son saprófitos y por lo tanto se alimentan de materiales orgánicos muertos. Este género tiene un alto reconocimiento debido a su contenido proteínico. En comparación con los vegetales y la carne, Chang y Miles (1989) exponen que las setas frescas en general, tienen un contenido proteínico de alrededor dos veces más que los vegetales a excepción de las arvejas. Según Flegg, et al. (1985) las setas del género *Pleurotus*, como también las setas *Agaricus bisporus*, *Lentinus edodes* y *Volvariella volvacea*, tienen dos veces más proteínas que los espárragos y el repollo, y cuatro y doce veces más proteína que las naranjas y las manzanas, respectivamente. El

rendimiento de digestión de esta proteína es del 71 al 90 porciento en los humanos y ratas mientras que en el caso de la carne, la digestión de su proteína es del 99 porciento.

De acuerdo a Bernás, et al. (2006) existen nueve aminoácidos esenciales (ver Tabla 1) que deben estar presentes de manera simultánea y en las cantidades correctas para que la síntesis de las proteínas ocurra. Cuando una proteína contiene los aminoácidos esenciales se dice que es de alta calidad. En el caso de las plantas, estas suelen tener falencias en ciertos aminoácidos como es el caso de los cereales que tienen poca lisina y, por lo tanto, se recomienda que este tipo de alimentos sean consumidos simultáneamente con las setas para balancear el nivel de aminoácidos esenciales en la dieta.

Tabla 1. Proporción de aminoácidos esenciales por cada 100 gramos de proteína cruda (Chang y Miles 2004)

Aminoácido	*Agaricus bisporus*	*Lentinula edodes*	*Pleurotus florida*	*Pleurotus ostreatus*	*Pleurotus sajor-cajun*	*Volvariella diplasia*	*Volvariella volvacea*	Huevo de gallina
Leucina	7.5	7.9	7.5	6.8	7.0	5.0	4.5	8.8
Isoleucina	4.5	4.9	5.2	4.2	4.4	7.8	3.4	6.6
Valina	2.5	3.7	6.9	5.1	5.3	9.7	5.4	7.3
Triptófano	2.0	-	1.1	1.3	1.2	1.5	1.5	1.6
Lisina	9.1	3.9	9.9	4.5	5.7	6.1	7.1	6.4
Treonina	5.5	5.9	6.1	4.6	5.0	6.0	3.5	5.1
Fenilalanina	4.2	5.9	3.5	3.7	5.0	7.0	2.6	5.8
Metionina	0.9	1.9	3.0	1.5	1.8	1.2	1.1	3.1
Histidina	2.7	1.9	2.8	1.7	2.2	4.2	3.8	2.4
Total	38.9	36.0	46.0	33.4	37.6	48.5	32.9	47.1

Por lo anterior, es destacable el hecho de que las setas son un alimento rico en proteínas y representan una fuente alternativa de de las mismas para las personas con

necesidades nutricionales especiales (como es el caso de los vegetarianos y de aquellos con deficiencias en su nutrición).

El valor nutricional en general (teniendo en cuenta el contenido de proteínas, carbohidratos, fibra, vitaminas y minerales) de las setas del género *Pleurotus* en comparación con otro tipo de alimentos se puede apreciar en la Figura 1.

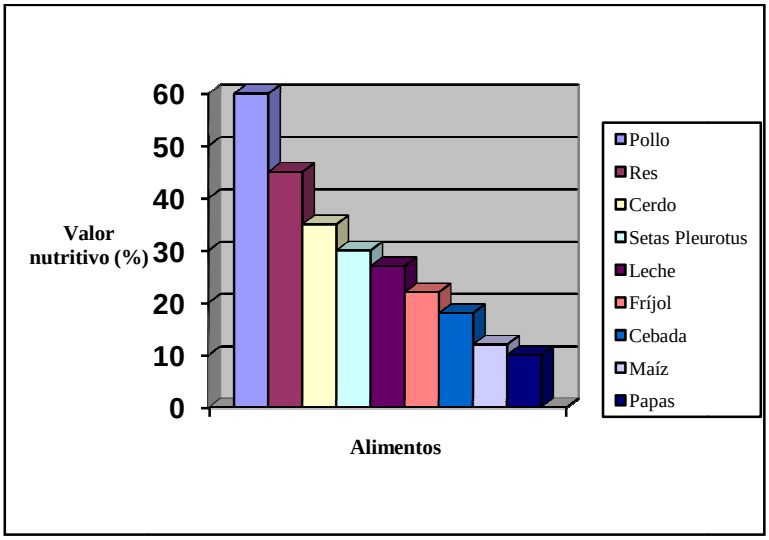


Figura 1. Valor nutricional de la seta *Pleurotus* (Gaitán et al, 2002)

Las setas de tipo *Pleurotus* contienen un porcentaje de proteínas del 10 al 30 porciento en peso seco y del 3.5 al cuatro porciento en peso fresco. En cuanto a carbohidratos se tiene que estas poseen en promedio un contenido de 64 porciento en peso seco lo cual es superior en comparación con el *Agaricus bisporus* el cual contiene un 60 porciento de carbohidratos en peso seco (las comparaciones se hacen con la seta *Agaricus bisporus* o champiñon porque es la seta más común en el mercado y más conocida por las personas). El contenido de fibra en promedio es de 17.5 porciento en peso seco comparado a un promedio de 9.2 porciento en *Agaricus bisporus*. El contenido de vitaminas en este tipo de seta es bastante alto. Para una base de 100 gramos en peso seco se tiene que la tiamina varía entre 1.16 y 4.8 mg. En cuanto a la niacina, ésta varía entre 46 y 108.7 mg, mientras que la vitamina C, o ácido ascórbico, varía entre 36 y 58 mg. Los minerales que estas setas tienen los toman del sustrato; el mineral con el

contenido más alto es el potasio, seguido del fósforo, sodio, calcio y magnesio. También contienen cobre, zinc, hierro, manganeso, molibdeno y cadmio en menores cantidades. En la especie *Pleurotus* el contenido de cobre es más alto que en las demás especies de setas. La Tabla 2 muestra la composición aproximada de las especies más comunes de setas.

Tabla 2. Porcentaje del valor nutritivo de las setas cultivadas por cada 100 gramos de peso seco (Chang y Miles, 2004)

Especie	Humedad (porcentaje en peso fresco)	Proteína Cruda	Grasa Cruda	Carbohidratos Totales	Fibra Cruda	Cenizas	Valor Energético
Agaricus bisporus	78.3-90.5	23.9-34.8	1.7-8.0	51.3-62.5	8.0-10.4	7.7-12.0	328-368
Agaricus campestri	89.7	33.2	1.9	56.9	8.1	8.0	354
Boletus edulis	87.3	29.7	3.1	59.7	8.0	7.5	362
Flammulina velutipes	89.2	17.6	1.9	73.1	3.7	7.4	378
Lentinula edodes	90.0-91.8	13.4-17.5	4.9-8.0	67.5-78.0	7.3-8.0	3.7-7.0	387-392
Pleurotus vous	92.2	25.0	1.1	59.2	12.0	9.1	261
Pleurotus florida	91.5	27.0	1.6	58.0	11.5	9.3	265
Pleurotus ostreatus	73.7-90.8	10.5-30.4	1.6-2.2	57.6-81.8	7.5-8.7	6.1-9.8	345-367
Pleurotus pulmonarius	90.1	26.6	2.0	50.7	13.3	6.5	300
Volvariella diplasia	90.4	28.5	2.6	57.4	17.4	11.5	304
Volvariella volvacea	89.1	25.9	2.4	53.6	9.3	8.8	276

2.2 Descripción de las especies *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus pulmonarius*

De acuerdo a Job (2004) los hongos en forma de ostra *Pleurotus ostreatus* y *Pleurotus pulmonarius*, han sido consumidos desde la antigüedad en diversas regiones de Europa, pero su cultivo industrial comenzó justo al final de la segunda guerra mundial. La producción de estos hongos, apreciados tanto por sus cualidades gustativas como por su potencial en la medicina tradicional asiática, ha aumentado enormemente. En el caso del *Pleurotus ostreatus*, se ha convertido en la segunda especie más cultivada en el mundo, con una producción estimada en 900,000 toneladas anuales. El *Pleurotus* es un hongo comestible gastronómicamente de primera calidad. Su color es comúnmente blanco o castaño, aunque hay variedades azuladas y rosadas. Su carne es compacta en el sombrero y fibrosa y blanca en el pie con sabor y olor agradable (ver Figuras 2 y 3).

En el caso del *Pleurotus ostreatus*, sus pocos requerimientos nutricionales y su fácil adaptación a los ambientes de cultivo, hacen que éste requiera de técnicas simples y baratas para su producción.

La seta *Pleurotus pulmonarius* es una variedad muy similar a la seta *Pleurotus ostreatus*. Su diferencia radica en su color, en su tamaño (es más pequeño que el *Pleurotus ostreatus*). En términos del cultivo, la seta *Pleurotus pulmonarius* puede cultivarse a temperaturas más altas de lo que puede el *Pleurotus ostreatus*. Sin embargo, las personas comúnmente no notan diferencias en su sabor ya que ambas tienen un sabor fuerte y son de contextura carnosa.

El *Pleurotus pulmonarius* suele ser llamado también *Agaricus pulmonarius*, *Pleurotus sajor caju*, *Pleurotus ostreatus f. pulmonarius* y *Pleurotus ostreatus* variedad *pulmonarius* (Indexfungorum, 2004)

Figura 2. *Pleurotus ostreatus.* (Guzmán G. y Mata G., 1993)

Figura 3. *Pleurotus pulmonarius*. (Naturephoto, 2008)

2.2.1 Clasificación de las setas

Pleurotus ostreatus

Reino:	Fungi
Subreino:	Fungi superior
División:	Basidiomycota
Superclase:	Holobasidiomycia
Clase:	Hymenomycetes
Orden:	Agaricales
Familia:	Tricholomataceae
Género:	*Pleurotus*
Especie:	*Pleurotus ostreatus*

Nombres vulgares:	Pleuroto en forma de concha, orellana, oreja blanca, seta ostión, hongo ostra. (Guzmán et al. 1993)

Pleurotus pulmonarius

Reino:	Fungi
Subreino:	Fungi superior
División:	Basidiomycota
Superclase:	Holobasidiomycia
Clase:	Hymenomycetes
Orden:	Agaricales
Familia:	Tricholomataceae
Género:	*Pleurotus*
Especie:	*Pleurotus pulmonarius*
Nombres vulgares:	Pleuroto blanco, seta Phoenix, hongo ostra blanco, orellana, oreja blanca, hongo ostra. (Guzmán et al. 1993)

2.2.2 Morfología

La seta *Pleurotus ostreatus* tiene esporas blanquecinas con tonos púrpura. El sombreo o píleo es frágil, su tamaño oscila entre cinco y 15 centímetros dependiendo de la edad del hongo. Su color varía también con la edad, puede ir desde gris claro y crema hasta pardo. Con el tiempo este hongo suele ponerse de una apariencia amarillenta y oscura. El sombrerillo es quién protege a las láminas o himenio, el cual se ubica hacia abajo del mismo. El himenio es la parte fértil del hongo, donde se producen las esporas. El pie es quien sostiene el sobrerillo de la seta, su textura es más dura, su color varía entre blanco y crema y está ubicado en la parte lateral del sombrerillo.

La seta *Pleurotus pulmonarius* tiene un color entre blanquecino y marrón aunque éste varía con la edad. Su tamaño es menor al del *Pleurotus ostreatus*. El sombrerillo tiene un tamaño mayor al del pie el cual está ubicado a un lado del mismo y debajo de él están ubicadas las láminas las cuales se aprecian a simple vista porque son prominentes. Este

hongo tiene un parecido en su forma a la de un pulmón, de allí se deriva el nombre de su especie.

2.2.3 Propiedades medicinales

El género *Pleurotus* se usa en medicina tradicional para prevenir o remediar alrededor de 30 enfermedades. La mayoría de las especies de este género tienen propiedades antitumorales además de ayudar a la reducción de la presión arterial e inflamaciones.

Pleurotus ostreatus y *Pleurotus pulmonarius* contienen *Lovastatina*. Este componente es usado para atacar la hipercolesterolemia y suele prevenirla en un 38 porciento, reduciendo la cantidad de colesterol en el hígado en un 25 porciento. También contienen quitina, un componente conocido gracias a anuncios que promueven la pérdida de peso. Este polisacárido absorbe las grasas en el tracto digestivo.

Según Lindequist et al. (2005) las setas *Pleurotus pulmonarius* contienen metanol el cual tiene propiedades antioxidantes que ayudan a la reducción de tumores. Las setas *Pleurotus ostreatus* poseen componentes con propiedades que ayudan a proteger las células de degeneraciones que llevan al cáncer; una dieta compuesta por un cinco porciento de la seta seca reduce los cambios patológicos en las células que inducen el cáncer de colon en ratas, este efecto se atribuye a las propiedades antioxidantes de esta especie. Esta seta también posee un efecto que disminuye la arterosclerosis, enfermedad común en países industrializados donde las personas alcanzan niveles altos de estrés y por su poco tiempo, consumen comidas rápidas que suelen ser poco alimenticias y ricas en grasas.

Es por este tipo de propiedades que hoy en día existen productos farmacológicos a base de setas. Estos son muy utilizados para acompañar tratamientos de enfermedades como el cáncer.

2.2.4 Formas de cultivo

El *Pleurotus* en general suele reproducirse en materiales lignocelulósicos ya que ellos degradan el complejo lignina-celulosa para alimentarse. Es por esto que también es factible realizar el cultivo de *Pleurotus pulmonarius* y *Pleurotus ostreatus* sobre desechos de madera, y sobre materiales derivados de la misma. Debido a que estas especies degradan materiales para su alimentación, se ha considerado que estas son una buena alternativa para ayudar al reciclaje. Las especies *Pleurotus*, tienen un sistema de enzimas capaces de degradar materiales orgánicos complejos (como lo son los residuos industriales y agroindustriales) para su alimentación. También es importante aclarar que el substrato que queda después del cultivo de las setas, es utilizado como fertilizante para plantas y esto genera un subproducto del cual se puede sacar provecho. A continuación se describen las diferentes formas de cultivo que se han estudiado para las setas *Pleurotus pulmonarius* y *Pleurotus ostreatus*.

2.2.4.1 *Pleurotus pulmonarius*

Sus formas de cultivo son variadas. En un estudio realizado por Oliveira et al. (2002) se realizó el cultivo de cepas de *Pleurotus pulmonarius* en *Cymbopogon citratus* (conocido comúnmente como pasto de limón, usado para realizar té o perfumes), sobre hojas de *Panicum maximum*, y sobre los desechos de algodón. Se inocularon los diferentes substratos (pasteurizados previamente con vapor de agua a 100 $^{\circ}C$ o 212 $^{\circ}F$ durante tres horas) y se colocaron en un invernadero a temperatura entre 20 y 25 $^{\circ}C$ (68 y 77 $^{\circ}F$) y humedad entre de 80 y 90 porciento. Luego se llevó a cabo un análisis de proteínas, lípidos, cenizas, glucosa, fibra y minerales a las setas cultivadas en cada uno de estos substratos con el fin de determinar cuál es el mejor de ellos, obteniendo como resultado que el mejor sustrato para este tipo de seta es el desecho de algodón.

Bernabé et al. (2004) tomó una cepa de *Pleurotus pulmonarius* y la propagó en agar con dextrosa de papa con el fin de obtener suficientes semillas para su estudio. En este se analizaron 11 tipos de sustratos compuestos por rastrojo de jícama (*Pachyrrhizus erosus L.*), bagazo de maguey mezcalero (*Agave cupreata L*) y paja de arroz (*Oryza sativa L*).

Los sustratos se prepararon con los materiales anteriormente mencionados y sus combinaciones en diferentes proporciones. El rastrojo de jícama y el bagazo de maguey recién desechados se fermentaron durante siete días con el fin de eliminar azucares y sustancias que se interponen en el crecimiento micelial, luego se amontonaron en porciones de 90 cm. de altura y se empaparon con agua hasta que alcanzaran una humedad del 80 porciento. Una porción del rastrojo de jícama fue deshidratado al sol durante tres días y luego guardado en bolsas de polietileno durante cuatro meses con el fin de evaluar también su factibilidad como sustrato. Después de tener los sustratos preparados, se procedió a pasteurizarlos sumergiéndolos en agua a 80 $^{\circ}C$ (176 $^{\circ}F$) de temperatura durante un período de una hora. Luego fueron colocados en bolsas de polietileno (de 50 x 70 cm.) y mezclados con el inóculo a una razón del cuatro porciento con base en el peso húmedo de los sustratos. Una vez inoculados se trasladaron a un cuarto oscuro con temperatura entre 22 y 30 $^{\circ}C$ (72 y 86 $^{\circ}F$) y equipado con aspersores que regaban las bolsas entre tres y cuatro veces al día con la finalidad de mantener la humedad; las bolsas fueron mantenidas allí hasta ver la formación de los primordios, luego se trasladaron a un cuarto con luz y temperaturas de 23 y 32 $^{\circ}C$ (73 y 90 $^{\circ}F$) donde el período de producción osciló entre 45 y 66 días. Los parámetros evaluados fueron el número de días hasta que aparecieron los primordios, el número de cosechas obtenidas por cada sustrato, la eficiencia biológica (tomada como los gramos de setas frescas cosechadas / 100 gr de peso en base seca del sustrato) y la tasa de producción (eficiencia biológica / número de días transcurridos desde la siembra hasta el último día de producción). Se obtuvieron resultados que indicaban la formación de primordios en un tiempo entre 16 y 30 días después de la inoculación. Del sustrato de rastrojo de jícama seco se obtuvieron solo dos cosechas mientras que de los otros diez se obtuvieron tres cosechas, los sustratos alcanzaron entre el 72 y 87 porciento de su producción en las primeras dos cosechas.

Después de los análisis se encontró que los sustratos más provechosos fueron el rastrojo de jícama mezclado con rastrojo de maíz en una proporción 1:1 y estos mismos en una proporción 2:1. La eficiencia biológica de la primera mezcla fue de 153.69

porciento y de 163.79 porciento para la segunda mezcla, sus tasas de producción fueron de 3.41 y 3.15 porciento y su periodo de producción de 45 y 52 días, respectivamente.

2.2.4.2 *Pleurotus ostreatus*

Esta seta se puede cultivar sobre la borra de café mezclada con materiales lignocelulósicos. Job (2004) presenta un estudio donde analizó seis tipos de sustratos hechos a base de borra de café mezclada con aserrín y paja de trigo (todos los componentes anteriores fueron previamente secados), las mezclas fueron depositadas en frascos de vidrio de 2500 ml de capacidad y se inocularon con cuatro cm^2 de semilla de *Pleurotus ostreatus*, luego se incubaron en la oscuridad a 25 $°C$ (77 $°F$) y cuando los primordios comenzaron a formarse, se trasladaron a un cuarto con temperatura y humedad controlada a 17 $°C$ (63 $°F$) y 95 porciento, respectivamente. Se calculó el rendimiento del inóculo en términos de los gramos frescos de fructificación recogida sobre el peso inicial del sustrato seco por el 100 porciento y, después de obtener los frutos se encontró que el haber añadido borra de café a la paja y el aserrín no afecta el rendimiento del inóculo. Esto es algo positivo para las empresas que producen café instantáneo y generan gran cantidad de borra de café como desecho ya que los productores de setas pueden tomar este desecho y utilizarlo en la realización de sus sustratos.

Wang et al. (2001) presenta un estudio del cultivo de *Pleurotus ostreatus* sobre desechos de grano de cerveza puesto que éste es rico en compuestos lignocelulósicos, además de tener un alto contenido de humedad. Se prepararon cuatro tipos de sustratos con tres tipos de grano de cerveza (estos granos diferían en su composición) combinados con cereales de trigo, arroz y maíz, y con aserrín. Estos fueron depositados en botellas de 140 ml a una humedad del 65 porciento y una densidad de empaque de 60 gr de sustrato por 100 ml de volumen. Una vez el sustrato estaba en las botellas, se procedió a esterilizarlas en una olla autoclave a 121 $°C$ (250 $°F$) durante 20 minutos. El sustrato estéril se inoculó a una proporción de ocho porciento y luego se cubrieron las botellas con papel aluminio; estas se llevaron a un cuarto, durante tres semanas, acondicionado con una humedad relativa del 70 porciento y una temperatura de 20 $°C$ (68 $°F$). Luego

de este tiempo se acondicionó el cuarto a una temperatura de 14 $°C$ ($57°F$) y una humedad relativa del 90 porciento y se esperó durante tres semanas más hasta que se dieron las fructificaciones. Después de la cosecha se analizó la eficiencia biológica (peso en base seca de las setas cultivadas / peso inicial en base seca del sustrato) de las setas, hallando que el sustrato compuesto por el tipo de grano de cerveza con menor contenido proteínico, menor celulosa y lignina, mezclado con cereal de trigo, tiene la mayor eficiencia biológica. Al comparar esta eficiencia biológica con la eficiencia biológica de las setas cultivadas en aserrín con cereal de trigo, se encontró que al reemplazar el aserrín por grano de cerveza, la eficiencia biológica de las setas era mayor. Se determinó en el estudio que la humedad óptima para el sustrato a base de grano de cerveza, es del 70 porciento porque en este punto se alcanza la eficiencia biológica mayor. También se encontró que el contenido proteínico de las setas se incrementa al usar grano de cerveza. Por lo anterior, es factible tener en cuenta los residuos de granos de cerveza para el cultivo de la especie *Pleurotus ostreatus*. Debido a que las setas del género *Pleurotus* degradan materiales ricos en lignina y celulosa, es factible cultivarlos en madera o productos derivados de la misma.

Baysal et al (2003) presentan un estudio donde se cultiva *Pleurotus ostreatus* en un sustrato a base de papel reciclado. Se prepararon siete tipos de sustratos con el papel reciclado y sus combinaciones con excremento de pollo, pasilla de arroz y residuos de vegetales. El papel fue cortado en piezas de tres a cinco cm de largo y fue remojado en agua al igual que los aditivos, esto con el fin de obtener una humedad del 75 porciento. Se incorporaron los aditivos al papel reciclado y se empacaron en bolsas de polietileno de 25 a 35 cm de largo. Las bolsas con el sustrato fueron esterilizadas a 60 $°C$ ($140°F$) durante ocho horas y luego fueron inoculadas con semilla de *Pleurotus ostreatus*. Se llevaron a un cuarto oscuro a una temperatura de 25 $°C$ ($77°F$) hasta que el micelio fue totalmente colonizado por la seta. Luego de este proceso, se llevaron a un cuarto a una temperatura de 15 $°C$ ($59°F$) y una humedad relativa entre 80 y 90 porciento. Después de realizar la experimentación, se encontró que el sustrato con mayor producción es papel reciclado con pasilla de arroz a una proporción de 80:20, respectivamente. Esta forma de

cultivo da una opción más para reciclar los desechos de grandes industrias que en muchas ocasiones causan daño a la humanidad.

2.3 Procesos de conservación de las setas

Las setas son un tipo de alimento que expira en un lapso de aproximadamente ocho días después de su recolección. Se han estudiado técnicas con el fin de lograr preservarlas por mayor tiempo como envasarlas en conserva, refrigerarlas o deshidratarlas. En el caso de la deshidratación se tiene que ésta preserva y realza el sabor de la seta y que baja el contenido de humedad de la misma a un 10 porciento aproximadamente, también se considera una técnica económica en relación al resto e incrementa la vida útil de la seta a un año. A continuación se presentan diferentes procesos de conservación de setas haciendo énfasis en el proceso de deshidratación.

2.3.1 Refrigeración

Este proceso permite mantener los hongos y es usado cuando se desea vender el producto de forma fresca. Según Guzmán et al (1993), para el proceso de refrigeración se deben tomar recipientes preferiblemente plásticos, los cuales se llenan con setas a dos tercios de su capacidad dejándolos abiertos para lograr que haya mayor circulación de aire. La refrigeración debe darse a una temperatura entre cero y dos grados centígrados (32 y 35.6 $°F$). A una temperatura de cero grados centígrados la actividad metabólica de los tejidos de la seta es baja, pero no nula. A temperaturas entre -0.9 y -1.2 $°C$ (30.4 y 29.8) agua de los tejidos se congela y puede generar cristales de hielo que rompen las estructuras celulares; así cuando las setas se descongelan, se reinician las interacciones enzima-sustrato de los tejidos y, por consiguiente, se origina un deterioro rápido del producto.

Cuando la temperatura se baja, disminuye la presión de vapor de agua con lo cual se produce su evaporación sobre la superficie de los carpóforos. Debido a esto es importante mantener un nivel de humedad entre 85 y 95 porciento.

2.3.2 Conservación en salmuera

Guzmán et al. (1993), presentan este procedimiento como una forma de conservación donde el producto termina de manera enlatada. Consiste en conservar los hongos en una solución acuosa con una concentración de sal elevada que evita el crecimiento de agentes de putrefacción y permite la preservación. Para llevarla a cabo se deben lavar los hongos y luego vaciarlos en agua hirviendo durante tres a ocho minutos dependiendo del tamaño. Con las setas precocidas, se decanta el agua y se los sumerge en una solución salada con una concentración del 22 al 25 porciento de 10 a 15 días. Las setas deben estar sumergidas totalmente, estas emitirán espuma la cual debe ser removida de la solución cada tres días. Igualmente la concentración salina debe estarse revisando con el fin de impedir que baje del 18 porciento. Una vez transcurra el tiempo de salado, las setas se drenan y se colocan en un recipiente de vidrio o plástico que contengan una solución salina al 18 o 20 porciento a la cual se le agrega 80 gr. de acido cítrico por cada 100 Kg. de setas previamente saladas.

2.3.3 Deshidratación

Existen diversas formas de deshidratar las setas con el fin de lograr un mayor tiempo de preservación. Este proceso consiste en reducir la humedad del alimento a un punto aceptable. Según Coultate (1996), éste punto se encuentra cuando el alimento alberga una humedad del 18 porciento en base húmeda. Funebo y Ohlsson (1999) realizaron una investigación para estudiar la deshidratación de manzanas y setas por medio de aire calentado por microondas. Los alimentos congelados se dejaron a temperatura ambiente durante 15 minutos y se dividieron en secciones de cinco milímetros, luego se incorporaron en un horno tipo microondas y se realizó un experimento factorial con tres variables (Temperatura del aire, temperatura máxima en el centro del alimento y velocidad del aire), dos niveles y tres puntos centrales. El nivel de energía del microondas se controló continuamente para tener la temperatura al nivel máximo permitido. En el caso de las setas se encontró que a una temperatura del aire de $80\,°C$ ($176\,°F$), una temperatura del centro del alimento de $80\ °C$ y una velocidad del aire de 1.5 m/s, estas

pueden ser deshidratadas en 40 minutos por el microondas hasta que su humedad sea de 0.1 Kg. sobre Kg. de seta seca.

Guzmán et al. (1993) presentan un procedimiento de secado al sol donde las setas son puestas en recipientes plásticos o de madera que sean poco profundos y que tengan una rejilla en el fondo para facilitar la circulación del aire. Luego estos se colocan inclinados en uno de sus lados, recostados en una pared u objeto para que el aire circule por la rejilla. Se debe tener en cuenta que hay que estarlos cambiando de posición con el fin de que siempre estén de cara al sol. Los recipientes deben cubrirse con mantas mosquiteras para evitar la contaminación por insectos o polvo. Las setas se dejan allí expuestas al sol durante dos o tres días dependiendo de la humedad del lugar y se puede determinar este tiempo verificando si la seta está seca. Para determinar cuando están secas se tocan las setas para sentir su consistencia; si ésta es quebradiza quiere decir que está seca, si por el contrario es flexible entonces no se han deshidratado completamente y deben dejarse más tiempo al sol.

El procedimiento de secado al sol directamente es quizá el más económico pero presenta inconvenientes en cuanto al manejo del alimento ya que es muy probable que se dé la contaminación del mismo aún cuando éste se encuentre aislado por mantas porque la sola humedad puede causar el deterioro.

Madhlopa et al. (2002) presentan una forma de convertir la radiación solar, en energía térmica. Se construyó un secador solar el cual constó de un colector de luz solar y una cámara de secado. El colector de luz solar tiene la función de calentar el aire que va a entrar a la cámara de secado para deshidratar la comida. Ambos fueron construidos de láminas de madera que fueron pintadas de rosado en el exterior para proteger la madera. El colector de luz fue pintado de negro en el interior para engrandecer la absorción de calor. Dentro de éste se ubicó una vara de aluminio para mayor absorción de calor, se le hizo una puerta de gasa plástica con el fin de facilitar la entrada de aire y evadir la contaminación del ambiente, se cubrió con una capa de vidrio en el exterior y se inclinó a 16^{o} del piso. La cámara de secado fue pintada en su interior de color blanco. Esta cámara consta de una cama de secado (donde se ubican los alimentos) compuesta de marcos de

madera cubiertos con plástico el cual lleva unos orificios pequeños para facilitar la entrada de aire a la comida y evitar igualmente que se caiga. En la parte superior de la misma se ubicó una chimenea construida de láminas acero galvanizado pintadas de negro para incrementar la absorción solar. El secador solar fue ubicado en una plataforma a 8 metros sobre el nivel del suelo para evitar la sombra que podía darse debido a construcciones o árboles de los alrededores. Para el experimento se utilizaron ocho mangos cortados en piezas de un ancho menor a 5 milímetros; dos de estos fueron tomados para análisis de humedad, pH y ácido ascórbico. Los otros seis fueron secados en el secador solar (un mango a la vez) durante un tiempo que varió entre tres y cinco días dependiendo de las condiciones ambientales, y luego analizados de la misma manera que los mangos frescos para hallar las diferencias. Se observó que el secador redujo el contenido de humedad desde 85 ± 3 porciento hasta 13 ± 2 porciento. En cuanto al pH se observó que pasó de 4.1 ± 0.1 a 3.4 ± 0.3, mostrando que las piezas de mango seco son más ácidas que las de mango fresco y, por lo tanto, tienen una mayor resistencia al crecimiento de microorganismos y, por ende, se conservan más.

Finalmente, la cámara de secado retuvo una porción alta de ácido ascórbico (74 ± 22 porciento) lo cual se atribuye a que la radiación solar no fue directa sobre la fruta y por esto su evaporación no fue total. El anterior estudio muestra que es posible realizar el secado de alimentos mediante métodos de aprovechamiento de energía solar, lo cual se refleja en un buen producto y una reducción en costos.

Otra forma de deshidratación se da en cámaras con temperatura controlada y/o con ventilación. Este método es más rápido que la deshidratación solar además de que expone menos las setas a la contaminación ambiental, sobre todo en lugares donde la humedad es alta como es el caso de Puerto Rico. Según Guzmán et al. (1993) se pueden construir secadores de materiales como madera, ladrillo o lámina. Se construye un cuarto o estante (dependiendo del volumen a secar) y se les proporciona un sistema de ventilación con el fin de remover el exceso de humedad del aire y facilitar la entrada del aire fresco. Es ideal que el aire sea precalentado para generar un ambiente menos húmedo dentro del cuarto, también es posible usar deshumidificadores que proporcionen un aire más seco, sobretodo en lugares donde la humedad es alta. El sistema de ventilación puede estar

compuesto de abanicos comunes. El sistema de calentamiento se puede dar bien sea por focos o parrillas eléctricas.

Además de las técnicas anteriormente expuestas, existe la deshidratación por congelamiento o liofilización. Esta es común y muy utilizada en empresas donde el presupuesto es alto ya que es la forma de deshidratación más costosa. Es una técnica de preservación que se desarrolló a nivel industrial después de la segunda guerra mundial donde se vio la necesidad de preservar la sangre humana en gran cantidad. Se utiliza con el fin de secar un producto de manera que se evite al máximo los daños en su estructura física así como también la contaminación del producto por bacterias o la degradación química. Según Kett et al (2005) este proceso consiste en congelar el alimento hasta un punto donde no exista fase líquida en lo absoluto con el fin de que se pueda realizar un proceso de sublimación. Una vez congelado el producto, se le aplica calor, bajo condición de vacío, en una cantidad que permita la sublimación del agua. En ésta fase se evapora el 98 porciento del agua. Luego para evaporar el dos porciento restante, se baja la presión y se aplica más calor para lograr romper cualquier interacción físico-química que se ha formado entre las moléculas de agua y el material congelado. Esto se hace porque al secar a temperaturas bajas, se minimizan cambios en el alimento como la formación de piel, actividad bacterial o degradación química, además se termina con un producto de alta porosidad, facilitando el proceso de rehidratación.

2.4 Glutamato en las setas *Pleurotus* spp.

El glutamato es un aminoácido que el cuerpo humano es capaz de sintetizar por si solo a partir de otros componentes. Este aminoácido es neurotransmisor excitatorio (por lo cual se encuentra en el cerebro) pero también participa en procesos celulares de otras partes del cuerpo como en el intestino, el estómago, el páncreas y el bazo. En el cerebro actúa abriendo los canales de transmisión de calcio en las células, por lo cual es importante consumirlo de manera moderada ya que el exceso de glutamato puede causar degeneración en las células debido al exceso de calcio que estas podrían llegar a tomar.

El glutamato se encuentra en forma natural en productos que contienen proteínas como el queso, la leche, la carne, las arvejas, el tomate y las setas.

En su forma libre, el glutamato está siendo utilizado como realzador del sabor de las comidas. En el mercado se tiene un producto derivado del glutamato que se conoce como glutamato de monosodio (MSG) el cual fue producido comercialmente como un sazonador en Japón en 1909. Este es una sal que se obtiene por un proceso de fermentación de melazas hechas de caña de azúcar o de remolacha, aunque también se puede obtener por hidrolización de almidón, maíz, arroz, etc. Es utilizada principalmente en la cocina Asiática, en los vegetales enlatados, en las sopas y las carnes procesadas aunque también está presente en los sazonadores de las comidas que se encuentran en los supermercados y en meriendas como papitas, hojuelas de maíz, anillos de cebolla, etc.

Según Meadows (2003) en 1959 la FDA (Food and Drug Administration) clasificó el glutamato de monosodio como un ingrediente seguro siempre y cuando se utilice en cantidades moderadas (no más de 0.5 gramos por comida). Una dosis alta sería de tres gramos o más por comida. El MSG por sí solo no tiene ningún sabor, pero activa receptores en la lengua que producen un gusto particular en las comidas conocido como UMAMI.

Según Ninomiya (2002) hasta 1980 se asumía que existían cuatro sabores básicos: dulce, salado, amargo y acido; pero a partir de esta fecha se empezó a reconocer un quinto sabor denominado como umami. En las setas se encuentra glutamato, guanilato y 5'- inosinato (GMP), todos estos identificadores de sabor. Las setas, por lo tanto, tienen la capacidad de realzar el sabor en las comidas y es por esto que en la comida asiática encontramos que es común cocinar con la seta shiitake. Los contenidos de glutamato, guanilato e iosinato se pueden apreciar en la Tabla 3.

Tabla 3. Contenido de Glutamato, Guanilato y GMP en miligramos por cada 100 gramos de seta (Ninomiya 2002).

Tipo de seta	Presentación	Cantidad de Glutamato	Cantidad de Guanilato	Cantidad de GMP
Shiitake	Seco	1060	-	150
Shiitake	Fresco	71	-	0
Hongo ostra	Seco	314	10	10
Champiñón	Fresco	42	-	0

2.5 Productos a base de setas

Existen diversos productos que se han realizado a partir de las setas. Holtz (1994) presenta un estudio donde se realizaron tres sazones a base de hongos deshidratados.

El primer sazón se realizó con sabor a seta, el segundo sazón con sabor a carne y mantequilla y el tercer sazón con sabor a chocolate. Estos se realizaron a base de setas debido a que éstas poseen glutamato que lleva al ser humano a experimentar el quinto sabor conocido como umami. Éste estudio enumera diferentes productos que pueden realizarse a base de setas deshidratadas como lo son: base para sopas, salsa para espagueti o pizza, realzador de sabor en comidas, aderezo para ensaladas, paté y salsas.

En Chile se encuentra la empresa Setas Chile (Valenzuela, 2006) quienes están produciendo tallarines y paté de setas como una alternativa para la carne. En Colombia es natural encontrar en los supermercados, bases para crema de champiñones y son usadas como aderezo para carnes.

En Tennessee, Estados Unidos, existe una empresa llamada Wonder Laboratories (2008) quienes están produciendo suplementos a base de setas. Estos se venden en cápsulas y vienen en frascos de diferentes presentaciones y cantidades para darle opciones al consumidor. Estos suplementos son tomados como medicina alternativa para tratamientos de enfermedades que generan inmunodeficiencia en el paciente, como es el caso del cáncer. Así como Wonder Laboratories, existe en Estados Unidos también una

empresa llamada 4Life (2008) quienes producen un medicamento natural llamado "Transfer Factor Plus" el cual contiene extracto de hongos shiitake y maitake (*Grifota frondosa*) además de otros elementos naturales. Este medicamento es utilizado para tratamiento de enfermedades como el cáncer porque acelera la producción de células killer, las cuales forman parte del sistema inmunológico, y son las responsables de atacar la enfermedad.

La empresa Fungi Perfecti (2008) en Estados Unidos, produce medicinas para animales a base de setas. Estas son usadas para realzar el sistema inmunológico del animal. Proporcionan todo lo necesario para evitar inflamaciones y aumentar la movilidad, y vienen en presentaciones (galletas, polvo diluible y bizcochos) que son fáciles de suministrar.

La empresa Mighty Mushrooms (2008) en Nueva Zelanda, produce diversos productos como setas frescas, setas deshidratadas, setas deshidratadas ahumadas, polvo de setas y polvo de setas ahumadas. Todos los productos son hechos con setas de la especie *Pleurotus pulmonarius* y vendidos bajo pedido por internet, además de venderse también directamente al consumidor (siendo estos personas particulares, restaurantes y minoristas).

La empresa Gourmet Mushrooms (2008) de California vende setas ostras deshidratadas además de otros productos a base de otras setas. Los mismos venden 8 onzas de *Pleurotus ostreatus* deshidratado por un precio de 13 dólares. También ofrece un producto llamado "Pocini powder/flour" (polvo o harina de setas porcini) el cual se vende en 26 dólares por frasco de ocho onzas. Adicional a esto la empresa proporciona una información acerca del tamaño de grano, es decir, ellos informan que el producto se vende con un tamaño de grano de 40 mesh.

Pistol River Mushrooms (2008) ofrece un producto llamado "Meadow mushroom powder" (polvo de seta Meadow) como condimento para ensaladas y salsas. El mismo se vende a un precio de 3.5 dólares por botella de 2.5 onzas.

La empresa Herbal Remedies (2008) ubicada en Estados Unidos, ofrece polvo de setas *Grifola frondosa* conocida como Maitake como un suplemento alimenticio. El mismo se ofrece en bolsa de cuatro onzas a un precio de 15.45 dólares.

Se encontró un producto llamado Mushroom Optimizer (Penagro 2008) producido por la empresa Jarrow Formulas, el cual es un polvo de una combinación de siete especies de setas que se vende como un producto que apoya el sistema inmunológico y ayuda al funcionamiento de las células. El mismo se vende en un frasco de 45 gramos de polvo a un precio de 15.95 dólares.

Se hizo una cotización con la empresa Dehydrates Inc (2008) quienes ofrecen setas deshidratadas en polvo. Los mismos venden *Agaricus bisporus* o champiñon a empresas mayoristas como productores de alimentos. Su forma de venta es en bultos y el precio es de 8.95 dólares por libra.

Es común encontrar en Internet empresas que ofrecen diversos productos a base de setas. A raíz de los beneficios que se han encontrado en ellas, éstas se están produciendo y vendiendo cada vez más.

2.6 Evaluación económica

La evaluación económica de proyectos se hace para comparar los beneficios futuros que genera el proyecto, con la inversión a efectuar en el mismo. Esta evaluación se hace con el fin de encontrar la viabilidad económica de realizar la inversión. Para esto se debe realizar un estudio financiero de los procesos en los que se incurre en la elaboración del producto o servicio, sistematizando toda la información financiera de los procesos, inversiones, costos e ingresos que resultan del proyecto.

Según Hinojosa y Alfaro (2000) los métodos de evaluación económica se basan en comparaciones. Estos comparan sus resultados económicos, con los beneficios mínimos que los inversionistas están dispuestos a aceptar o con otras opciones de inversión que estén disponibles o accesibles.

Para realizar la evaluación económica de un proyecto de inversión, se deben proyectar los flujos de efectivo hacia el futuro. Estas proyecciones se hacen con base en las expectativas que el planeador tiene del presente y futuro de la economía nacional, de los mercados y de su empresa.

Según Kayali (2006) las métricas de evaluación económica más usadas son:

- **Período de recuperación de la inversión.** En este método, la decisión de aceptar o no el proyecto depende del número de períodos que transcurren antes de recuperar la inversión. Se basa en la obtención del flujo neto de efectivo acumulado período tras período, por lo cual se dice que es el tiempo transcurrido antes de que el flujo neto de efectivo acumulado cambie de signo negativo a positivo. Este método es muy fácil de aplicar y su regla de decisión es sencilla, se selecciona la opción de inversión que tenga un período menor de recuperación de la inversión. Es útil para empresas pequeñas y medianas porque les brinda una idea del tiempo que tardarán en recuperar la inversión y, como éstas no poseen gran capacidad financiera, no sería viable para ellas emprender proyectos que tarden en recuperar la misma. Posee la desventaja de que considera los flujos de dinero hasta el periodo donde se recupera la inversión, pero no toma en cuenta los flujos después de este periodo para tomar la decisión.
- **Rentabilidad sobre la inversión.** Se basa en la comparación de los flujos de efectivo de cualquier período con la inversión inicial. Cuando se usa este método, se determina la aceptación del proyecto dependiendo de la tasa mínima que el inversionista está dispuesto a aceptar, así, si la rentabilidad sobre la inversión es mayor a la tasa mínima aceptable por el inversionista, el proyecto es viable. Para empresas pequeñas y medianas, es importante determinar la rentabilidad sobre la inversión para tener una idea de la liquidez de la misma. En este método se ignora el valor del dinero en el tiempo.
- **Valor presente neto.** Consiste en obtener el valor presente de los flujos de efectivo calculados período tras período. Para el cálculo de este valor, se toma en cuenta la tasa de rendimiento mínima aceptable por el inversionista, el proyecto es rentable si el valor presente neto es mayor o igual a cero. Este método tiene la ventaja de que

considera el valor del dinero en el tiempo, además que tiene en cuenta la tasa mínima aceptable por el inversionista para aceptar el proyecto.

- **Tasa interna de retorno.** Es la tasa de interés efectiva que se obtiene como rendimiento de una inversión. También se puede definir como la tasa de descuento que hace que el valor presente neto de los flujos de efectivo de una inversión sea igual a cero o que el índice de rentabilidad sea igual a uno. El criterio de aceptación para este método se basa en comparar la tasa interna de retorno del proyecto con la tasa mínima aceptable por el inversionista.

Adicional a los métodos mencionados anteriormente, existe un método conocido como valor anual equivalente (siendo este una serie uniforme de dinero que se obtiene en periodos establecidos a lo largo del horizonte de tiempo en cuestión). El mismo consiste en comparar alternativas teniendo en cuenta los ingresos y/o egresos dados para los periodos de tiempo determinados. En los casos donde se conocen tanto los ingresos como los egresos, se debe calcular los flujos de dinero anuales, y, el proyecto que tenga la anualidad más alta, se escoge como la mejor opción. En casos donde se conocen solo los egresos, se realiza el cálculo de la anualidad para estos egresos y se escoge el proyecto con el menor costo.

Dentro de los métodos probabilísticos, Hinojosa y Alfaro (2000) mencionan el análisis de sensibilidad como uno de los más utilizados. Este pretende conocer el impacto que la variación de ciertas estimaciones iniciales de los parámetros del proyecto (como la variación en las ventas, en las tasas de interés, en los costos de materias primas, en los costos de operación, en los tiempos de inversión, en la eficiencia operativa, en las cantidades a producir etc.) genera sobre los resultados de la empresa. El grado de incidencia que tiene cada uno de estos factores sobre la empresa se representan en una gráfica denominada perfil de riesgo. En el eje horizontal de la misma se registra el rango de variaciones que podría tener el factor que se desea analizar, y en el eje vertical los posibles resultados sobre la rentabilidad o estabilidad de la empresa. La curva que resulta señala la sensibilidad del comportamiento de la empresa a las variaciones del factor; entre mayor sea la pendiente de esta curva, la empresa será más sensible, y el riesgo será mayor.

Ponce et al. (2006) presentan un estudio de viabilidad económica del cultivo de tilapia y langosta australiana en un mismo tanque. Se tuvieron en cuenta los precios en el mercado de ambas especies, los costos de las tilapias y las langostas, los costos de alimentación, de electricidad y mano de obra, así como la inversión inicial para la compra del tanque. Se tuvo en cuenta la depreciación calculada por el método de línea recta. Con los datos anteriores, se calcularon los flujos de efectivo para cinco, diez y quince años. Se utilizaron los métodos de tasa interna de retorno (TIR) y valor presente neto (VPN); para los cálculos se asumió una tasa mínima aceptable igual a la tasa que paga el banco por un certificado a término fijo de 28 días. Los cálculos de la TIR y el VPN se hicieron para tres escenarios de acuerdo a la cantidad de tilapia y la cantidad de langostas en el tanque. Ambos métodos arrojaron valores que condujeron a que la mejor opción es una densidad de 33 tilapias por 10 langostas en un período de tiempo de cinco años. En este caso, ambos métodos llegan a la misma conclusión, pero hay casos donde esto no ocurre y cuando esto sucede se recomienda que se tome en cuenta la decisión basándose en el valor presente neto.

Lim et al (2006) realizaron una evaluación económica para comparar un sistema de redes de agua con un sistema de agua convencional. Los costos de ambos sistemas fueron clasificados y estimados para la vida útil de cada una de ellas y después de tenerlos se calculó el costo incremental y los ingresos generados por el funcionamiento de las mismas. Para el cálculo de los costos se utilizó como base, el costo de un sistema de aguas convencional. Se tomaron en cuenta cuatro categorías para su estimación: supervisión e ingeniería, construcción, desecho y operación y mantenimiento. El método de valor presente neto fue utilizado para evaluar y verificar la rentabilidad del sistema de redes de agua; además de los costos e ingresos, se tomaron en cuenta la depreciación y los impuestos. Después de calcular el VPN se tuvo en cuenta el período de recuperación de la inversión y la tasa interna de retorno con el fin de realizar una mejor evaluación de la decisión a tomar. La tasa de retorno mínima utilizada para los cálculos se estableció de acuerdo al promedio de la inflación de los últimos cinco años para el sur de Corea. Con el estudio se encontró que es mejor la implementación de sistemas de aguas en redes porque presenta ventajas relacionadas al ambiente y económicamente es más rentable.

3 CARACTERIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE PRODUCCIÓN, RECOLECCIÓN Y EMPAQUE DE LA SETA FRESCA Y LA COMPOSTA

Con el fin de identificar claramente los recursos, factores, actividades y procedimientos en que se incurre para la producción de setas *Pleurotus pulmonarius* y composta, se presenta una caracterización de los procesos que llevan a la obtención de setas frescas y composta. Los estimados de costos en la producción de setas frescas se hicieron con base al estimado estipulado por la empresa Hepperly Enterprizes.

3.1 Caracterización de los procesos en que se incurre en la producción de *Pleurotus pulmonarius* fresco

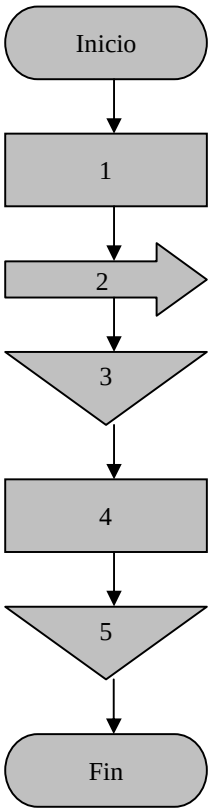
3.1.1 Cultivo

El proceso de cultivar la seta conlleva los siguientes subprocesos:

- **Recolección de la materia prima.** El sustrato se compone de pangola (*Digitaria eriantha*) y hoja de palma de plátano (*Musa paradisiaca*). Estos materiales se consiguen en fincas aledañas a la planta, lo que hace que el gasto en combustible sea de aproximadamente cinco dólares por rollo de pangola. El precio que se paga por el rollo de pangola es de 35 dólares (un rollo llena siete toneles de sustrato picado, es decir, 350 galones de material), de manera que el costo total de un rollo es de 40 dólares. La hoja de palma de plátano es provista de forma gratuita por el dueño de la finca contigua a la planta, sin embargo, cuando no hay hoja de plátano, el sustrato se hace solo a base de pangola sin impactar la producción de las setas. Estos materiales se recogen durante el período de incubación y crecimiento de la seta. Para la recolección de la materia prima se utiliza la camioneta del dueño de la empresa. Una parte de los materiales (la cantidad que pueda caber en el momento para ser procesada después) se deja en el lugar donde se tienen la mezcladora y la picadora, otra parte se almacena en el cuarto de almacenamiento. El lugar donde están la mezcladora y la picadora, se encuentra al aire libre pero bajo techo, allí mismo se dejan los toneles

(recipientes plásticos con capacidad de 50 galones o 164.35 cuartillos) de material picado porque en este área se prepara el sustrato. (Ver Figura 4)

Figura 4. Diagrama de flujo del proceso de recolección de materia prima.

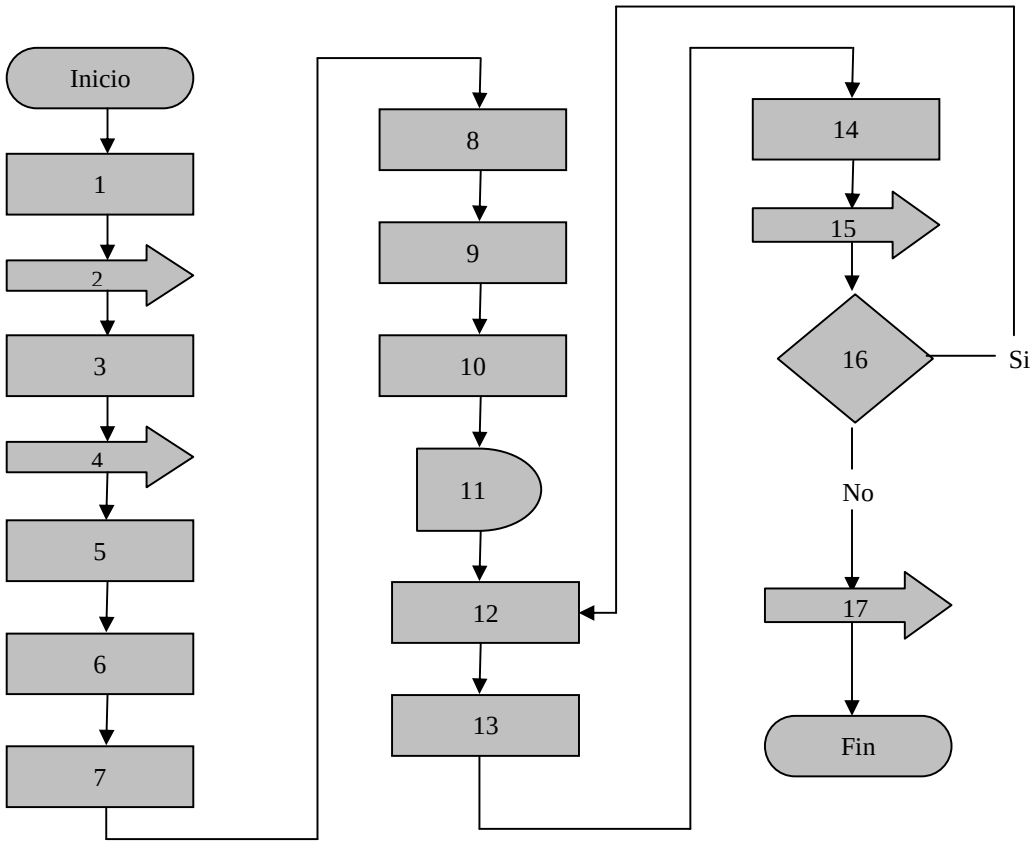


Descripción Literal de la Figura 4

1. El operario uno compra la pangola a 35 dólares el rollo
2. El operario uno traslada la pangola hasta la planta en una guagua que consume aproximadamente cinco dólares de gasolina por rollo de pangola.
3. El operario 1 baja los rollos de pangola y los almacena en el área donde se prepara el sustrato.
4. El operario dos recibe la hoja de palma de plátano.
5. El operario dos almacena la hoja de palma de plátano en el área donde se prepara el sustrato.

- **Preparación del sustrato.** Una vez los materiales están en la planta, se procede con la trituración de la pangola y la hoja de palma de plátano (cuando la misma está disponible). El proceso de trituración tarda en promedio 30 minutos por tonel y se utiliza una máquina picadora, un recipiente donde cae la materia prima triturada y 15 toneles por ciclo de producción para el almacenaje de la misma. Con los materiales triturados, se procede a tomar cinco cubos de palma y siete cubos de pangola (las proporciones varían de acuerdo a la disponibilidad de la materia prima) y se incorporan en una máquina mezcladora, añadiéndole agua a la mezcla, de manera que al tomarla en la mano y escurrirla, salgan apenas unas gotas. Se deja mezclar los materiales con el agua aproximadamente por cinco minutos, luego se abre la compuerta de la mezcladora ubicada a un lado en el fondo de la misma, de allí sale un resbaladero por donde cae el sustrato listo a unas bolsas plásticas con una capacidad aproximada de 14 libras. Las bolsas plásticas tienen un orificio que permite la entrada de aire. Cada tanda de mezcla de sustrato alcanza para llenar aproximadamente 16 bolsas y el tiempo que tarda el proceso por tanda es de 16 minutos aproximadamente. El número de bolsas que se preparan por ciclo es de aproximadamente 224. Una vez todas las bolsas del ciclo de producción están llenas, se trasladan al cuarto de pasteurización y se cierran con ganchos. Los requerimientos de personal para la preparación del sustrato dependen de la disponibilidad de las personas que voluntariamente colaboran en el mismo (aunque para efectos de costo se determinó que el pago para estas personas equivale al sueldo mínimo por hora de trabajo), pero generalmente la disponibilidad es de cuatro personas. (Ver Figura 5)

Figura 5. Diagrama de flujo del proceso de preparación del sustrato



Descripción Literal de la Figura 5

1. El operario dos pica la pangola.
2. El operario dos traslada los toneles llenos de pangola picada a un lado de la máquina mezcladora y regresa a la picadora.
3. El operario dos pica la hoja de palma de plátano
4. El operario dos traslada los toneles llenos de hoja de palma picada a un lado de la máquina mezcladora.
5. Los operarios tres y cuatro sacan los cubos o baldes de pangola de los toneles los pasan a la persona que está en la mezcladora.
6. El operario uno incorpora los cubos de pangola en la mezcladora.
7. Los operarios tres y cuatro sacan los cubos o baldes de hoja de plátano de los toneles y los pasan al operario uno que está en la mezcladora.
8. El operario uno incorpora los cubos de hoja de palma a la máquina.

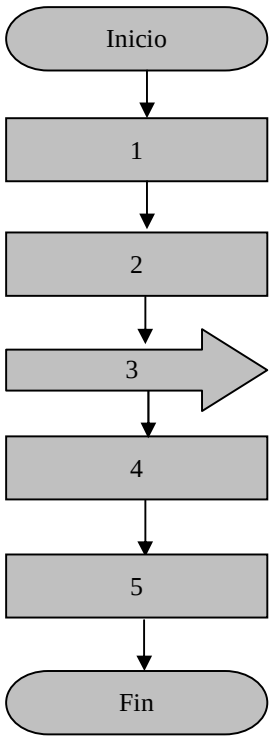
Continuación de la descripción Literal de la Figura 5

9. El operario uno abre la llave para que caiga agua a la mezcla y la revisa constantemente para saber si debe cerrar la llave.
10. El operario uno cierra la llave de agua una vez la mezcla tiene la necesaria.
11. Espera de aproximadamente cinco minutos que tarda en mezclarse los materiales.
12. Los operarios dos, tres y cuatro se ubican uno por uno con una bolsa al final del resbaladero que sale de la compuerta de la mezcladora para llenar la bolsa con sustrato.
13. El operario uno abre la compuerta de la mezcladora para dejar caer el sustrato hasta que llene la bolsa.
14. El operario uno cierra la compuerta hasta que otro operario venga a llenar la bolsa de sustrato.
15. El operario que llenó la bolsa la traslada a la camioneta o guagua donde se ponen para transportarlas al área de pasteurización.
16. Si hay más bolsas para llenar, la persona regresa a la actividad 12.
17. El operario uno trasporta las bolsas de sustrato al cuarto de pasteurización y las sella con un gancho utilizado comúnmente para colgar la ropa.

- **Pasteurización del sustrato.** El cuarto de pasteurización debe ser lo más hermético posible con el fin de evitar el escape de vapor y la contaminación del sustrato por el ambiente. El proceso de pasteurización consiste en inyectar vapor al cuarto a una temperatura entre 65 y 71 $°C$ (149 y 159.8 $°F$) teniendo especial cuidado en que la temperatura se mantenga en este rango, porque si se excede puede ocasionar daños en los componentes del sustrato, matando organismos que no compiten con la seta y provocando que se incorporen nuevos organismos que si compiten con la misma. Si la temperatura se encuentra debajo del rango, los organismos contaminantes que están presentes desde el inicio en el sustrato no van a ser destruidos en su totalidad, generando competencia con la seta en su etapa de crecimiento. Para la generación de vapor, se usa una caldera ubicada en un cuarto cercano al cuarto de pasteurización. La

caldera utiliza diesel como combustible y está prendida por un tiempo entre seis y ocho horas que es el tiempo que dura el proceso. Dentro del cuarto de pasteurización hay cuatro anaqueles utilizados para poner las bolsas de sustrato. Una vez se ha realizado la pasteurización, las bolsas de sustrato se dejan en el cuarto por 24 horas permitiéndoles que su temperatura baje antes de abrir el cuarto. (Ver Figura 6)

Figura 6. Diagrama de flujo del proceso de pasteurización



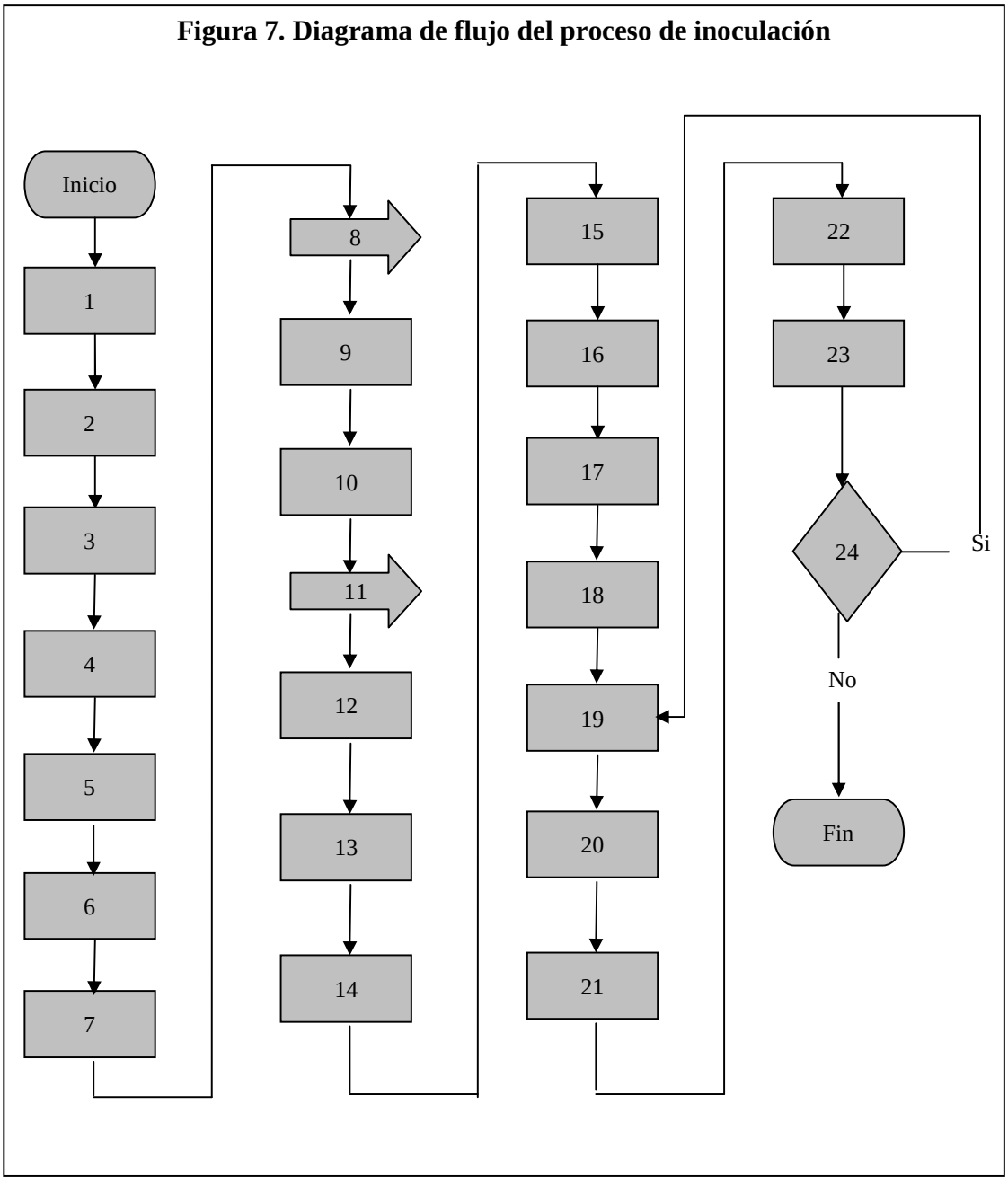
Descripción Literal de la Figura 6

1. Los operarios 1, 2, 3 y 4 toman las bolsas de sustrato y las ponen en los anaqueles.
2. Los operarios 1 y 3 cierran el cuarto de pasteurización.
3. El operario 1 va al cuarto de la caldera y la prende.
4. El operario 1 está de seis a ocho horas en la planta vigilando la temperatura.
5. El operario 1 apaga la caldera.

- **Inoculación.** El cuarto de inoculación está contiguo al cuarto de pasteurización, ambos están separados por una puerta que solo se abre una vez el cuarto de inoculación esté completamente esterilizado. Para esterilizar el cuarto, éste debe limpiarse completamente (pisos, paredes, techo y recursos dentro del cuarto) con jabón y agua abundante, una vez esté lavado, se debe secar la mayor cantidad de agua posible, sobre todo el agua que quede en los recursos que hay dentro del cuarto. En seguida se rocía el cuarto con una solución de cloro al 10 porciento y agua. Dentro del cuarto hay una mesa de acero inoxidable que se usa para verter el inóculo en las bolsas de sustrato. También hay una máquina selladora usada para cerrar las bolsas de sustrato inoculadas. Se utiliza esta máquina debido a que el calor hace que las bolsas queden completamente cerradas y evita la contaminación de las mismas por el ambiente. El inóculo de *Pleurotus pulmonarius* crece inicialmente en tubos de ensayo o platos petri con agar (éste puede ser de extracto de malta, dextrosa de papa o de avena). Cada plato petri de 100 x 15 mililitros, con agar, puede inocular aproximadamente 10 litros de grano de maíz, que puede estar dentro de botellas o bolsas plásticas. Una vez el grano de maíz esté completamente colonizado por la seta, cada bolsa puede inocular aproximadamente 10 veces su masa original. Existen compañías dedicadas a la venta de inóculo, de manera que los productores de setas puedan prescindir de este proceso. Las bolsas de inóculo son llevadas a la planta, éstas se encuentran selladas completamente y antes de ingresarlas en el cuarto de inoculación, son rociadas con la solución de cloro al 10 porciento antes descrita. El número de personas involucradas en el proceso varía de acuerdo a la disponibilidad de los voluntarios, pero generalmente se tienen cinco personas de las cuales uno es un trabajador permanente de la empresa y otro es el dueño. Antes de ingresar al cuarto de inoculación las personas deben lavar sus manos con agua abundante y jabón, luego secarlas e impregnarlas de alcohol; la suela de los zapatos debe rociarse con la solución de cloro y luego estos se tapan con bolsas plásticas. Los anteriores cuidados se dan para evitar la mayor cantidad de contaminantes posibles que podrían ingresar al cuarto. Una vez dentro del cuarto, se toman las bolsas de inóculo, se abren con tijeras a medida que se van necesitando y se toman las bolsas de sustrato que inicialmente habían sido sacadas del cuarto de pasteurización y puestas en el cuarto

de inoculación. Cada bolsa de inóculo, inocula de seis a siete bolsas de sustrato. El procedimiento consiste en inocular la bolsa de sustrato y luego sellarla con una máquina que sella el plástico con calor, de esta manera se evitan orificios que puedan permitir la entrada de contaminantes. Luego de selladas, se ponen dentro del mismo cuarto de manera ordenada. El proceso completo desde el lavado del cuarto hasta la organización de las bolas dura aproximadamente tres horas. (Ver Figura 7)

Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de inoculación



Descripción Literal de la Figura 7

1. Los operarios uno, dos y tres enjabonan el cuarto de inoculación y los recursos dentro de él.
2. Los operarios cuatro y cinco echan agua al cuarto para sacar el jabón.
3. El operario dos seca la mesa de inoculación con una toalla.
4. Los operarios tres y cuatro secan las paredes con una toalla.
5. El operario uno abre el cuarto de pasteurización.
6. Los operarios uno y dos sacan las bolsas de sustrato del cuarto de pasteurización y se las pasan a los operarios tres, cuatro y cinco que están dentro del cuarto de inoculación.
7. Los operarios tres, cuatro y cinco toman las bolsas de sustrato y las acomodan en el piso del cuarto de inoculación.
8. Los operarios uno, dos, tres, cuatro y cinco salen del cuarto.
9. Los operarios uno, dos, tres, cuatro y cinco lavan sus manos con agua y jabón para después impregnarlas con alcohol.
10. Los operarios uno y dos rocían la suela de sus zapatos con la solución de cloro al 10 porciento, luego los cubren con una bolsa plástica.
11. Los operarios uno y dos entran al cuarto de inoculación.
12. El operario cinco toma una bolsa de inoculo a la vez, la rocía con la solución de cloro al 10 porciento y se la pasa al próximo operario en el proceso. (La bolsa no debe tocar el piso).
13. El operario cuatro toma la bolsa rociada, la seca con una toalla de papel y se la pasa al próximo operario en el proceso.
14. El operario tres toma la bolsa y se la pasa a la persona que está dentro del cuarto de inoculación.
15. El operario dos, que está dentro del cuarto, toma la bolsa y se la pasa al operario que está próximo a la mesa de inoculación.
16. El operario uno, próximo a la mesa, toma la bolsa y la pone sobre la misma.
17. Los operarios tres, cuatro y cinco lavan de nuevo sus manos con agua y jabón, las rocían con alcohol.

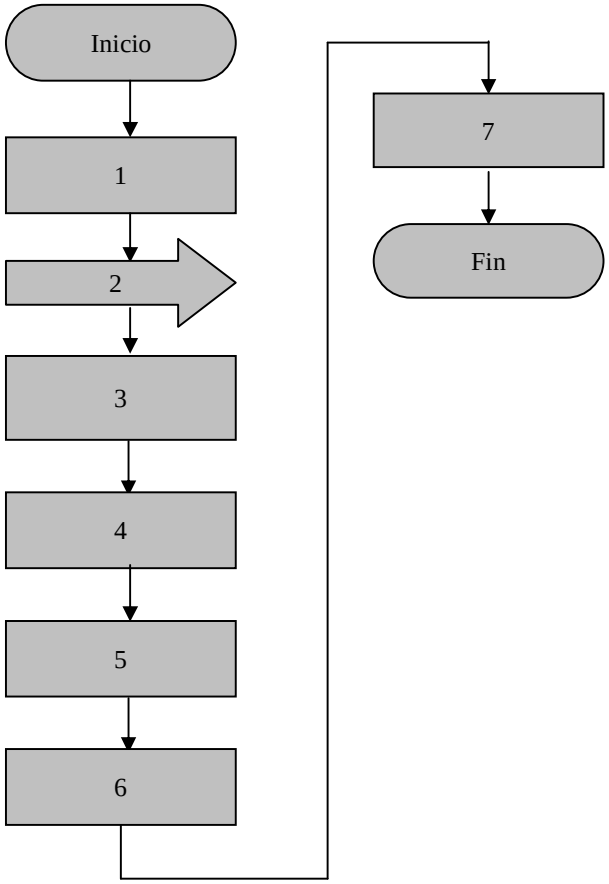
Continuación de la Descripción Literal de la Figura 7

18. Los operarios tres, cuatro y cinco entran al cuarto de inoculación y cierran la puerta.
19. El operario cuatro va tomando las bolsas de sustrato y se las pasan al operario tres que les quita el gancho puesto en el proceso de preparación del sustrato.
20. El operario tres quita el gancho de la bolsa de sustrato y la abre.
21. El operario uno abre las bolsa de inoculo con tijeras y vierte una sexta parte de la bolsa en la bolsa de sustrato previamente abierta.
22. El operario cinco toma la bolsa inoculada y la sella con la máquina selladora.
23. El operario dos toma la bolsa sellada y la apila en el piso.
24. Si quedan bolsas de sustrato para inocular se regresa a la actividad 19.

- **Incubación.** La incubación representa la fase más larga dentro del ciclo de producción de la seta. Después de inocular las bolsas de sustrato, éstas son dejadas en el mismo cuarto donde se realizó la inoculación. El cuarto no tiene ningún tipo de iluminación debido a que la incubación debe darse en un lugar completamente oscuro; la temperatura del ambiente es controlada en este caso por una consola de aire acondicionado con la finalidad de que la misma esté aproximadamente entre 24 y 29 $°C$ (75 y 85 $°F$). En la fase de incubación, el inóculo colonizará todo el sustrato hasta que las limitaciones físicas le impidan seguir creciendo (en este caso esa limitación se refiere a la bolsa plástica). Una vez la colonización finaliza, los nutrientes suplidos por el sustrato se acumulan dentro de las células de la seta. En esta etapa, se observa que el color del sustrato ya no es oscuro. La seta, al colonizarlo, torna este color oscuro en uno claro; un blanco con pigmentos amarillentos y se nota un líquido semi-café que rodea la bolsa. La fase de incubación toma aproximadamente 30 días.
- **Fructificación.** Las bolsas incubadas se trasladan al cuarto de producción previamente lavado con agua y jabón y rociado con la solución del cloro al 10 porciento mencionada en la etapa de inoculación. Este cuarto está acondicionado con tubos en el techo de los cuales se desprenden hileras de cuerdas de nylon que se han

arreglado de manera que en cada hilera se pueden colgar 3 bolsas. Hay dos lámparas de luz fluorescente con el fin de crear un ambiente iluminado para el crecimiento de las setas, una consola de aire acondicionado que controla la temperatura entre 18 y 27 $°C$ (60 y 80 $^{\circ}F$), y un sistema de ventilación (abanicos) que a su vez esparcen agua al cuarto con la intención de mantener la humedad entre 90 y 100 porciento. Las bolsas se cuelgan en los ganchos manteniendo una distancia entre ellas que permita el crecimiento de la seta, a éstas se les abren orificios a través de toda la superficie para permitir que los frutos salgan, los primordios se forman aproximadamente en cinco días y la seta se termina de desarrollar en un tiempo de 3 a 5 días más, aproximadamente. (Ver Figura 8)

Figura 8. Diagrama de flujo del proceso de fructificación



Descripción Literal de la Figura 8

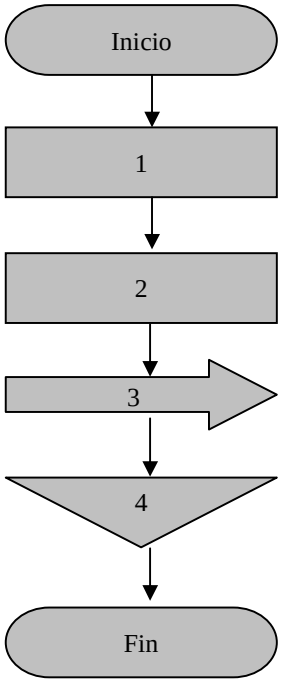
1. Los operarios uno y dos lavan con agua y jabón el cuarto de producción.
2. Los operarios uno y dos trasladan las bolsas de sustrato incubadas al cuarto de producción.
3. Los operarios uno y dos cuelgan las bolsas en los ganchos.
4. Los operarios uno y dos abren orificios a las bolsas para que crezcan las setas.
5. El operario uno establece la temperatura en la consola de aire acondicionado.
6. El operario uno prende el abanico encargado de rociar agua para mantener la humedad.
7. El operario uno se encarga de vigilar ocasionalmente le proceso para mantener controlada la temperatura y humedad y observar el crecimiento de la seta.

3.1.2 Recolección

Una vez las setas se han desarrollado completamente, se procede a recogerlas. Este procedimiento es hecho de forma manual, en el intervienen dos personas (el dueño de la empresa y su ayudante permanente) quienes cortan las setas desde su tallo (utilizando un cuchillo pequeño) de manera cuidadosa debido a que es bastante frágil y si se ocasionan daños en su estructura, no se pueden vender de forma fresca por la apariencia. Las setas cortadas se ponen en recipientes plásticos, los cuales se dejan con las setas dentro del cuarto de producción hasta que acaba la recolección, luego éstas se almacenan en refrigeradores hasta que se empaquen. (Ver Figura 9)

Después que se recolecta la primera cosecha, las bolsas pueden dar hasta dos cosechas más en un lapso entre siete y diez días. Es decir que el proceso en total dura entre 47 y 48 días aproximadamente. La cantidad de libras de setas recolectadas por ciclo de producción (tres cosechas) se estima en 896.

Figura 9. Diagrama de flujo del proceso de recolección



Descripción Literal de la Figura 9

1. Dos personas toman los cuchillos y los recipientes donde se pondrán las setas cortadas.
2. Las dos personas cortan las setas una a una desde su tallo y las ponen dentro de los recipientes plásticos.
3. Las dos personas llevan las setas al cuarto de refrigeradores.
4. Las dos personas almacenan los recipientes con setas dentro de los refrigeradores.

3.1.3 Empaque

Hay diferentes maneras de empacar el producto dependiendo del mercado donde se están vendiendo. En el caso de tiendas especializadas en el segmento de mercado de personas vegetarianas y tiendas naturistas, así como en supermercados, las setas frescas

se ponen sobre bandejas de foam (icopor) que después se envuelven en papel plástico (rollo de película PVC) para conservar el alimento. Para envolver las bandejas de setas con el papel plástico se tiene una herramienta donde se pone el rollo de papel y de allí se va desprendiendo la cantidad requerida para empacar las bandejas. Una vez empacadas, se pega una etiqueta que contiene el nombre de la empresa y su información. Las bandejas se venden por 3.5 oz. (99.22 gr.) a un precio de cuatro dólares. Para el segmento de mercado compuesto de restaurantes, las setas frescas se venden en bolsas plásticas. Se venden cinco bolsas de una libra cada una a un precio de siete dólares por libra. De manera individual se venden a nueve dólares la libra; la diferencia en precios de la bandeja a la bolsa radica en que las setas que se ponen en las bandejas tienen una mejor apariencia física, además que los restaurantes compran mayor cantidad y por esto el precio se da más bajo.

3.1.4 Almacenamiento

Para el almacenamiento de setas sin empacar y empacadas, existen dos refrigeradores de tres compuertas. Un refrigerador está ubicado afuera del cuarto de fructificación para poner las setas recolectadas. El segundo refrigerador está ubicado en un cuarto de almacenamiento, allí se ponen setas empacadas y tallos o setas defectuosas que luego van a ser usadas en la composta. En el caso de la materia prima utilizada para la preparación del sustrato, la misma es almacenada en el lugar asignado para la preparación del mismo. El almacenamiento lo realizan dos operarios (el dueño y su ayudante) quienes están a diario en la planta y se encargan de todas las actividades que están fuera del proceso de producción además de participar en el mismo.

3.2 Caracterización de los procesos en que se incurre en la producción de composta.

El proceso de producción de composta es sencillo y comienza cuando las bolsas de sustrato han dado todas las cosechas y las setas se han recolectado. Para realizar la composta, se toman las bolsas de sustrato que ya dieron su fruto (estas contienen aproximadamente siete libras de sustrato usado cada una) y los remanentes de setas que se dañaron estéticamente o que sobraron de la producción (aproximadamente dos

porciento de las setas cultivadas en el ciclo). Se mezcla todo en el piso con una pala hasta que la mezcla se vea homogénea. Luego se cierne con un colador metálico para evitar que caigan grumos de material y partículas como piedras u otras, que afectan la contextura de la composta. El proceso de cernido se hace sobre una carretilla metálica para que el producto no toque más el piso y poderla movilizar a donde están los toneles plásticos. Al ponerla en los toneles se la deja allí en un lugar bajo techo hasta que se dé la venta.

La venta del producto se da bajo pedido ya que es un subproducto que no genera las regalías que ameriten su mercadeo (por esta razón se busca una deshidratación, buscando una viabilidad económica que permita mercadear la seta como tal y no como composta para evitar perder el valor que la seta realmente tiene). La composta se mantiene en los toneles, al momento de vender se empaca en bolsas y se venden 15 cuartillos de composta por tres dólares. La venta se da en unidades de volumen debido a que el peso de la composta depende de la humedad del ambiente de manera que la misma bolsa de composta puede tener diferentes pesos de acuerdo al momento en que se dé la venta. Aunque los remanentes de setas se incorporan a la composta, la materia prima principal es el sustrato que queda después de que se da la cosecha de las setas, por lo tanto el dejar de incorporar las setas a la composta no impide la producción y comercialización de la misma.

3.3 Recursos utilizados en los procesos de producción de setas frescas

Se presentan los recursos utilizados en la producción de setas frescas con el fin de entender el proceso de producción y empaque. El costo de producción de las setas frescas se estimó en base al costo que el dueño de la empresa estipuló (tres dólares por libra de setas). El desglose de costos para la producción de composta y setas deshidratadas se presenta en el capítulo cinco.

3.3.1 Humanos

Durante el ciclo completo de producción intervienen de cuatro a cinco personas, de las cuales son necesarias, una persona de tiempo completo (ocho horas diarias) y un ayudante quien está alrededor de 30 horas semanales. La persona que está de tiempo

completo es el dueño de la empresa quien recibe las regalías. Las otras personas reciben un sueldo de 6.55 dólares la hora (sueldo mínimo según el US Departmen of Labor para el año de julio 24 de 2008 hasta julio 24 de 2009). Las dos o tres personas adicionales son usualmente necesarias para el proceso de cultivo, donde se necesitan para la preparación del sustrato, parte del proceso de pasteurización y para la inoculación de la seta. La parte de recolección de materia prima, pasteurización del sustrato, recolección de las setas, almacenamiento y empaque lo realizan el dueño y el ayudante anteriormente mencionado.

3.3.2 Técnicos

Los procesos antes descritos muestran que la producción del *Pleurotus pulmonarius* puede darse de manera artesanal, de forma que los requerimientos técnicos son pocos. Los equipos y facilidades que se tienen en la empresa para la producción de seta fresca se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Equipos y facilidades involucrados en la producción de *Pleurotus pulmonarius* fresco.

Equipo	Cantidad
Refrigeradores	2
Caldera	1
Picadora	1
Básculas digitales	2
Mezcladora	1
Herramienta para poner el rollo de película PVC	1
Consolas de aire acondicionado	3
Abanicos	2
Máquina selladora de las bolsas de sustrato inoculado	1
Camioneta	1

Tabla 4. Equipos y facilidades involucrados en la producción de *Pleurotus pulmonarius* fresco (Continuación).

Equipo	Cantidad
Cuarto de producción (382.5 pies^2)	1
Cuarto de inoculación y pasteurización (382.5 pies^2)	1
Cuarto de almacenamiento (382.5 pies^2)	1
Cuarto de preparación de sustrato	1
Cuarto de ubicación de la caldera	1
Baño	1

3.3.3 Materiales e insumos

Además de equipos técnicos, en la producción se requiere de materiales e insumos como tijeras, mesas, recipientes, agua etc. Se estima que la cantidad de setas vendidas en bandeja corresponde a un 30 porciento de las setas cultivadas en cada ciclo de producción, el 70 porciento restante se vende a restaurantes. La descripción de los materiales e insumos se da en la Tabla 5.

Tabla 5. Materiales e insumos involucrados en la producción de *Pleurotus pulmonarius* fresco.

Material o insumo	Cantidad
Toneles	12
Recipiente donde cae la materia prima triturada	1
Cubos o baldes	2
Anaqueles metálicos	4
Mesa de acero inoxidable	2
Atomizador de 4 galones para rociar la solución de cloro al 10porciento	1
Tijeras	1
Recipientes plásticos para poner las setas cortadas	27
Atomizador de 4 galones para rociar la solución de cloro al 10 porciento	1

Tabla 5. Materiales e insumos involucrados en la producción de *Pleurotus pulmonarius* fresco (Continuación).

Material o insumo	Cantidad
Tijeras	1
Recipientes plásticos para poner las setas cortadas	27
Ganchos para sellar las bolsas de sustrato	250
Bandejas de foam o icopor	270 por ciclo de producción
Cuchillos	2
Bolsas plásticas para empacar setas	608 por ciclo de producción
Rollo de película PVC	
Etiquetas	270 por ciclo de producción
Varilla metálica para abrir los orificios de las bolsas colonizadas	1
Bolsas para el sustrato	224 por ciclo de producción
Gasolina para la camioneta que recoge la materia prima o pangola.	11 litros por ciclo de producción
Diesel para la caldera	
Cloro	1.52 litros por ciclo de producción
Jabón	1 barra por ciclo de producción
Esponja	1 por ciclo de producción
Papel toalla	1/3 de rollo por ciclo de producción.
Alcohol	0.11 litros por ciclo de producción
Recipientes para la basura	1
Agua	49 galones en la preparación del sustrato y 700 galones de consumo personal aproximadamente al mes.
Energía	4598 Kw/hora al mes

4 CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN DE LA SETA CON UN SECADOR DE BAJO CONSUMO ENERGÉTICO

Luego de que se ha preparado la seta fresca (que será vendida en bandejas o bolsas según el cliente), quedan remanentes de setas frescas del cultivo. El interés de este proyecto es analizar la viabilidad económica de producir harina de setas a base de los remanentes. Para realizar el proceso de deshidratación que conlleva a la producción de harina, es necesario evaluar una deshidratación mediante un secador de bajo consumo energético. Este capítulo presenta el desarrollo del secador que permite realizar el proceso de deshidratación.

4.1 Diseño y construcción del secador

El secado de alimentos requiere de una instalación que impida en lo posible la entrada de bacterias u organismos que generen el deterioro o daño del mismo. Los materiales como ladrillo, lámina o madera son los más usados en la construcción de secadores aunque el caso de la madera es cuestionado debido a que ésta es difícil de limpiar y alberga más contaminantes que los otros dos. Con la finalidad de realizar pruebas, se construyó un secador pequeño que simula las condiciones de uno apropiado para deshidratar un volumen considerable de setas.

4.1.1 Diseño del cuarto de secado

Para simular un cuarto de secado, se utilizó una caja de cartón de 40 cm de largo por 53.5 cm de ancho y 32 cm de alto (15.7 x 21.1 x 12.6 pulgadas). Dentro de la misma se colocó un foco o bombillo y una parrilla metálica para ubicar las setas. Se hizo una entrada de aire en la parte baja de la caja, abriendo un orificio y conectando en él un tubo de cartón por donde entra el aire a temperatura ambiente (ver Figura 10). Para la experimentación se tomaron en cuenta diferentes condiciones. En una de ellas se puso dentro del tubo por donde entra el aire una capa de piedra llamada diedrita la cual ayuda a

retirar humedad; esto se hizo para simular una condición donde el cuarto de deshidratación tenga el elemento diedrita como deshumidificador.

Las pruebas se hicieron también sin la diedrita para encontrar que tan necesario podría ser el retirar humedad del aire en el sentido de que acelerara el proceso de secado y contribuyera a tener el foco prendido por menor tiempo. En la parte interna de la caja se ubicó el foco al lado de la entrada de aire para calentarlo tan pronto éste ingresara al sistema, se tomaron en cuenta focos de dos diferentes potencias. Las setas se pusieron sobre una parrilla metálica, esto porque las parrillas facilitan la circulación del aire alrededor del alimento. En la parte superior de la caja se tiene el acceso por donde se ingresan las setas y además un tubo de cartón que simula una chimenea por donde sale el aire y el vapor de agua retirado de las setas. En la parte de afuera del tubo por donde entra el aire, se tomó en cuenta dos condiciones, una con un abanico para acelerar el flujo de entrada del aire y otra sin el abanico para encontrar la necesidad del mismo. La Figura 11 ilustra el diseño del horno para una configuración donde hay ventilación inducida y diedrita en la entrada de aire.

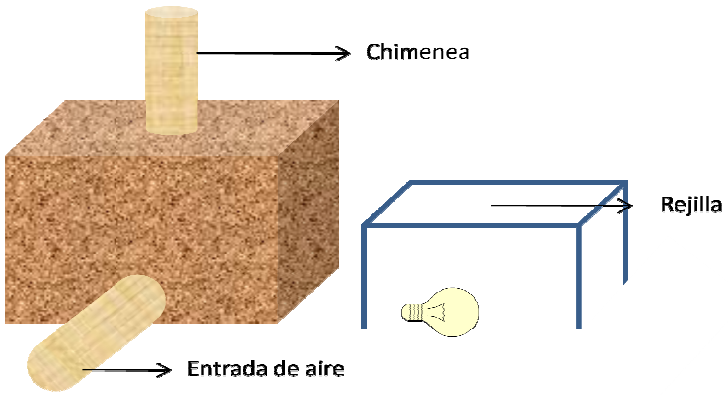


Figura 10. Diseño del horno deshidratador

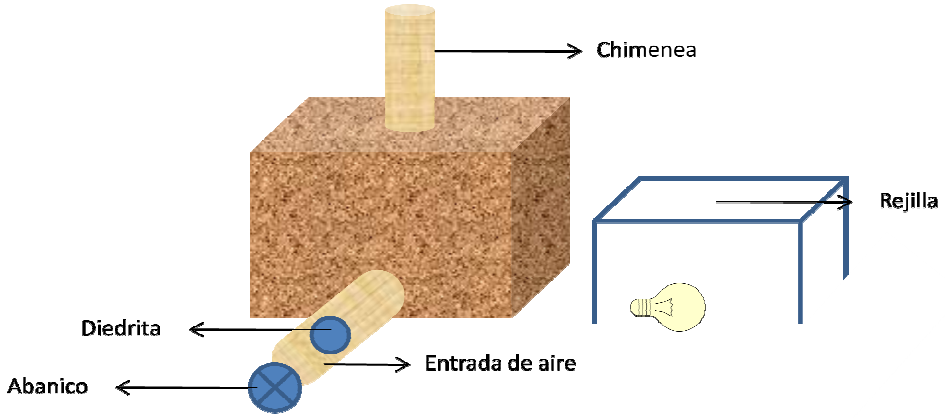


Figura 11. Horno deshidratador configurado con diedrita y ventilación inducida

4.1.2 Diseño de Experimentos

La experimentación es una técnica utilizada para encontrar el comportamiento de una variable respuesta a partir de diferentes combinaciones de factores o variables de entrada de un proceso, que al cambiar afectan la respuesta. Para entrar a experimentar es necesario pasar primero por el diseño de experimentos. Esta técnica busca la manipulación sistemática de las variables de entrada de un proceso para entender el efecto que éstas pueden causar en la variable respuesta. Es ampliamente utilizado en las empresas debido a que permite visualizar situaciones que pueden suceder a partir de la realización de un proceso. En la industria se utiliza principalmente para buscar el mejoramiento del rendimiento de un proceso, para reducir la variabilidad y permitir que haya un mayor acercamiento a los parámetros de la empresa, para reducir tiempos de procesamiento y reducir costos.

Hay diferentes tipos de experimentos (como variar un solo factor a la vez, experimentos de tipo factoriales, de superficie de respuesta, experimentos con un bloque completamente aleatorio, etc.) estipulados en la teoría que se prestan para identificar en cuál de ellos cabe una situación específica. Sin embargo el diseño de un experimento

puede realizarse por el experimentador de acuerdo al caso tratado por el mismo. Para este caso en particular se identificaron tres tipos de experimentos:

- **Gauge R&R.** Este tipo de experimento se usa para estudiar los componentes de variabilidad en un sistema de medición. Los componentes de usual interés son repetibilidad y reproducibilidad. La repetibilidad está asociada al instrumento y refleja la variación observada cuando la misma parte es medida por el mismo operador. La reproducibilidad refleja la variabilidad adicional en el sistema de medida, la cual resulta del uso del instrumento por el operador. El modelo está dado por la ecuación I, la ecuación II muestra los componentes de varianza.

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \quad \textbf{I}$$

Donde

τ_i = Parte o la pieza que está siendo medida

β_j = Personas u operadores que miden las partes

$(\tau\beta)_{ij}$ = Interacción entre las piezas y el operador

ε_{ijk} = Error debido al instrumento de medida

En cuanto a los componentes de varianza tenemos:

$$\sigma_y^2 = \sigma_\tau^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_{\tau\beta}^2 + \sigma_\varepsilon^2 \quad \textbf{II}$$

Donde

σ_τ^2 = Componente de varianza para la parte o pieza

σ_β^2 = Componente de varianza para el operador o persona

$\sigma_{\tau\beta}^2$ = Componente de varianza para la interacción entre la persona y la pieza

σ_ε^2 = Componente de varianza para el error

El interés de este tipo de experimento es saber cuánta varianza aporta cada uno de los componentes. Las hipótesis en cuestión se describen a continuación:

$$H_0 : \sigma_\tau^2 = 0 \qquad H_1 : \sigma_\tau^2 \neq 0$$

$$H_0 : \sigma_\beta^2 = 0 \qquad H_1 : \sigma_\beta^2 \neq 0$$

$$H_0 : \sigma_{\tau\beta}^2 = 0 \qquad H_1 : \sigma_{\tau\beta}^2 \neq 0$$

La aspiración máxima del experimento es que toda la variabilidad se deba a las piezas de manera que se pueda concluir que el instrumento es capaz de distinguir entre diferentes niveles de productos.

Para realizar la experimentación concerniente a la deshidratación de las setas, se realizó un experimento para validar la balanza donde se pesan las mismas. Se tomó una balanza digital, se tomaron cinco porciones de setas, los pesos a medir fueron de 100, 50, 20, 10 y 5 gramos (la balanza se usó para tomar pesos de las setas entre 25 y 100 gramos); las mediciones se hicieron por dos operarios y se realizaron 10 repeticiones. Con el fin de asegurar la aleatoriedad del experimento, se utilizó el programa Minitab 14 para efectuar los arreglos (Apendice A). Se buscó la opción de crear un experimento factorial completo, asumiendo como factores los operarios y los diferentes pesos, donde los operarios son un factor con dos niveles y los pesos son un factor con cinco niveles.

Una vez se tuvieron los resultados de los pesos (presentados en el apéndice A), se ingresaron a Minitab para analizar los datos. Se utilizó la opción Gage R&R crossed. La Figura 12 muestra los resultados del análisis de varianza (ANOVA) realizado por Minitab. Se tomó un nivel de significancia (α) de 0.05 y el concepto del valor P (nivel mínimo de significancia que conllevaría al rechazo de la hipótesis nula para los datos que están siendo probados) para probar las hipótesis del experimento.

Mirando la Figura 12 se observa un valor P de cero para las piezas (catalogadas como pesos en el experimento), 0.976 para los operarios y de 0.320 para la interacción pesos-operarios. Debido a que los pesos tienen el valor P menor al nivel de significancia, la hipótesis nula para los mismos se rechaza, de manera que la variabilidad del experimento

se debe a la diferencia entre las piezas que se pesaron. Se concluye que la balanza tiene la capacidad de diferenciar entre varios tipos de piezas, alcanzando así el propósito del experimento (adjudicar la variabilidad a las piezas medidas o pesadas). Los valores de P para los operarios y la interacción entre pesos y operarios muestran que estos no aportan una variación significativa al experimento. En la Figura 12 se observa también la contribución de variación de cada uno de los componentes y se ratifica que la variación total se debe a las piezas. Lo anterior muestra que la balanza es precisa para un rango de pesos entre 5 y 100 gramos.

Two-Way ANOVA Table With Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Pesos	4	123617	30904.1	1296587	0.000
Operarios	1	0	0.0	0	0.976
Pesos * Operarios	4	0	0.0	1	0.320
Repeatability	90	2	0.0		
Total	99	123618			

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Pesos	4	123617	30904.1	1531142	0.000
Operarios	1	0	0.0	0	0.972
Repeatability	94	2	0.0		
Total	99	123618			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.02	0.00
Repeatability	0.02	0.00
Reproducibility	0.00	0.00
Operarios	0.00	0.00
Part-To-Part	1545.21	100.00
Total Variation	1545.23	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.1421	0.852	0.36
Repeatability	0.1421	0.852	0.36
Reproducibility	0.0000	0.000	0.00
Operarios	0.0000	0.000	0.00
Part-To-Part	39.3091	235.855	100.00
Total Variation	39.3094	235.856	100.00

Number of Distinct Categories = 390

Figura 12. Resultados del experimento Gauge R&R

- **Split Plot (Parcelas o cuadrantes partidas/os).** Este tipo de experimento se utiliza cuando no existe la posibilidad de aleatorizar por completo el orden de las corridas. Maneja tratamientos que ocurren de manera simultánea incluso con algunas restricciones en la aleatoriedad. El modelo que describe este tipo de experimento se muestra en la ecuación III.

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \gamma_k + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijk} \quad \textbf{III}$$

$$\begin{cases} i = 1, 2, ..., r \\ j = 1, 2, ..., a \\ k = 1, 2, ..., b \end{cases}$$

Donde:

τ_i = Bloques o réplicas

β_j = Factor involucrado en la parcela principal (A)

$\tau\beta_{ij}$ = Error de la parcela principal

γ_k = Factor involucrado en el cuadrante que parte la parcela (B)

$(\tau\gamma)_{ik}$ = Réplicas x factor (B)

$(\beta\gamma)_{ij}$ = Interacción entre los factores A y B

$(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ = Error del cuadrante que parte la parcela

Las hipótesis que se desean probar para este modelo son:

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = ...\tau_a$$

$$H_1 : \tau_1 \neq \tau_2 \neq ...\tau_a$$

Donde τ es el efecto del tratamiento A.

En el caso específico de la deshidratación de las setas, se tomó un horno con diferentes configuraciones. El foco para calentar el aire se tomó como un factor fijo debido a que se utilizan dos niveles de potencias y no es de interés indagar en otros. Este factor se tomó con dos niveles porque las pruebas se hicieron con focos de 60 y 40 vatios. Inicialmente se tuvo en cuenta el factor foco con tres niveles ya que se consideró un foco con una potencia de 15 vatios. Surgió la duda de que este tipo de potencia no produjera el calor suficiente para que las setas se deshidrataran, así que se hizo una prueba con 100 gramos de seta, se utilizó diedrita para ayudar a retirar la humedad del aire y se colocó el horno en un cuarto donde la humedad del aire es menor a la que hay en el ambiente. Las setas permanecieron allí por las 24 horas que se dejó prendido el foco. Se tomaron datos de temperatura y humedad dentro de la caja con un dispositivo que registraba las medidas cada 15 minutos. Se encontró que la temperatura promedio dentro de la misma era de 84 $^{\circ}F$ y la máxima de 85 $^{\circ}F$. Al retirar la muestra se encontró que las setas se habían contaminado y que en lugar de lograrse una deshidratación se obtuvo una descomposición del alimento. Debido a esto, la posibilidad de realizar el experimento incluyendo un foco de 15 vatios se descartó. No se tuvo en cuenta focos de mayor potencia al de 60 porque generan mucho calor para el alimento y conllevan a pérdidas en las propiedades organolépticas.

Se tomó en cuenta un segundo factor catalogado como diedrita. Este factor se consideró fijo ya que solo existen dos posibilidades de configurarse: con diedrita y sin diedrita, de manera que se tienen dos niveles para el mismo. El tercer factor considerado fue la ventilación (se utilizó un abanico de 8 centímetros de ancho x 8 centímetros de alto x 3.8 centímetros de largo y una velocidad de 3200 revoluciones por minuto), éste es fijo debido a que las posibilidades de configuración son: con ventilación de 35.9 pies cúbicos de aire por minuto y sin ventilación. Igual que para el segundo factor, la ventilación posee dos niveles.

El último factor en consideración fue el tiempo; tomado como factor fijo. Éste factor se consideró como el “split” o el que divide la parcela. El tiempo se tomó para sacar muestras de setas del horno y tomar su peso, siendo esta la variable respuesta. Se dejaron las setas dentro del horno por 30 horas para cada uno de los arreglos experimentales.

Estas 30 horas se dividieron en seis periodos de manera que las muestras se sacaron cada cinco horas.

El experimento se organizó entonces como una parcela con tres factores (“whole plot”) y esta parcela fue dividida por el factor tiempo (“sub-plot”). Debido a éste planteamiento, el experimento es conocido como “split-plot”. La aleatoriedad del experimento se hizo sólo para los factores de la parcela por medio del programa Minitab 14.

El apéndice B muestra el diseño factorial creado (además de los resultados obtenidos), teniendo en cuenta tres factores en el “plot” cada uno con dos niveles y para el cual se hicieron dos réplicas. El tiempo no se tomó en cuenta debido a que éste factor es controlado por cuestiones de logística y recursos, de manera que no se hacen arreglos de diferentes intervalos de horas. Los arreglos aleatorios hechos por Minitab 14 para los focos, la diedrita y la ventilación se organizaron y se tomó esa parcela y se dividió por tiempos de 5, 10, 15, 20, 25 y 30 horas. El tiempo de 30 horas se estableció de manera empírica porque por experimentación previa se conoce que en la condición, donde no hay ventilación ni diedrita, 24 horas después de tener las setas en el horno con un foco de 60 vatios, éstas salen completamente deshidratadas.

Las setas se pusieron en el horno previamente picadas en secciones de aproximadamente cinco milímetros de ancho (el tiempo del proceso de picar 150 gramos de seta se estimó en 10 minutos según el tiempo usado en la experimentación) de acuerdo a los arreglos y se tomaron muestras de 25 gramos cada una (seis muestras en total) para los diferentes intervalos de tiempo. Cada cinco horas se retiró una muestra y se tomó el peso que iba perdiendo con relación al peso inicial con que ingresaba al horno. La muestra fue retirada, pesada y puesta de nuevo en el horno para no afectar las condiciones de carga del mismo, ya que si se sacan y se dejan afuera, en el interior del horno habría menos carga cada cinco horas y esto aceleraría el proceso de secado lo cual nos daría algo irreal. En la chimenea del horno se puso un recopilador de información de humedad y temperatura para medir estos parámetros en el aire que iba saliendo. El peso perdido por las setas se utilizó como información para establecer la importancia de los

factores inicialmente mencionados en el arreglo del horno, de manera que se pueda determinar al final que combinación de factores debe tener el mismo para funcionar de manera óptima. Los pesos observados se utilizaron para establecer el tiempo que el foco debe permanecer prendido, de manera que las setas queden al final del proceso con un peso aproximadamente 87 porciento inferior a su peso inicial (el 87 porciento se obtiene teniendo en cuenta que el alimento después de deshidratado debe albergar una humedad en base húmeda del 18 porciento).

- **Un solo factor aleatorio.** Para calcular el tiempo del proceso se realizó un diseño de experimentos para un solo factor aleatorio tomando como factor el tiempo. Este tipo de experimento es el más sencillo y consiste en analizar un solo factor evaluado en diferentes niveles, de manera que se comparan las medias de la respuesta en cada uno de esos niveles y se establece si hay diferencia entre ellas.

  El modelo correspondiente a este experimento está dado por la ecuación IV.

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \qquad \textbf{IV}$$

Donde μ es un parámetro común para todos los tratamientos llamado la media general, τ representa el efecto del tratamiento (i) y ε_{ij} corresponde al error que incorpora todas las fuentes de variabilidad en el experimento.

Las hipótesis evaluadas son:

$$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = ...\tau_a$$

$$H_1 : \tau_1 \neq \tau_2 \neq ...\tau_a$$

Al igual que en el split-plot, lo que se desea investigar es si existe diferencia o no entre los niveles de los factores, teniendo en cuenta que en este experimento se evaluó un solo factor.

Para el caso del tiempo se investigó la diferencia entre los niveles del factor empezando en nueve horas. Inicialmente se tomó en consideración un nivel de seis

horas; se realizó un experimento piloto para observar la pérdida de peso de las setas después de seis horas de proceso, al cabo del tiempo se encontró que no alcanzan un nivel de deshidratación que permita que se conserven y, por lo tanto, 24 horas después de haberlas sacado y empacado se notó, que se habían dañado.

Se tomaron los niveles de 9, 12, 15 y 18 horas; aunque entre 15 y 20 horas de proceso el peso no varía significativamente, se evalúa hasta un nivel de 18 horas para observar y corroborar que no exista tal diferencia. Se tomaron los niveles de la variable tiempo poniendo una diferencia de tres horas entre ellos, así se evaluó el cambio en el peso en intervalos más cortos de lo que se hizo en el experimento anterior y se pudo obtener más información sobre la variación de la respuesta.

Para obtener la cantidad de réplicas a evaluar, se realizó un análisis del poder y tamaño de muestra en Minitab. El poder es la probabilidad de que la prueba rechace la hipótesis nula (en este caso es que no exista diferencia entre las medias de los pesos para los niveles de la variable tiempo o que no haya diferencia entre el efecto de los niveles de la variable) cuando la misma es falsa; se denomina como 1-β, siendo β la probabilidad de aceptar algo que debió ser rechazado. Se presumieron tres valores para el poder (0.7, 0.8 y 0.9) para evaluar la cantidad de réplicas de acuerdo a cada uno de ellos. En cuanto a la diferencia entre las medias de los factores, se hizo una presunción de cuatro gramos, de manera que se detectara la diferencia entre los efectos de los niveles cuando las medias varíen en más de cuatro gramos la una de la otra. Para el cálculo de la varianza, se tomaron los datos de los pesos para los niveles 5, 10 y 15; tomando en cuenta que las varianzas poblacionales son iguales (siendo esto una de las presunciones de ANOVA), se realizó el cálculo para una varianza conjunta (S_{pooled}). Los valores del poder, la diferencia entre medias, la varianza conjunta y un nivel de significancia de 0.05 fueron ingresados a Minitab, las réplicas obtenidas para cada valor del poder se muestran en la Figura 13.

Power and Sample Size

One-way ANOVA

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 2.845 Number of Levels = 4

SS Means	Sample Size	Target Power	Actual Power	Maximum Difference
8	10	0.7	0.704069	4
8	13	0.8	0.834820	4
8	16	0.9	0.913369	4

The sample size is for each level.

Figura 13. Número de réplicas

Tomando en consideración que se necesitarían de 10 a 16 réplicas para obtener un poder mayor a 0.7, se evaluó en Minitab el poder que producirían 11 réplicas. Se obtuvo un poder de 0.754 al realizar 11 réplicas del experimento y este valor fue el usado para la experimentación. La aleatoriedad para los niveles del tiempo se hizo mediante el programa Minitab.

4.2 Resultados de la deshidratación de las setas y establecimiento del cuarto de secado

4.2.1 Análisis del experimento Split-Plot y establecimiento del cuarto de secado

Los resultados de los pesos tomados en el experimento se tomaron como variable respuesta para el análisis. Con estos también se encontró la diferencia entre el peso inicial con que ingresaban las setas al horno y el peso con el que iban saliendo según cada muestra. Con esta diferencia se halló un porciento de peso perdido por las setas según el tiempo estipulado para cada muestra, esto para observar la pérdida de peso a través del tiempo de las diferentes unidades experimentales dentro del horno y tener una idea del momento donde el peso se tornaba aproximadamente estable.

La temperatura y humedad medida por el dispositivo registrador, se utilizaron para observar el tiempo en que se establecía un equilibrio entre el contenido de humedad de las setas y el contenido de humedad del aire.

Los datos obtenidos de la experimentación se ingresaron a Minitab. Bajo la columna de respuestas se pusieron los pesos tomados cada cinco horas para cada condición experimental y cada réplica. Se corrió el experimento y se determinaron los factores importantes. Los resultados de la experimentación se muestran en la Figura 14.

El nivel de significancia utilizado en el modelo fue de 0.05 de manera que la hipótesis nula se rechaza cuando el valor P sea menor al nivel de significancia. Según los resultados, los factores en los cuales el cambiar el nivel altera las condiciones del horno son: tiempo, diedrita y foco; aunque el valor P para los factores diedrita y foco indica que variar los niveles para estos factores no es significativo, las interacciones de dos factores para tiempo*diedrita y tiempo*foco indican que si hay diferencia al variar estos factores.

Las interacciones de tres y cuatro factores no aportan mayor información pero al observar el valor P para las mismas, se encuentra que la interacción entre tiempo*diedrita*foco resulta ser significativa.

Adicional a este análisis se realizó un gráfico para observar los efectos principales de cada factor, la Figura 15 muestra que existe una diferencia en los niveles del factor tiempo pero se ve una diferencia mayor entre los niveles 5, 10 y 15. La diferencia más grande entre las medias de los pesos para los niveles del 15 en adelante es de 0.27 gramos y por lo tanto se asume un comportamiento casi estable. Los datos tomados por el dispositivo que recopila la humedad relativa del aire y la temperatura mostraron una estabilidad en la humedad del aire después de 15 horas de transcurrido el proceso, indicando que se ha llegado a un equilibrio entre la humedad del alimento y la humedad del aire y que por lo tanto el mismo no tiene más agua para retirar.

En la Figura 15 se observa también que la diferencia entre los niveles del factor ventilación es mínima por lo tanto no es significativo para el proceso de deshidratación el hecho de tener ventilación inducida por un abanico.

En cuanto a la diedrita y el foco se ve una diferencia entre los dos niveles de cada factor, el peso de las setas es en promedio menor cuando no se usa diedrita e igualmente es menor cuando el foco es de 60 vatios.

Todo lo anterior concluye en que la mejor configuración para el horno, donde se alcanza una deshidratación más alta, es poniendo un foco de 60 vatios pero sin usar diedrita ni ventilación. Igualmente se observó que el mayor cambio en el peso del alimento se da en aproximadamente 15 horas.

Bajo las condiciones ideales se realizó entonces el próximo experimento con el fin de encontrar el tiempo que debe durar el proceso de deshidratación.

General Linear Model: Peso versus Rep, Tiempo, Ventilación, Diedrita, Focos

Factor	Type	Levels	Values
Rep	random	2	1, 2
Tiempo	fixed	6	5, 10, 15, 20, 25, 30
Ventilación	fixed	2	-1, 1
Diedrita	fixed	2	-1, 1
Focos	fixed	2	-1, 1

Analysis of Variance for Peso, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
Rep	1	1.7281	1.7281	1.7281	**
Tiempo	5	698.5910	698.5910	139.7182	296.29
Ventilación	1	0.8400	0.8400	0.8400	0.26
Diedrita	1	13.0833	13.0833	13.0833	34.66
Focos	1	8.9793	8.9793	8.9793	20.15
Rep*Tiempo	5	2.3578	2.3578	0.4716	1.32
Rep*Ventilación	1	3.2856	3.2856	3.2856	0.62
Rep*Diedrita	1	0.3775	0.3775	0.3775	0.13
Rep*Focos	1	0.4455	0.4455	0.4455	**
Tiempo*Ventilación	5	0.8865	0.8865	0.1773	0.37
Tiempo*Diedrita	5	14.8796	14.8796	2.9759	28.38
Tiempo*Focos	5	57.2298	57.2298	11.4460	29.19
Ventilación*Diedrita	1	6.9338	6.9338	6.9338	1.08
Ventilación*Focos	1	0.3408	0.3408	0.3408	0.11
Diedrita*Focos	1	8.5085	8.5085	8.5085	18.53
Rep*Tiempo*Ventilación	5	2.4045	2.4045	0.4809	0.94
Rep*Tiempo*Diedrita	5	0.5242	0.5242	0.1048	**
Rep*Tiempo*Focos	5	1.9604	1.9604	0.3921	0.69
Rep*Ventilación*Diedrita	1	6.4377	6.4377	6.4377	1.65
Rep*Ventilación*Focos	1	3.1032	3.1032	3.1032	0.66
Rep*Diedrita*Focos	1	0.4593	0.4593	0.4593	0.12
Tiempo*Ventilación*Diedrita	5	1.3299	1.3299	0.2660	5.40
Tiempo*Ventilación*Focos	5	1.4671	1.4671	0.2934	0.35
Tiempo*Diedrita*Focos	5	3.6857	3.6857	0.7371	6.83
Ventilación*Diedrita*Focos	1	2.2265	2.2265	2.2265	0.53
Rep*Tiempo*Ventilación*Diedrita	5	0.2461	0.2461	0.0492	0.13
Rep*Tiempo*Ventilación*Focos	5	4.2483	4.2483	0.8497	2.19
Rep*Tiempo*Diedrita*Focos	5	0.5394	0.5394	0.1079	0.28
Rep*Ventilación*Diedrita*Focos	1	4.2336	4.2336	4.2336	10.93
Tiempo*Ventilación*Diedrita*Focos	5	13.2619	13.2619	2.6524	6.85
Rep*Tiempo*Ventilación*Diedrita*Focos	5	1.9372	1.9372	0.3874	**
Error	0	*	*	*	
Total	95	866.5321			

Figura 14. Resultados del experimento Split-Plot

Source	P	
Rep		
Tiempo	0.000	
Ventilación	0.702	
Diedrita	0.107	
Focos	0.140	
Rep*Tiempo	0.673	x
Rep*Ventilación	0.686	x
Rep*Diedrita	0.890	x
Rep*Focos		
Tiempo*Ventilación	0.851	
Tiempo*Diedrita	0.001	
Tiempo*Focos	0.001	
Ventilación*Diedrita	0.488	
Ventilación*Focos	0.796	
Diedrita*Focos	0.145	
Rep*Tiempo*Ventilación	0.612	x
Rep*Tiempo*Diedrita		
Rep*Tiempo*Focos	0.686	x
Rep*Ventilación*Diedrita	0.449	x
Rep*Ventilación*Focos	0.545	x
Rep*Diedrita*Focos	0.797	x
Tiempo*Ventilación*Diedrita	0.044	
Tiempo*Ventilación*Focos	0.866	
Tiempo*Diedrita*Focos	0.027	
Ventilación*Diedrita*Focos	0.601	
Rep*Tiempo*Ventilación*Diedrita	0.980	
Rep*Tiempo*Ventilación*Focos	0.205	
Rep*Tiempo*Diedrita*Focos	0.907	
Rep*Ventilación*Diedrita*Focos	0.021	
Tiempo*Ventilación*Diedrita*Focos	0.027	
Rep*Tiempo*Ventilación*Diedrita* Focos		
Error		
Total		

x Not an exact F-test.
** Denominator of F-test is zero.

Figura 14. Resultados del experimento Split-Plot (Continuación)

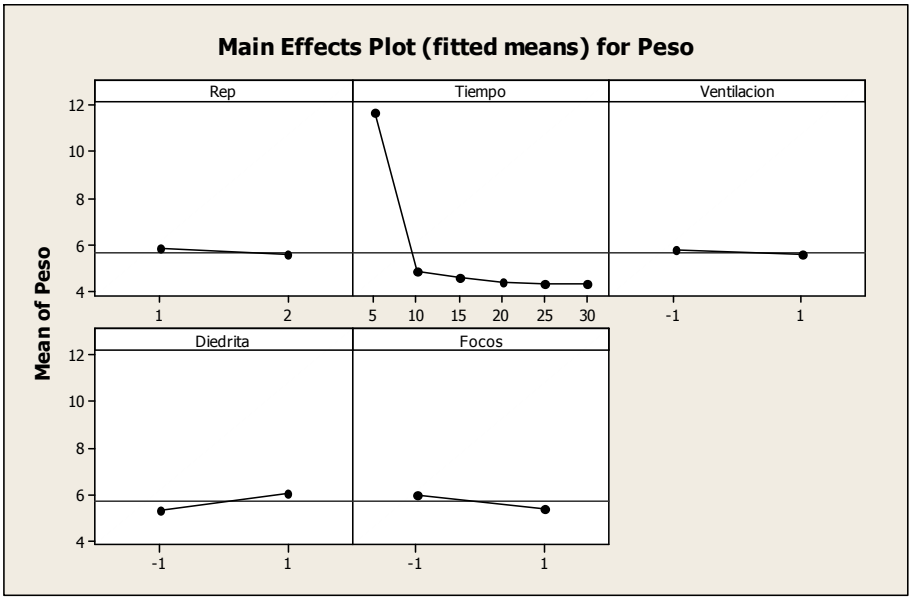


Figura 15. Efectos principales del experimento Split-Plot

4.2.2 Análisis del experimento de un solo factor aleatorio y cálculo del tiempo de proceso

Con el split-plot se logró fijar los factores foco, diedrita y ventilación e igualmente se determinó que el lapso de tiempo donde hay cambios significativos es aproximadamente 15 horas.

Los datos de los pesos para cada condición experimental y cada réplica se ingresaron a Minitab bajo la columna de respuestas. Se realizó un "General linear model". El modelo se ingresó teniendo en cuenta el tiempo como un factor fijo y las réplicas como un factor aleatorio. Se presumió un nivel de significancia de 0.05. La Figura 16 muestra los resultados.

General Linear Model: Pesos versus Tiempos, Replicas

```
Factor    Type    Levels  Values
Tiempos   fixed        4  9, 12, 15, 18
Replicas  random      11  1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11


Analysis of Variance for Pesos, using Adjusted SS for Tests

Source    DF   Seq SS   Adj SS  Adj MS     F      P
Tiempos    3   3.1996   3.1996  1.0665  1.39  0.264
Replicas  10  47.6228  47.6228  4.7623  6.21  0.000
Error     30  22.9890  22.9890  0.7663
Total     43  73.8114


S = 0.875386   R-Sq = 68.85%   R-Sq(adj) = 55.36%
```

Figura 16. Resultados del experimento de un solo factor aleatorio.

El valor P para el factor en estudio (tiempo), fue de 0.264; debido a que el nivel significancia tomado para el estudio (0.05) fue menor al valor obtenido para P, se concluye entonces que no existe una diferencia entre las medias de los pesos al cambiar el número de horas de procesamiento.

La Figura 17 muestra una gráfica de los efectos principales de los niveles del factor. Según los valores de las medias para cada nivel, la diferencia promedio del peso entre el nivel de nueve horas y el de 12 horas es de 0.6 g. La diferencia del peso entre los niveles 12 y 15 horas es de 0.09 g. y, por ende, la diferencia entre el nivel de nueve horas y el de

15 es de 0.69 g. En el caso del nivel de 18 horas, se notó que hubo un aumento en el peso aunque no fue significativo. Visualmente se observó que después de nueve horas de proceso, las setas estaban deshidratadas.

Debido a que estadística y visualmente no se notó diferencia entre el promedio de los pesos para cada nivel, se concluyó que después de nueve horas de proceso, las setas se deshidratan por completo. Lo anterior conduce, entonces, a que el foco de 60 vatios debe estar prendido por nueve horas.

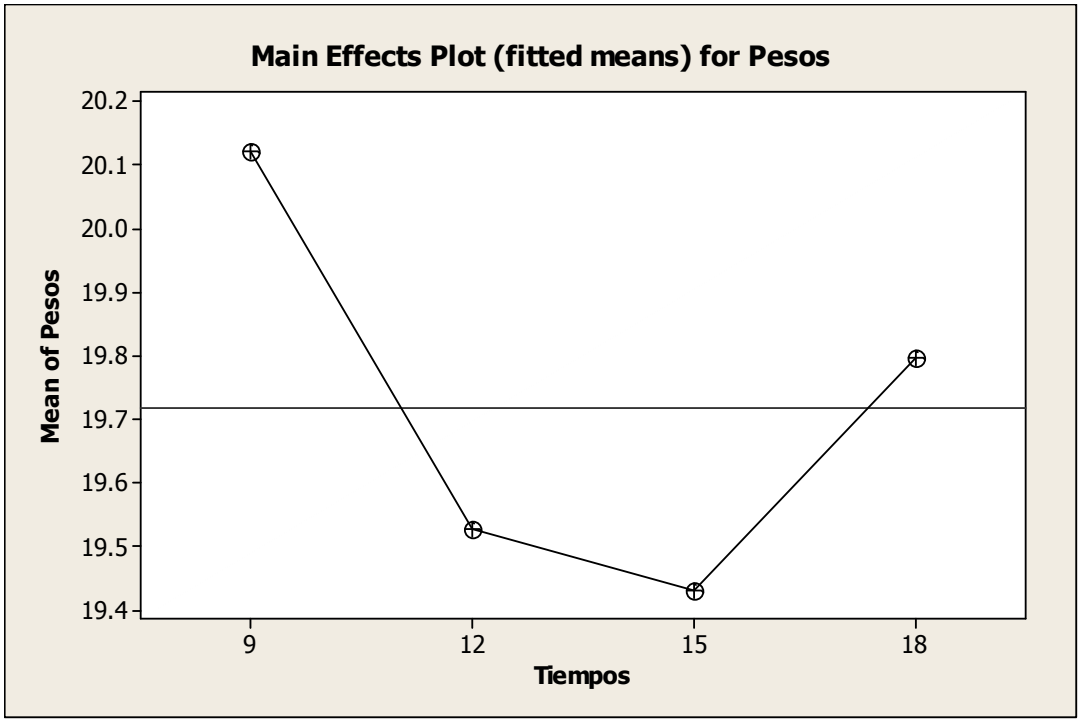


Figura 17. Efectos principales del experimento para un solo factor aleatorio.

4.2.3 Estimación teórica del peso aproximado de las setas deshidratadas

Después de hacer el cálculo del tiempo de proceso de manera experimental, se realizó un cálculo para estimar teóricamente el peso al cual debe reducirse el alimento después de deshidratado.

Tomando en cuenta que el alimento está deshidratado cuando alberga una humedad de 18 porciento en base húmeda, se procedió a calcular el peso teórico al que deben llegar

los 150 g. de setas después de haber pasado por el proceso de deshidratación. La ecuación V define el porcentaje de humedad en base húmeda.

$$H_{b/h} = \frac{M_{H_2O}}{M_{H_2O} + M_{sólidos}} \qquad \textbf{V}$$

Donde

$H_{b/h}$ = Porcentaje de humedad en base húmeda al que debe llegar el alimento después de deshidratado (18 porciento).

M_{H_2O} = Masa de agua que debe albergar el alimento después de la deshidratación.

$M_{sólidos}$ = Masa de los elementos sólidos en las setas (10 porciento de su peso total).

Considerando que las setas frescas tienen un 90 porciento de agua, se deduce entonces que el 10 porciento restante corresponde a los elementos sólidos en ellas, los cuales se mantienen constantes después de deshidratadas. Debido a que se tiene el valor de la humedad en base húmeda a la que se debe llegar después del proceso, y la masa de elementos sólidos, se despejó para encontrar la cantidad de agua que es aceptable en el alimento deshidratado. Tomando como peso inicial 150 gramos de seta (siendo ésta la misma cantidad de setas que se tuvo en cuenta a través de todos los procesos de experimentación), se dedujeron 15 gramos de elementos sólidos y por ende 3.3 gramos de agua, de manera que al deshidratar 150 gramos de seta fresca se debe llegar a un peso aproximado de 18.3 gramos de seta deshidratada.

El promedio del peso al que llegan las setas experimentalmente se estimó en 20.12 gr. obteniendo una diferencia de 1.82 gr. con el peso teórico. Esta diferencia se considera no significativa para efectos de este estudio (considerando que en la práctica, la deshidratación realizada fue satisfactoria).

Teniendo el peso ideal del alimento deshidratado según la ecuación V y los resultados de la experimentación para buscar el tiempo de proceso, se encontró que la duración del

proceso de deshidratación de 150 gramos de *Pleurotus pulmonarius* fresco es de nueve horas.

Después de encontrar el tiempo de proceso, se concluye que en una caja de cartón con las siguientes características: 40 cm. de largo por 53.5 cm. de ancho y 32 cm. de alto (15.7 x 21.1 x 12.6 pulgadas), equipada con un tubo de cartón de 1.7 pulgadas de diámetro (ubicado en la parte baja de una de las paredes laterales de la caja permitiendo la entrada del aire), una parrilla metálica (ubicada a 15 cm. aproximadamente de la base de la caja), un tubo de cartón de 1.7 pulgadas de diámetro (ubicado en la parte superior de la caja para que salga el aire) y un foco de 60 vatios; se logra deshidratar 150 gramos de *Pleurotus pulmonarius* fresco en nueve horas, llegando a reducir el peso inicial en un 86.6 porciento aproximadamente.

4.3 Elaboración de *Pleurotus pulmonarius* en polvo

El proceso de elaboración de las setas en polvo consistió en tomar las setas previamente deshidratadas para luego molerlas. Inicialmente se hicieron pruebas con un procesador de alimentos. Se pusieron 20 g. de setas deshidratadas en el procesador y se prendió para realizar la molienda; se encontró que no se llegaba a una molienda completa, algunas se redujeron considerablemente pero no se logró que todas las setas se molieran. Debido a lo anterior se aumentó el volumen de setas a 60 gr. y al ver que no se lograba el objetivo, se incrementó la cantidad a 100 gr. Se encontró que el variar el volumen no influía en el proceso y no se obtuvo la molienda deseada. Se atribuyó esto a la contextura de las setas porque aunque están deshidratadas no llegan a una contextura tostada, lo cual provocaba un atrancamiento en las cuchillas del equipo.

Se procedió después a utilizar un molino eléctrico de discos. El mismo fue graduado con el disco más pequeño para moler el alimento lo más triturado posible. Se tomaron 60 g. de setas y se introdujeron al molino. El proceso tomó 10 segundos y se obtuvo la seta completamente molida y con la contextura en polvo deseada. Las cantidades pueden variar y se sigue obteniendo un resultado satisfactorio.

Por lo anterior se estableció que el proceso de molienda debe darse en un molino eléctrico graduado con el disco más pequeño. Cabe resaltar que un molino para moler café puede ser utilizado como reemplazo del anteriormente mencionado.

5 EVALUACIÓN ECONÓMICA

La evaluación económica es una manera de ayudar a las empresas o personas a tomar sus decisiones basándose en la producción de mayor valor a menor costo. Es vital hacer un análisis de costos para cada producto a comparar; éste y la tasa de retribución que espera el inversionista, determinan el precio del producto con el cual se trabaja a través del análisis que finalmente llega a la toma de decisión de la mejor opción.

Para el caso específico de éste proyecto, es importante resaltar que se busca tomar todos los sobrantes de setas y convertirlos en producto deshidratado en polvo o harina. Sin embargo esto no impide la realización de la composta ya que la misma tiene como su base el sustrato que se desecha después de que éste ha dado todas las cosechas. Los sobrantes de setas se incorporan inicialmente a la composta para darles un uso productivo y porque ayuda a mejorar la calidad del subproducto pero el valor de las setas como tal se estaba menospreciando. El análisis de costos del proceso de deshidratación se hizo para evaluar la posibilidad de que se produjera más ganancia al deshidratar que al compostar. De esta manera se tomó en cuenta dos escenarios a comparar, es decir, el primero se consideró como la producción de composta con sobrantes de setas frescas y el segundo se consideró como la producción de harina con los sobrantes de setas y la composta sin los mismos.

5.1 Costos en que se incurre para la elaboración de la composta y la deshidratación de las setas

Cuando se trata de la elaboración de un producto para luego ponerlo en venta, se incurre en costos que están relacionados con la transformación de la materia prima en un nuevo producto.

5.1.1 Costos de inversión inicial

Estos costos se refieren al capital que se requiere para iniciar la actividad. Actualmente la empresa tiene tres cuartos destinados a los procesos de: pasteurización e inoculación, producción y almacenamiento. Estos cuartos fueron construidos por el

dueño. Igualmente se adquirió una caldera para el proceso de pasteurización, una mezcladora, una picadora y equipos como consolas de aire acondicionado, abanicos y refrigeradores que eran necesarios para comenzar la producción de setas frescas.

Para efectos de este estudio se hizo el análisis considerando un costo por el espacio utilizado para la elaboración del polvo de setas. Debido a que se necesita una infraestructura para el proceso, se estimó que el cuarto donde se realizará el mismo tiene un área de 382.5 pies^2 (siendo éste el mismo área de los cuartos que actualmente se usan para la producción de setas frescas), para el cual se estimó un costo de construcción (para Hepperly Entrerprises) de 7,000 dólares y una vida útil de 20 años (según la oficina de servicios de impuestos internos de Chile bajo la partida de construcciones en la actividad de agricultura). En el caso de la composta no se necesita inversión inicial en activos porque la misma se realiza en el piso del lote, y el costo de éste espacio corresponde a un 20 porciento de la renta mensual.

5.1.2 Costos directos de manufactura

Estos se refieren a los costos que se cargan directamente al producto elaborado. Se tuvo en cuenta el costo de la materia prima. La Tabla 6 muestra un resumen de la materia prima que se usa en la elaboración de la composta y el polvo de setas; se discriminaron allí mismo los costos relacionados para cada producto.

Tabla 6. Materia prima involucrada en la producción de composta y setas deshidratadas.

Materia prima	Cantidad por ciclo de producción	Costo unitario en dólares
Sobrante de sustrato	1568 lb.	0
Sobrantes de setas frescas	-	3 dólares/libra
Etiquetas	-	3.6 centavos/etiqueta
Envases plásticos	-	14.24 centavos/envase
Bolsas plásticas	143	10 centavos/bolsa

La deshidratación de la seta tiene como materia prima los sobrantes de setas y su valor sería el mismo que se usa en la elaboración de la composta (ambos procesos tienen como materia prima la misma cantidad de setas que corresponde a los sobrantes de cada ciclo productivo). Los sobrantes se estimaron en un dos porciento de la producción de seta fresca y corresponden a 17. 92 libras (8135.68 g.) de setas por ciclo de producción. Esta cantidad de sobrantes corresponde al valor actual que la empresa está incorporando en la composta, sin embargo, las cantidades de sobrantes consideradas en el estudio varían entre 0.5 y cinco porciento para efectos del análisis de factibilidad mostrado en la sección 5.2.

La Tabla 6 muestra un costo de cero dólares para el sobrante de sustrato (materia prima principal en la elaboración de la composta) y una cantidad de l568 libras; el costo de cero se debe a que el costo del sustrato es asumido en la producción de la seta fresca; la cantidad de libras se estimó tomando en consideración que inicialmente el sustrato fresco tiene un peso de 14 libras por bolsa y después de que da las cosechas, su peso se reduce a siete libras aproximadamente. Si el sobrante de sustrato no se composta, se bota y allí perdería el valor que se le puede agregar al tomarlo como un subproducto. Adicional a esto, se hicieron averiguaciones para estimar el costo de botar el sustrato; se encontró que en la Universidad de Puerto Rico Recinto Universitario de Mayagüez, actualmente están realizando composta y los sobrantes de sustrato podrían llevarse allí sin que se deba pagar un costo por dejarlos. De esta manera el único costo que podría afectar sería el de la gasolina por llevar los sobrantes de sustrato, pero se aclara que los mismos están siendo compostados por la empresa y por esto se toma en consideración un costo de cero dólares.

Para las etiquetas se realizó una cotización en diferentes empresas ubicadas en la isla de Puerto Rico. Los precios obtenidos varían entre 75 y 3.6 centavos de dólar por etiqueta. Se consideró el precio más económico para efectos de este estudio (siendo éste el precio ofrecido por el proveedor que realiza actualmente las etiquetas para las setas frescas). La cantidad de etiquetas se estimó de acuerdo a la cantidad de sobrantes que se estén considerando en el análisis de factibilidad. Se presume que se van a vender frascos de polvo de setas de dos oz. (56.7 gr.). Se tomó esta cantidad debido a que los frascos de

sazones (en el supermercado) fluctúan en su mayoría entre 1 y 12 onzas, y, por ser un polvo de sabor concentrado, se consideró la cantidad de dos onzas como una cantidad apropiada. Se investigó la venta de polvo de setas en el mercado y se encontró que la empresa Mighty Mushrooms vende 25 g de polvo de *Pleurotus ostreatus* a un precio de 17 dólares. De acuerdo a la cantidad de seta en polvo que se obtiene del proceso de deshidratación y molienda, se estimó la producción de los frascos de polvo o harina de setas. Debido a que al realizar la deshidratación se encontró que no siempre se logra una cantidad que produzca un número entero de frascos, se presumió que el sobrante de harina de setas que no alcanza a completar un frasco se va a considerar como una pérdida de producto en el proceso. El costo de cada etiqueta (según la empresa San Miguel Labels ubicada en Ciales, Puerto Rico) se cotizó en 3.6 centavos de dólar incluyendo envío (este precio se estimó teniendo en cuenta una compra de 5000 etiquetas, siendo ésta la venta mínima).

Las cotizaciones para los envases plásticos se hicieron en diferentes empresas de la isla; se tomó el precio más bajo ofrecido por la empresa Polyplas-Reid ubicada en Caguas (Puerto Rico). El costo de los envases plásticos de dos onzas se estimó en 14.24 centavos de dólar (incluyendo envío) y se consideró una compra de mil frascos plásticos con sus tapas.

Las bolsas plásticas se usan para el empaque de la composta, éstas no van etiquetadas. Actualmente la empresa compra las bolsas a la empresa Comercial William Cruz ubicada en la ciudad de Mayagüez (Puerto Rico), a un precio de 47.75 dólares por cada caja de 500 bolsas. El costo unitario de las mismas se estimó entonces en 10 centavos de dólar; se empacan 15 cuartillos por bolsa (17.25 litros). Tomando en consideración que el volumen de composta varía de acuerdo a la humedad del ambiente, se estimó en base a un promedio de producción de la empresa, que la cantidad de toneles que se llenan por ciclo es de 13, lo que equivale a 2136.55 cuartillos (650 galones) de composta y por ende a 143 bolsas por ciclo productivo aproximadamente.

5.1.3 Costos indirectos de manufactura

Estos incluyen todos los costos incurridos en la producción que no se pueden observar con facilidad. Son costos relacionados con materiales que no son parte del producto final pero son necesarios para producirlo o son parte del producto final pero que cuesta más la recolección de la información que el mismo material. En ésta partida se incluyeron los costos relacionados con los materiales y equipos que se utilizan para el proceso de elaboración de la composta y para la deshidratación y elaboración de la harina de setas. Adicional a estos, se incluyen dentro de los costos indirectos, los relacionados a los servicios públicos utilizados en la producción, el costo de renta y el costo de inventario.

El horno se construyó de manera artesanal, no existe un costo por depreciación sino un costo de reemplazo de los materiales con que se establece el mismo. En el caso del molino, y demás equipos, se calculó también un costo de reemplazo de los mismos de acuerdo a su vida útil. Debido a la falta de información sobre la vida útil de los equipos, se presumió que la misma equivale al tiempo de garantía ofrecido por el proveedor o, en casos donde no se tiene información de la garantía, se presumió que la misma equivale a los datos obtenidos de la oficina de servicios de impuestos internos de Chile. La Tabla 7 muestra un resumen de los costos incurridos en cada material e insumo.

Tabla 7. Materiales usados para el establecimiento del deshidratador, la elaboración de la composta y la seta molida.

Material	Tiempo de duración	Costo unitario en dólares
Caja de cartón	8,760 horas (1 año)	4.00
Rejilla metálica	26,280 horas (3 años)	12.82
Bombilla de 60 vatios	1,000 horas (0.11 años)	1.27
Extensión (8 pies)	26,280 horas (3 años)	6.40
Plafón o rosqueta	26,280 horas (3 años)	1.81
Rollo de cinta de enmascarar	157.4 selladas	6.40
Tubo de PVC	157,680 horas (18 años)	0.72
Molino	78,840 horas (9 años)	162.94
Pala	219,000 horas (25 años)	16.02
Carretilla	131,400 horas (15 años)	39.56
Tabla para picar	26,280 horas (3 años)	5.25

Tabla 7. Materiales usados para el establecimiento del deshidratador, la elaboración de la composta y la seta molida (Continuación).

Material	Tiempo de duración	Costo unitario en dólares
Malla	4,380 horas (6 meses)	0.25
Cuchillo	26,280 horas (3 años)	2.61
Toneles	26,2800 horas (30 años)	69.52
Cernidor	26,280 horas (3 años)	10.24

En el caso de la caja de cartón, se estableció que el volumen aproximado que debe tener es de 0.0685 m^3. (2.42 $pies^3$), éste volumen corresponde al mismo volumen de la caja donde se realizaron las experimentaciones y para el cual se estableció la masa de setas a deshidratar y el tiempo que dura el proceso. Tomando en consideración que el 80 porciento de la producción de seta fresca se da en la primera cosecha, se presume bajo lo anterior que el 80 porciento de los sobrantes se dan también en la primera cosecha. Se estimó el número de cajas necesarias para deshidratar la masa de setas teniendo en cuenta que el proceso de deshidratación de 150 gramos dura nueve horas. Debido a que las setas frescas se pueden tener almacenadas en el refrigerador y que a partir de la primera cosecha pasan aproximadamente siete días para que las bolsas terminen de dar todas sus cosechas, se estimaron el número de cajas realizando la deshidratación a diario de manera simultánea para que el lapso de tiempo que dure el proceso de deshidratación desde la primera cosecha hasta la última sea máximo de ocho días en los cuales cada horno hace un proceso de nueve horas por día. Se realizaron cotizaciones en cinco empresas de la isla de Puerto Rico para la compra de cajas de cartón corrugado y se optó por la opción con menor precio (ofrecido por la compañía RM Distribution ubicada en Bayamón, Puerto Rico) y con dimensiones más cercanas a las de la caja utilizada para el proceso de experimentación (20 pulgadas de ancho por 16 pulgadas de largo por 16 pulgadas de alto). La vida útil se estimó en un año de acuerdo al proveedor, se tuvo en cuenta que las cajas van a estar ubicadas en un lugar bajo techo donde no recibe humedad.

En el proceso de experimentación se utilizó una parrilla metálica (usada comúnmente como estante para organizar utensilios de cocina) que se ubicó dentro de la caja y sobre la cual se pusieron las setas. Se consideró el establecimiento del horno teniendo en cuenta el

mismo tipo de parrilla usada en la experimentación. El costo de la misma se cotizó en la tienda Walmart quienes venden una parrilla de 18.25 pulgadas de ancho por 10 pulgadas de largo y 9 pulgadas de alto a un precio de 12.82 dólares Su vida útil se estimó de acuerdo a la oficina de servicios de impuestos internos de Chile, bajo la partida de enseres.

La bombilla de 60 vatios se catalogó con una duración de 1000 horas debido a que éste es el tiempo de duración según las especificaciones del productor (General Electric). Su precio se determinó de acuerdo a la tienda Home Depot de Mayagüez (Puerto Rico).

En cuanto a la extensión, se utilizó una donde un extremo tiene el enchufe integrado al cable y el otro tiene los cables a la vista de manera que se le puede integrar el plafón donde va la bombilla. Se realizó la cotización para las partes de la extensión por separado (cable y enchufe) y se encontró que la extensión con las partes integradas tenía un menor costo. La vida útil se estimó de acuerdo a las especificaciones del proveedor (Commercial Electric) y el precio se determinó de acuerdo a la tienda Home Depot de Mayagüez (Puerto Rico).

El plafón o rosqueta se cotizó para dos tipos de materiales: plástico y porcelana. Se tomó en cuenta el plafón de porcelana debido a que tiene una mayor duración. El costo se obtuvo de la tienda Home Depot de Mayagüez (Puerto Rico); su vida útil se estimó de acuerdo a la oficina de servicios de impuestos internos de Chile bajo la partida de enseres, artículos de porcelana, loza, etc.

El rollo de cinta de enmascarar (de 1.88 pulgadas de ancho por 180.4 pies de largo) se utilizó para sellar la caja en el proceso de experimentación; se debe tener en cuenta porque evita en parte el escape de calor de la caja. Se tomó en cuenta las dimensiones de las cajas cotizadas y se estimó que se necesitarían dos pedazos de 17 pulgadas en los lados de la parte superior de la caja y un pedazo de 21 pulgadas que sella las dos tapas superiores, esto conduce a un gasto de 55 pulgadas. Durante la experimentación se observó que la cinta era reemplazada cada cuatro corridas experimentales aproximadamente. Sabiendo la cantidad de cinta por rollo y el tiempo de reemplazo de

las porciones, se estimó que un rollo de cinta alcanza para sellar la caja 157.4 veces. Su costo se estimó de acuerdo a la tienda Home Depot de Mayagüez (Puerto Rico).

Los tubos de cartón para la entrada y salida del aire, usados durante la experimentación se sacaron de las toallas de papel usadas para limpiar superficies. Debido a que se deben construir más de 1 caja para el proceso de deshidratación de los sobrantes, se reemplazó los tubos de cartón por tubos de PVC con el fin de alargar su tiempo de vida y aminorar costos. Se investigó sobre la vida útil de este tipo de tubería en diferentes empresas dedicadas a la producción de tubería en PVC, sin embargo no se encontró información exacta sobre el tiempo. Se tomó entonces una vida útil de 18 años, éste valor fue obtenido de estimaciones hechas por la oficina de servicios de impuestos internos de Chile (Sii). El costo de un tubo PVC de una y media pulgadas de diámetro y un pie de largo se estimó en 0.72 centavos de dólar (precio obtenido de la tienda Home Depot ubicada en Mayagüez, Puerto Rico).

El costo del molino se estimó en 162.94 dólares (incluyendo el envío), siendo este el precio del proveedor Kitchen Aid donde se encontró un equipo similar al utilizado en el proceso de experimentación para la molienda. Su vida útil se definió de acuerdo a la oficina de servicios de impuestos internos de Chile, bajo la partida de balanzas, hornos microondas y cocina.

La vida útil de la pala se estimó de acuerdo a la garantía de 25 años ofrecida por el proveedor (empresa Vigoro). Tomando en consideración el tiempo de duración del ciclo productivo de la seta fresca (se estimó en 47.5 días aproximadamente, pero debido a que el proceso de siembra comienza tan pronto las setas se trasladan al cuarto de producción, se tomó en cuenta que cada 30 días que dura el proceso de inoculación, se van a obtener cosechas), se estimó que en un año (365 días) se realizan 12 procesos de compostaje (al igual que 12 ciclos productivos de harina de setas) para un total de 300 en un lapso de 25 años. El precio de la pala se determinó de acuerdo a la tienda Home Depot de Mayagüez (Puerto Rico).

Para el transporte de la composta desde donde se mezcla hasta donde están los toneles (tres metros aproximadamente) se tuvo en cuenta una carretilla con capacidad de 32.15 galones (cinco pies cúbicos). La misma se cotizó en 39.56 dólares (precio según la tienda Home Depot ubicada en Mayagüez, Puerto Rico). Para efectos de la vida útil, se hizo una búsqueda en la compañía fabricante del equipo y en otras compañías productoras de carretillas, sin embargo no se encontró información; se utilizó entonces la información provista por la oficina de servicios de impuestos internos de Chile y se determinó su vida útil en 15 años. El volumen aproximado que se debe transportar es de 650 galones, para lo cual se necesitan 20 viajes por ciclo productivo. Se estimó que la carretilla se utiliza 240 veces por año. La vida útil entonces se calculó como 180 ciclos productivos (teniendo en cuenta 12 ciclos de producción por año).

La tabla para picar y el cuchillo se usan para cortar las setas antes de deshidratarlas. Los precios para las tablas de picar de plástico varían entre 8 y 2.61 dólares; en cuanto a los cuchillos, varían entre 20 y 5.25 dólares (según la tienda Walmart ubicada en Mayagüez, Puerto Rico). Se tomaron los precios más bajos dentro de los utensilios considerados duraderos, como las tablas plásticas y los cuchillos de acero inoxidable. La vida útil de ambos se estimó en según la oficina de servicios de impuestos internos de Chile debido a que no se tiene conocimiento de este aspecto por parte del proveedor.

En cuanto a la malla, ésta fue usada para ponerla sobre la rejilla con el fin de evitar que al poner las setas, las pequeñas se cayeran por los orificios. Se utilizó una porción de 50 cm. por 38 cm. (19.7 pulgadas por 15 pulgadas) para la experimentación y se determinó esta misma porción para el proceso final. El costo se determinó teniendo en cuenta que la malla se vende por yarda (91.44 cm) a 0.9844 dólares y que el ancho determinado por el proveedor para la misma es de 101 cm (40 pulgadas). Se calculó entonces que por cada yarda de malla se pueden obtener 4 porciones. La vida útil se estimó de acuerdo al desgaste visto en la experimentación; esto debido a que no se encontró información que pudiera determinarla.

Respecto a los toneles plásticos donde se almacena la composta, se estimó un precio de 69.52 dólares por tonel según la tienda Home Depot ubicada en Mayagüez (Puerto

Rico), quienes comercializan contenedores de la compañía Rubbermaide. La garantía ofrecida por el productor es ilimitada. Para efectos contables se presume una vida útil de 30 años.

El cernidor se utiliza para eliminar partículas grandes que interfieran con la contextura de la composta. Actualmente la empresa utiliza un cernidor con un marco de madera y una malla metálica, éste es usado comúnmente para cernir arena. Se cotizó un cernidor con estas mismas características a un precio de 10.24 dólares según la tienda Home Depot ubicada en Mayagüez (Puerto Rico). La oficina de servicios de impuestos internos de Chile tiene un estimado de vida útil de 3 años para herramientas livianas. Bajo este mismo estimado se trabajo la vida útil para el cernidor.

El costo por la electricidad se estimó de acuerdo a los cobros realizados por la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico. Los cobros se dividen de la siguiente manera: 0.038532 dólares por Kw/h por compra de energía, 0.141258 dólares por Kw/h por compra de combustible y 0.0435 dólares por Kw/h por consumo. Se aclara que los costos mencionados fueron estimados de acuerdo al mes de mayo de 2008.

El costo por el agua se estimó de acuerdo a la Autoridad de Acueducto y Alcantarillado de Puerto Rico. El gasto por tener una pluma (grifo) abierta es de dos a cinco galones por minuto y el costo por galón de agua es de 0.002 dólares además de los cargos fijos y el costo por alcantarillado. El consumo promedio de una persona por día es de 60 galones de agua. Se presumió que el gasto diario de la persona encargada del proceso de deshidratación es de 60 galones y se tuvo en cuenta que el proceso dura 8 días. En el caso de la composta, se presumió que su elaboración, almacenamiento y empaque corresponde a ocho horas de trabajo, por lo tanto, el consumo de agua se presumió como la mitad del consumo de una persona por día (30 galones). Lo anterior se tomó en base al mes de mayo de 2008.

Actualmente la empresa se hace cargo de la renta de un lote donde se cultivan las setas y se produce la composta; sin embargo la producción de los productos mencionados no abarcan el lote completo, esto hace que haya lugar para la producción de setas

deshidratadas. Actualmente se pagan 616 dólares de renta por el lote. Para efectos de asignar un porcentaje de la renta a la harina de setas, se consideró que el proceso que más utiliza el espacio es el de cultivo de setas, por lo tanto, se asignó un 70 porciento de la renta a las setas frescas (correspondiente a 431.2 dólares), un 10 porciento a la harina de setas (correspondiente a 61.6 dólares) y un 20 porciento a la elaboración de la composta (correspondiente a 123.2 dólares).

La Tabla 8 muestra el resumen de los costos indirectos correspondientes a servicios públicos, renta e inventario de sobrantes de setas frescas para cada ciclo productivo.

Tabla 8. Resumen de costos indirectos.

Concepto de costo	Costo por unidad
Electricidad	0.2233 dólares por Kw/hora
Agua	0.0083 dólares por galón
Renta	616 dólares mensuales
Inventario	4 dólares por libra

El costo por inventario de sobrantes de setas frescas se determinó como un costo de oportunidad. Actualmente los refrigeradores que se tienen en la empresa, poseen el espacio necesario para almacenar las setas frescas y los sobrantes; sin embargo se va a considerar el espacio que ocupan los sobrantes como la ganancia que se deja de ganar si éste espacio se ocupara por setas frescas para la venta en el sector de restaurantes (siendo este el sector a quienes más se vende). Considerando que la venta de una libra al sector de restaurantes está estipulada en siete dólares, y que el costo de la misma es de tres dólares, se determinó un costo de oportunidad de cuatro dólares (siendo ésta la ganancia que deja la venta de una libra de setas frescas al sector de restaurantes). La Tabla 9 muestra los costos de oportunidad para diferentes cantidades de sobrantes con los cuales se realizó el análisis. En cuanto al costo de inventario de producto terminado para la harina de setas, se presumió despreciable debido a que las cantidades de frascos de harina que se producen no necesitan un espacio reservado para su almacenamiento, además la empresa tiene espacio para almacenar los mismos. La cantidad más grande de frascos (presumiendo un cinco porciento de sobrantes, siendo éste el valor más grande

considerado en el análisis) sería de 48, los cuales ocuparían un área aproximada de 300 pulgadas cuadradas, teniendo en cuenta que los mismos se apilarían de a dos (uno sobre el otro).

Tabla 9. Costo de inventario de setas frescas para la elaboración de harina.

Porcentaje de sobrantes	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Libras de setas	4.48	8.96	13.44	17.92	22.40	26.88	31.36	35.84	40.32	44.80
Costo de oportunidad en dólares	17.92	35.84	53.76	71.68	89.60	107.52	125.44	143.36	161.28	179.20

5.1.4 Costos directos de labor

Es el costo por sueldos pagados a los empleados (personas que se encargan de transformar la materia prima en producto terminado) se enfocó a las personas que están relacionadas directamente con el proceso. Para el caso de la composta y la deshidratación se requiere una sola persona, ésta misma persona es quien realiza los dos procesos. Los sobrantes de setas se van colectando a medida que se van dando las cosechas, esto implica que el proceso de deshidratación se puede hacer en varias etapas, debido a que se va deshidratando con base a la cantidad de sobrante por cosecha del ciclo productivo; la composta solo puede ser producida al final del ciclo productivo de las setas frescas. Cabe resaltar que una vez las bolsas se trasladan al cuarto de producción donde crecen las setas, se prosigue enseguida con el siguiente ciclo de producción mientras las anteriores bolsas dan sus cosechas. Durante el tiempo que las setas están en incubación se realiza la composta. El costo del sueldo por hora es de 6.55 dólares (según el US Department of Labor para el año de julio 24 de 2008 hasta julio 24 de 2009). Se omiten los pagos por prestaciones sociales porque la persona se contrata como un jornal por las horas necesarias para el proceso de compostaje y la elaboración de las setas en polvo.

Para el proceso de deshidratación, se estimó empíricamente (en el proceso de experimentación) que el operario gasta 5 minutos picando 150 gramos de setas, el proceso de pesado y establecimiento del horno con las setas a deshidratar, dura en promedio cinco minutos. Después de deshidratadas, el proceso de sacarlas del horno, molerlas, pesarlas de nuevo y empacarlas dura aproximadamente 20 minutos (esta estimación fue hecha en base a experimentación previa). Todos los anteriores procesos son hechos manualmente.

5.2 Análisis de factibilidad económica de la producción de harina de setas mediante el uso de la Tasa Interna de Retorno.

Se tuvieron en cuenta dos escenarios a comparar. El primero consiste en la situación actual de la empresa Hepperly Enterprises la cual produce setas *Pleurotus pulmonarius* fresco, de cuya producción quedan sobrantes considerados como una pérdida que se incorpora a una composta pero sin tener en cuenta el valor de los mismos (de manera que el valor de las setas se menosprecia). El segundo escenario consiste en deshidratar los sobrantes de setas frescas y convertirlos en harina, de manera que se valoren las setas como tal y entonces la composta se haga sin tener en cuenta sobrantes de setas frescas.

En el caso particular de este proyecto, el análisis de factibilidad se hizo mediante el método de tasa interna de retorno (TIR). Este método permite determinar la tasa de retorno de un proyecto igualando a cero el valor presente neto de los flujos de ingresos y egresos para un horizonte de tiempo (el cual se consideró de cinco años para los dos escenarios del análisis). Para el caso donde hay múltiples alternativas como es el caso de este proyecto (donde se comparan dos alternativas), se determinó la tasa interna de retorno para cada una de las alternativas para luego compararlas y escoger la alternativa con mayor TIR.

Actualmente se estimó que el porcentaje de sobrantes de setas frescas corresponde a un dos porciento de la producción total de setas (esto corresponde a 17.92 libras de setas frescas). Para realizar el análisis se variaron los sobrantes de setas desde 0.5 porciento en incrementos de 0.5 porciento hasta cinco porciento. Esto porque las cantidades de setas

frescas que sobran de la producción pueden variar en un rango similar al mencionado anteriormente.

Para cada uno de los porcentajes de sobrantes se presumió que la deshidratación debe darse en ocho días o antes. Los recursos se ajustaron de manera que independientemente de la cantidad a deshidratar se debe realizar ocho procesos por horno por ciclo productivo, 12 ciclos productivos de setas frescas y por lo tanto 12 ciclos productivos de harina de setas y composta por año.

Para cada uno de los escenarios del análisis se tuvieron en cuenta los costos mencionados en la sección 5.1. Todos los valores considerados en los escenarios fueron redondeados a valores entre dos y tres cifras decimales para la presentación de las tablas, sin embargo, los cálculos fueron realizados teniendo en cuenta nueve cifras decimales y los totales son presentados considerando todas las cifras decimales que se usaron en los cálculos.

Adicional a lo mencionado, se tomó en cuenta una inflación de los costos y precios para realizar las estimaciones en un horizonte de cinco años. La Tabla 10 muestra la inflación según la Junta de Planificación de Puerto Rico. De los valores allí mostrados se calculó el promedio (8.76 porciento) y este se usó como la inflación para éste proyecto.

Tabla 10. Inflación anual para Puerto Rico.

Año	Porcentaje de inflación
1998	5%
1999	5.70%
2000	6%
2001	7%
2002	6%
2003	8%
2004	12%
2005	14%
2006	15%

5.2.1 Escenario 1: se produce composta con los sobrantes de setas frescas

En la elaboración de la composta se incurre en costos descritos en la sección 5.1 de este capítulo. La Tabla 11 muestra un resumen de los costos indirectos por concepto de materiales, la cantidad que se requiere de los mismos y la vida útil de cada material.

Tabla 11. Costos por concepto de materiales o equipos.

Material	Vida útil en horas	Vida útil en ciclos de producción	Costo unitario en dólares	Número de artículos utilizados por ciclo
Pala	219000	300	16.02	1
Carretilla	131400	180	39.56	1
Toneles	262800	360	69.52	13
Cernidor	26280	36	10.24	1

El costo por concepto de renta se clasifica como costo fijo porque la cantidad de sobrantes no afecta el pago de la renta. Para el caso de la composta la renta corresponde a 123.33 dólares por ciclo productivo.

En cuanto a los costos de servicios públicos (considerados como costos fijos al igual que la renta), se estimó un costo de 0.25 dólares de agua para el ciclo productivo (correspondiente a 30 galones de agua), ya que la composta se hace en un día de trabajo y no se necesita mayor cantidad de agua. No se tuvo en cuenta costos por energía porque la misma se hace al aire libre en el piso del lote y allí no existe ni la necesidad de energía ni las instalaciones en la empresa para la misma.

Los costos por concepto de mano de obra se calcularon teniendo en cuenta un día de trabajo de ocho horas. El mismo se mantiene fijo sin importar la cantidad de sobrantes y se estimó en 52.4 dólares por ciclo de producción. Los costos directos por concepto de materia prima como el costo por sobrantes de sustrato se estimó en cero dólares y el costo por las bolsas para empacar la composta se estimó en 0.1 dólares por bolsa. La Tabla 12 muestra el valor de los sobrantes para cada uno de los porcentajes de sobrantes.

Tabla 12. Valor de los sobrantes de setas frescas.

Porcentaje de sobrantes	Gramos de sobrantes	Valor de los sobrantes en dólares
0.5	2033.92	13.44
1	4067.84	26.88
1.5	6101.76	40.32
2	8135.68	53.76
2.5	10169.60	67.2
3	12203.52	80.64
3.5	14237.44	94.08
4	16271.36	107.52
4.5	18305.28	120.96
5	20339.20	134.40

La estimación del costo total de elaboración se hizo por ciclos. Esto para facilitar la visualización del momento donde se deben reemplazar los materiales o equipos utilizados en la producción de composta. Sin embargo los costos cambian en periodos de un año de acuerdo a la inflación, por lo tanto, después de desglosar los mismos por ciclos productivos (12 por año) se procedió a sumarlos en su respectivo periodo anual y se resumió los mismos en la Tabla 13. El año cero corresponde al momento inicial donde se realiza la inversión.

Tabla 13. Costos anuales por concepto de producción de composta.

	Porcentaje de sobrantes de setas frescas									
Año	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1	3243.86	3405.14	3566.42	3727.70	3888.98	4050.26	4211.54	4372.82	4534.10	4695.38
2	2473.40	2648.81	2824.21	2999.61	3175.01	3350.41	3525.81	3701.21	3876.61	4052.01
3	2689.96	2880.72	3071.48	3262.24	3453.00	3643.76	3834.51	4025.27	4216.03	4406.79
4	2938.66	3146.12	3353.58	3561.04	3768.50	3975.96	4183.42	4390.88	4598.34	4805.80
5	3181.63	3407.25	3632.88	3858.50	4084.13	4309.75	4535.38	4761.00	4986.63	5212.25

Para la estimación de los ingresos se tuvo en cuenta que sin importar la cantidad de sobrantes de setas que se incorporan a la misma, la cantidad de bolsas por ciclo sería de 143, las cuales tienen un precio de venta de 3 dólares. Esta presunción se hizo debido a que la cantidad de composta varía de acuerdo a las condiciones de humedad del

ambiente, y, teniendo en cuenta que la cantidad más grande de sobrantes de setas sería de 44.8 libras (siendo ésta la cantidad correspondiente a un cinco porciento de sobrantes) se presumió que la misma no alteraría considerablemente la cantidad de composta producida por ciclo. La Tabla 14 muestra los ingresos por año de acuerdo a las cantidades de sobrantes (nótese que los mismos no cambian con la cantidad de sobrantes). En ésta se ve un ingreso de cero al inicio del proyecto porque en ese momento sólo se tiene el costo de inversión inicial, sin embargo, se adiciona el año cinco correspondiente a los ingresos del final de la operación lo cuales se obtienen teniendo en cuenta los costos del año 4 de la Tabla 13.

Tabla 14. Ingresos anuales por concepto de producción de composta.

	Porcentaje de sobrantes de setas frescas									
Año	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1	5148.00	5148.00	5148.00	5148.00	5148.00	5148.00	5148.00	5148.00	5148.00	5148.00
2	5598.74	5598.74	5598.74	5598.74	5598.74	5598.74	5598.74	5598.74	5598.74	5598.74
3	6088.94	6088.94	6088.94	6088.94	6088.94	6088.94	6088.94	6088.94	6088.94	6088.94
4	6622.06	6622.06	6622.06	6622.06	6622.06	6622.06	6622.06	6622.06	6622.06	6622.06
5	7201.85	7201.85	7201.85	7201.85	7201.85	7201.85	7201.85	7201.85	7201.85	7201.85

Teniendo los flujos de costos e ingresos para los años en consideración (cinco), se procedió a calcular la tasa interna de retorno de acuerdo a las cantidades de sobrantes. La Tabla 15 muestra un resumen de las mismas.

Tabla 15. Tasa interna de retorno para la composta de acuerdo a los sobrantes de setas frescas.

	Porcentaje de sobrantes de setas frescas									
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
TIR	96%	87%	79%	71%	64%	57%	51%	45%	39%	34%

Se observa que a mayor cantidad de sobrantes de setas frescas, la tasa interna es menor. Esto se debe a que se a mayor cantidad de sobrantes, mayor es el costo para la composta, ya que ésta absorbe el mismo, y se vende sin tener en consideración el valor nutricional agregado por las setas; de manera que el valor de las mismas se menosprecia

en la venta y no se refleja el incremento en los ingresos al no darle peso a las setas en el producto.

Para saber hasta qué punto es rentable menospreciar el valor de las setas en la composta, se realizó el segundo escenario donde se deshidratan los sobrantes y se vende la composta sin los mismos.

5.2.2 Escenario 2: se produce harina de setas con los sobrantes de setas frescas y se hace la composta sin los mismos

Para la producción de harina con los sobrantes se tuvieron en cuenta los costos de los materiales o equipos que se usan para el proceso de elaboración. Igual que para el escenario anterior, se calcularon los costos por ciclos (12 anuales), esto para lograr una distribución correcta de los mismos ya que los materiales tienen vidas útiles diferentes y en algunos casos menores a un año. Después de calcular el costo por ciclo, se sumaron los mismos para cada periodo (los periodos corresponden a un año) y se tuvo en cuenta la inflación de 8.76 porciento anual, la cual se aplicó a los costos por año. Las Tablas 16 y 17 muestran un resumen de los costos en dólares de los materiales de acuerdo a las cantidades de sobrantes.

Tabla 16. Resumen de costos para producir harina de acuerdo a las cantidades de sobrantes.

		Porcentaje de sobrantes de setas				
Material	Vida útil en ciclos	0.5	1	1.5	2	2.5
Inversión inicial por el cuarto	240	7000	7000	7000	7000	7000
Caja de cartón	12	8	12	20	28	32
Rejilla metálica	36	25.64	38.46	64.1	89.74	102.56
Bombilla de 60 voltios	Varía de acuerdo a los sobrantes	2.54	3.81	6.35	8.89	10.16
Extensión (8 pies)	36	12.80	19.20	32.00	44.80	51.20
Plafón o rosqueta	36	3.62	5.43	9.05	12.67	14.48
Rollo de cinta	Varía de acuerdo a los sobrantes	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40

Tabla 16. Resumen de costos para producir harina de acuerdo a las cantidades de sobrantes (Continuación).

		Porcentaje de sobrantes de setas				
Material	Vida útil en ciclos	0.5	1	1.5	2	2.5
Molino	108	162.94	162.94	162.94	162.94	162.94
Tabla para picar	36	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25
Malla	6	0.49	0.74	1.23	1.72	1.97
Cuchillo	36	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61
Valor de los sobrantes de setas frescas por mes		13.44	26.88	40.32	53.76	67.20
Etiquetas por mes		0.14	0.32	0.50	0.68	0.86
Envases por mes		0.57	1.28	1.99	2.71	3.42
Renta por mes		61.67	61.67	61.67	61.67	61.67
Agua por mes		3.50	4.00	4.00	4.00	4.00
Electricidad por mes		1.69	2.89	4.82	6.75	7.72
Inventario de sobrantes de setas por mes		17.92	35.84	53.76	71.68	89.60
Salario por mes		44.41	88.81	133.22	177.63	222.04

Tabla 17. Continuación del resumen de costos para producir harina de acuerdo a las cantidades de sobrantes.

		Porcentaje de sobrantes de setas				
Material	Vida útil en ciclos	3	3.5	4	4.5	5
Inversión inicial por el cuarto	240	7000	7000	7000	7000	7000
Caja de cartón	12	40	48	56	60	68
Rejilla metálica	36	128.2	153.84	179.48	192.3	217.94
Bombilla de 60 voltios	Varía de acuerdo a los sobrantes	12.70	15.24	17.78	19.05	21.59
Extensión (8 pies)	36	64.00	76.80	89.60	96.00	108.80
Plafón o rosqueta	36	18.10	21.72	25.34	27.15	30.77
Rollo de cinta	Varía de acuerdo a los sobrantes	6.40	6.40	6.40	6.40	6.40
Tubo de PVC	216	14.40	17.28	20.16	21.60	24.48
Molino	108	162.94	162.94	162.94	162.94	162.94
Tabla para picar	36	5.25	5.25	5.25	5.25	5.25
Malla	6	2.46	2.95	3.45	3.69	4.18
Cuchillo	36	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61
Valor de los sobrantes de setas frescas por mes		80.64	94.08	107.52	120.96	134.40

Tabla 17. Continuación del resumen de costos para producir harina de acuerdo a las cantidades de sobrantes (Continuación).

		Porcentaje de sobrantes de setas				
Material	Vida útil en ciclos	3	3.5	4	4.5	5
Etiquetas por mes		1.01	1.19	1.37	1.55	1.73
Envases por mes		3.99	4.70	5.41	6.12	6.84
Renta por mes		61.67	61.67	61.67	61.67	61.67
Agua por mes		4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
Electricidad por mes		9.65	11.58	13.51	14.47	16.40
Inventario de sobrantes de setas por mes		107.52	125.44	143.36	161.28	179.20
Salario por mes		266.44	310.85	355.26	399.67	444.07

Con estos costos se realizó entonces el cálculo de los costos anuales para un periodo de cinco años. La Tabla 18 muestra el resumen de costos anuales en dólares.

Tabla 18. Costos anuales por concepto de producción de harina de setas.

	Porcentaje de sobrantes de setas frescas									
Año	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1	8953.7	9922.3	10921.8	11927.7	12887.5	13884.8	14884.4	15883.9	16856.4	17855.9
2	1894.0	2907.9	3943.4	4985.7	6003.7	7036.2	8079.1	9114.5	10132.4	11167.8
3	2048.0	3167.1	4303.8	5432.8	6548.9	7675.4	8804.5	9933.6	11049.7	12178.8
4	2227.3	3444.4	4672.3	5908.5	7114.1	8339.2	9567.2	10803.3	12008.9	13236.8
5	2418.8	3746	5090.3	6425.8	7737	9078.3	10413.8	11749.2	13060.4	14395.8

Debido a que en éste escenario se usaron los sobrantes de setas frescas para la producción de harina, los costos de producción de composta varían en comparación al escenario 1 porque se elimina de ellos el costo de sobrantes, sin embargo, los costos correspondientes a materiales o equipos, mano de obra, renta y servicios públicos se mantienen constantes. La Tabla 19 muestra los costos de realizar composta para un horizonte de cinco años.

Tabla 19. Costos anuales por concepto de producción de composta sin sobrantes de setas frescas.

Año	Costo anual en dólares
1	3082.58
2	2298.00
3	2499.21
4	2731.20
5	2956.00

Con el fin de estimar la tasa interna de retorno, se realizó una investigación sobre empresas que comercializan productos similares a la harina de setas en el mercado. Se encontraron innumerables productos y diferentes presentaciones de los mismos. La Tabla 20 muestra un resumen de lo encontrado y descrito en la sección 2.5 de este documento.

Tabla 20. Empresas productoras de productos a base de setas.

Empresa	Producto	Presentación	Cantidad	Precio en dólares
Gourmet Mushrooms	*Pleurotus ostreatus*	Deshidratado	8 onzas	13
Gourmet Mushrooms	Setas porcini	Polvo	8 onzas	26
Pistol River	Setas Meadow	Polvo	2.5 onzas	3.5
Herbal Remedies	Maitake	Polvo	4 onzas	15.45
Jarrow Formulas	Mushroom Optimizer	Polvo	1.59 onzas	15.95
Dehydrates Inc.	Champiñón	Polvo	1 Libra	8.95
Mighty Mushrooms	*Pleutorus pulmonarius*	Polvo	0.88 onzas	17

Para efectos de éste proyecto se tomó el producto de la empresa Mighty Mushrooms el cual es similar y comparable con la harina de setas que se analizó. Se solicitó una cotización a la empresa, quienes respondieron que el precio de venta que manejan es de 17 dólares por frasco de 25 gramos (0.88 onzas) de polvo de setas ostra. Con este precio se hicieron estimados de ganancias. Se sacó el precio por gramo de polvo de setas el cual se calculó en 0.68, de manera que el precio de un frasco de 56.7 gramos (2 onzas) se calculó en 38.56 dólares. Se tomó éste precio como base para estimar los ingresos posibles para la harina de setas. Debido a que se sabe que el precio de venta de Hepperly no puede exceder los 38.56 dólares para ser competitivo, se estimó entonces los ingresos con un precio base de 30 dólares con el fin de dejar un margen entre el precio de Mighty Mushrooms y Hepperly Enterprises. La Tabla 21 muestra los ingresos en dólares para un horizonte de tiempo de 5 años (nótese que los ingresos del año cinco corresponden a los que se reciben al final de la operación y que el año cero corresponde al inicio de la operación donde solo hay costos).

Tabla 21. Ingresos anuales por concepto de producción de harina de setas.

	Porcentaje de sobrantes de setas frescas									
Año	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1	1440.0	3240.0	5040.0	6840.0	8640.0	10080.0	11880.0	13680.0	15480.0	17280.0
2	1566.1	3523.7	5481.3	7438.9	9396.5	10962.6	12920.2	14877.7	16835.4	18792.9
3	1703.2	3832.2	5961.2	8090.2	10219.2	11922.4	14051.4	16180.9	18309.4	20438.4
4	1852.3	4167.7	6483.1	8798.5	11113.9	12966.3	15281.7	17597.7	19912.5	22227.9
5	2014.5	4532.6	7050.8	9568.9	12087.0	14101.5	16619.7	19137.8	21655.9	24174.7

Adicional a los ingresos relacionados con la venta de harina, se tuvo en cuenta los ingresos que se reciben por la venta de composta. La Tabla 22 muestra un resumen de los mismos para un horizonte de tiempo de cinco años y un precio de venta unitario de 3 dólares.

Tabla 22. Ingresos anuales por concepto de producción de composta sin sobrantes de setas frescas.

Año	Ingreso anual en dólares
1	5148.00
2	5598.74
3	6088.94
4	6622.06
5	7201.85

Teniendo en cuenta los costos e ingresos para el escenario completo (realizando harina con los sobrantes de setas frescas y composta sin los mismos), se procedió a calcular la tasa interna de retorno para el mismo. La Tabla 23 muestra un resumen de las mismas.

Tabla 23. Tasa interna de retorno para la producción de harina y composta.

	Porcentaje de sobrantes de setas frescas									
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
TIR	18%	25%	31%	36%	41%	42%	45%	48%	50%	53%

Se observa que a medida que aumenta la cantidad de sobrantes, aumenta la tasa interna de retorno. Esto se debe a que los costos fijos (como la renta y los servicios públicos) y la inversión inicial, tienen más unidades donde distribuirse a medida que los sobrantes de setas frescas aumentan (porque se producen más cantidad de frascos de harina). En el caso de la composta, las unidades de la misma se mantienen constantes sin importar la cantidad de sobrantes.

5.2.3 Comparación de los escenarios uno y dos mediante la tasa interna de retorno

Teniendo las tasas internas de retorno para cada escenario, se procedió a comparar las mimas con el fin de observar que opción de inversión resulta mejor. Las TIR son comparables debido a que para ambos escenarios las mismas corresponden al momento donde el valor presente neto para los dos escenarios es el mismo (el cual equivale a cero dólares). La Figura 18 muestra las tasas internas de retorno para cada escenario de

acuerdo a los sobrantes de setas considerados. Se observa que realizar la harina de setas con los sobrantes de setas frescas, es mejor que hacer la composta con los mismos, en el momento donde los sobrantes de setas frescas sean de cuatro porciento o más (siendo el máximo cinco porciento). Esto implica que para la situación que se estimó en la actualidad para la empresa Hepperly Enterprises (dos porciento de sobrantes), es más rentable seguir incorporando los sobrantes de setas a la composta que realizar harina con los mismos. La tasa interna de retorno para la composta con dos porciento de sobrantes se observa en 71 porciento, mientras que para el escenario donde se hace harina con ellos se observa una tasa de 36 porciento. En el caso donde los sobrantes corresponden a un cuatro porciento, se observa una TIR de 45 porciento para el escenario uno y una TIR de 48 porciento para el escenario dos, a partir de este punto se ve el incremento hasta que en el caso donde los sobrantes son del cinco porciento, la TIR para el escenario uno es de 34 porciento, mientras que para el escenario dos es de 53 porciento, de manera que conviene más realizar la harina.

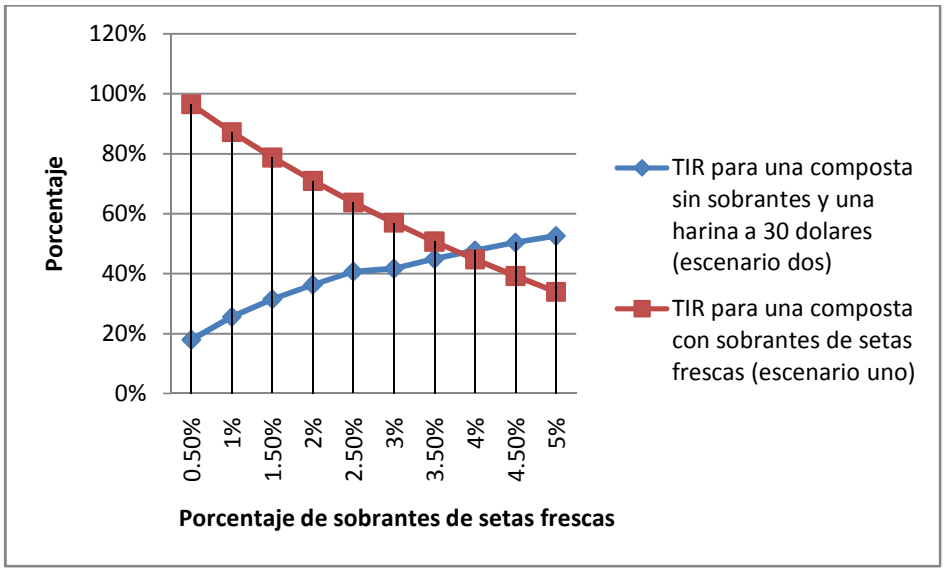


Figura 18. Tasa interna de retorno para los escenarios uno y dos

Con el fin de encontrar el costo unitario de los frascos de harina para las cantidades de sobrantes donde es factible producir (cuatro, 4.5 y cinco porciento), se realizó un cálculo del valor presente neto de los costos para un periodo de cinco años, teniendo en cuenta la

inflación como la tasa de retorno. Luego se encontró la cantidad de frascos a producir de acuerdo a los sobrantes y se dividió los costos en la cantidad de frascos. La Tabla 24 muestra un resumen de lo mencionado.

Tabla 24. Costo unitario de los frascos de harina acuerdo al porcentaje de sobrantes.

Porcentaje de sobrantes	4	4.5	5
Valor presente neto	$54,186.85	$59,002.18	$101,681.66
Unidades producidas en cinco años	2580	2880	5160
Costo unitario	$21.00	$20.49	$19.71
Ganancia si se vende a 30 dólares el frasco	$8.31	$9.00	$9.51

De esta manera, al día de hoy, se tiene entonces un costo de 21 dólares para un frasco de harina, realizando el proceso con un cuatro porciento de sobrantes. De manera que hay un margen de 17 dólares con los cuales se puede contar para labores adicionales correspondientes a la venta del producto, antes de alcanzar el precio de la empresa Mighty Mushrooms. Para los demás porcentajes de sobrantes se observa en la Tabla 24 que el margen de ganancias aumenta y por ende se contaría con más dinero para labores adicionales a la producción.

Debido que a partir de cuatro porciento de sobrantes es más factible realizar harina, se consideró la posibilidad de realizar harina de setas de manera continua (5 días a la semana y 20 días al mes), utilizando la misma cantidad de hornos que se usan para el proceso de deshidratación del cuatro porciento de sobrantes (siendo estos 14 hornos).

Teniendo en cuenta que se deshidrataría con 14 hornos durante 20 días al mes, se calculó que la cantidad de setas necesarias para el proceso es de 42000 gramos (de los cuales el cuatro porciento de sobrantes corresponde a 16271.36 gramos y la cantidad restante correspondiente a 25728.64 gramos, se deben sacar de setas frescas para la venta). Manteniendo los materiales y equipos iguales a los usados para deshidratar cuatro porciento de sobrantes, se encontró que el costo se alteraría por el aumento en la cantidad

de setas frescas a deshidratar y demás costos directos relacionados con el proceso de producción, ya que al aumentar la cantidad de frascos a producir, se aumenta los insumos necesarios para los mismos. La Tabla 25 muestra un resumen de los costos anuales (en dólares) en que se incurre para el proceso en un horizonte de tiempo de cinco años.

Tabla 25. Costos anuales por concepto de producción de harina de setas para una producción continua bajo las condiciones del cuatro porciento de sobrantes.

Año	Costos anuales en dólares
1	27758.85
2	22029.19
3	23979.00
4	26078.49
5	28361.81

El valor presente neto para estos costos corresponde a 114,160.12 dólares y las unidades que se podrían producir (teniendo en cuenta que se hacen 99 frascos por mes o ciclo) corresponden a 5961. De esta forma se obtiene un costo de 19.15 dólares por unidad, siendo este 1.85 dólares menor que el obtenido al deshidratar solo los sobrantes.

5.3 Evaluación económica de la producción de harina de setas considerando el espacio del cuarto de producción.

Para la producción de harina, se consideró el establecimiento de un cuarto, el cual tiene el mismo costo sin importar la cantidad de sobrantes a deshidratar. Por tanto se encontró que si se hace el proceso de deshidratación de la cantidad más alta de sobrantes (cinco porciento), el cuarto albergaría 17 hornos y tendría capacidad para más hornos con los cuales se podría deshidratar una cantidad mayor de setas. Se evaluó entonces la posibilidad de pasar algunas setas frescas (que actualmente se producen para la venta en fresco), a deshidratación con el fin de buscar si se obtiene una mayor ganancia.

El cuarto utilizado en la evaluación de la deshidratación de los diferentes sobrantes tiene un área de 382.5 pies^2 y una altura de 8.5 pies. Considerando que los hornos ocupan un área de 3.89 pies^2 cada uno se estimó que caben 54 hornos en total, puestos en una

repisa a un nivel del piso con el fin de dejar espacio para los procesos de establecimiento de la deshidratación, empaque y almacenamiento de los frascos de harina. Para este caso, se incrementan los costos variables, correspondientes a los relacionados directamente con el producto, como los costos de los materiales para la elaboración de los hornos, la mano de obra, la cantidad de setas que se deshidratan (siendo éstas 162000 gramos, los cuales se obtuvieron considerando 54 hornos deshidratando simultáneamente en un turno diario por 20 días al mes) y demás costos descritos anteriormente en la sección 5.1 de este capítulo. Teniendo en cuenta el incremento en los costos, se realizó una distribución de los mismos de la misma manera como se hizo en la evaluación de los escenarios uno y dos (distribuyéndolos de acuerdo a los ciclos productivos donde deben reemplazarse y teniendo en cuenta una inflación anual que incremente los costos de acuerdo a la realidad del mercado), luego se los sumó de acuerdo al año donde se producen y se resumieron en un periodo de tiempo de 5 años (siendo éste el horizonte de tiempo de inversión que se ha considerado en todos los análisis realizados en este capítulo) como muestra la Tabla 26

Tabla 26. Costos anuales por concepto de producción de harina de setas para una producción continua con 54 hornos.

Año	Costos anuales en dólares
1	85168.07
2	82781.17
3	90110.24
4	97911.67
5	106484.38

Teniendo los costos, se realizó el cálculo del valor presente neto con el fin de determinar el costo por unidad de frasco de harina. Se determinó que los 54 hornos producen 1086.48 gramos de harina de setas por día y que al funcionar 20 días al mes se producen en total 383 frascos, de manera que en cinco años se producen 22980 frascos. La Tabla 27 muestra un resumen de lo obtenido.

Tabla 27. Costo unitario por frasco de harina para una producción continua con 54 hornos.

Valor presente neto	$358,329.80
Unidades producidas en cinco años	22980
Costo unitario	$15.59
Ganancia si se vende a 30 dólares el frasco	14.41

Para la realización de la producción se tuvo en cuenta 162000 gramos de setas de los cuales se presumió que 16271.36 gramos son sobrantes de la producción de setas frescas y por ende 145728.64 gramos corresponden a setas frescas para la venta que tendrían que destinarse a deshidratación. Para evaluar la viabilidad de la destinación de esta cantidad de setas frescas, se calculó la ganancia que se obtiene de las mismas considerando que actualmente Hepperly Enterprises tiene un mercado dividido en restaurantes y supermercados o tiendas especializadas. La Tabla 28 muestra un resumen de lo mencionado (todos los valores son dados en dólares).

Tabla 28. Resumen de costos y ganancias de las setas frescas de acuerdo a su modalidad de venta.

	Costo de las setas frescas	Precio de venta a supermercados	Ganancia en la venta a supermercados	Precio de venta a restaurantes	Ganancia en la venta a restaurantes	Ganancia de las setas frescas si se vende harina a 30 dólares el frasco
Gramo	0.0066	0.04	0.033	0.015	0.0088	0.034
Libra	3	18.16	15.16	7	4	15.47

Se puede observar que el margen de ganancia para las setas frescas es mayor cuando se venden a supermercados y cuando se hace harina que cuando se vende una porción a restaurantes. De esta manera se sugiere la posibilidad de hacer harina de setas con los 162000 gramos mencionados con anterioridad (correspondientes a 320.99 libras de setas frescas y 35.84 libras de sobrantes) y dejar la porción que resta de la producción total del

ciclo (siendo ésta 896 libras de setas frescas), para la comercialización a supermercados y si es necesario a restaurantes. Es decir que se puede considerar sacar 356.88 libras de setas frescas y destinarlas a deshidratación para harina, de manera que éstas sean las setas que estéticamente sean menos atractivas al consumidor y entonces dejar las restantes (siendo éstas visualmente más atractivas) para la comercialización inicialmente a supermercados y tiendas especializadas y luego a restaurantes.

6 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En este capítulo se muestra un resumen de los hallazgos realizados en este proyecto.

6.1 Conclusiones.

Se realizó un estudio a cerca de la viabilidad económica de producir harina o polvo de la seta *Pleurotus pulmonarius*. Para realizar la deshidratación se optó por un método a bajo costo, con el cual se hicieron experimentos. Se encontró que en una caja de cartón (de 40 cm. de largo por 53.5 cm. de ancho y 32 cm. de alto) equipada con un foco de 60 vatios, una entrada de aire en la parte baja de la caja hecha con un tubo de cartón (que para efectos de costo se reemplazo el material del tubo por PVC), una parrilla metálica ubicada dentro de la caja para poner las setas y una chimenea ubicada en la parte superior de la caja (hecha también de un tubo de cartón), se logran deshidratar 150 gramos de setas en nueve horas. Se calculó que al deshidratar 150 gramos de setas fresas se llega (en promedio) a una masa de setas deshidratadas de 20.12 gramos.

Teniendo el método de deshidratación, se procedió a realizar un análisis de viabilidad económica teniendo en cuenta la tasa interna de retorno como el medio para comparar la alternativa de realizar composta con los sobrantes de setas frescas versus la alternativa de deshidratar los sobrantes de setas frescas y realizar la composta sin los mismos. Se encontró que para sobrantes de setas de cuatro, 4.5 y cinco porciento de la producción total del ciclo, la TIR es más alta cuando se hace harina de setas con ellos y la composta sin los mismos que cuando solo se compostan. Habiendo encontrado que para sobrantes menores al cuatro porciento es más factible compostar. Se realizó un estudio de la posibilidad de utilizar los equipos para la deshidratación continua (presumiendo 20 días al mes), encontrándose que el costo se reduce en 1.85 dólares por frasco en comparación a la opción donde los equipos solo se utilizan para deshidratar cuatro porciento de los sobrantes por ciclo.

Se supuso entonces una situación donde se utiliza la mayor capacidad del cuarto de deshidratación. Se encontró que se podían incorporar 54 hornos (para la situación donde se tiene un cinco porciento de sobrantes, la cantidad de hornos necesarios era de 17), con

los cuales se podía deshidratar 356.88 libras de setas frescas; esto implicaba tomar setas frescas para la venta y pasarlas al proceso de deshidratación para hacer harina. Teniendo en cuenta el valor presente neto de los costos de hacer harina con 54 hornos y la cantidad de frascos que se podían producir (en un horizonte de tiempo de cinco años), se determinó el costo unitario de los frascos para encontrar el margen de ganancia al vender al precio de 30 dólares. Con los márgenes de ganancia de los frascos de harina y de la venta de setas frescas (considerando que las mismas se venden mejor a supermercados que a restaurantes), se encontró que es viable tomar una porción mayor a la de los sobrantes para hacer harina. Con lo anterior se encontró que se pueden obtener mayores ganancias al producir harina con setas frescas destinadas para la venta a restaurantes y con las setas frescas que se venden a supermercados o tiendas especializadas.

6.2 Trabajos futuros.

- Se recomienda realizar una optimización para la configuración del horno, evaluando diferentes posiciones de los factores (ventilación, diedrita y foco) y diferentes volúmenes de la caja. Esto con el fin de evaluar la posibilidad de que la ventilación inducida y la diedrita, sean factores que actualmente ayuden a mejorar el proceso de deshidratación.
- Es recomendable también hacer un experimento para deshidratar las setas bajo las condiciones encontradas en este proyecto pero aumentando la cantidad de masa (ya que la misma se mantuvo constante en 150 gramos durante la experimentación), esto con miras a encontrar la posibilidad de que se puedan deshidratar más setas por horno y por ende reducir costos.
- Se recomienda una investigación a cerca de la cantidad de glutamato que contienen las setas deshidratadas para evaluar la posibilidad de comercializar la harina de setas como un producto que ayude a personas con problemas de apetito.
- Con el propósito de reducir costos y lograr una mayor competitividad con las empresas mencionadas en este proyecto, se recomienda cambiar el material de la caja por un material más duradero (con propiedades aislantes) para extender su vida útil, así mismo, evaluar la posibilidad de automatizar el proceso de picado de las setas (mediante un picador eléctrico) para reducir el costo de mano de obra.

- Se recomienda a la empresa Hepperly Enterprises que realice una investigación del mercado usando sus clientes actuales (haciendo demostraciones de la harina de setas como sazón en algunos comestibles), para evaluar la posibilidad de producir y comercializar la harina como alternativa de producto.

7 REFERENCIAS

Baysal, Ergun; Peker, Huseyin; Yalinkilic, Mustafa; Temiz, Ali. “Cultivation of oyster mushroom on waste paper with some added supplementary materials”. Bioresourse Technology, 2003. Turkia.

Bernabé, Teodoro; Cayetano, Maricela; Adan, Arely; Torres, Miguel. “Cultivo de Pleurotus pulmonarius sobre diversos subproductos agrícolas de Guerrero, Mexico”. Revista Mexicana de Micología, 2004. Mexico.

Bernás, Emilia; Jaworska, Grazyna; Lisiewska, Zofia. “Edible Mushrooms as a Source of Valuable Nutritive Constituents”. Agricultural Unversity of Cracow, 2006. Polonia.

Chang, Shu-Ting; Miles, Philip G. Edible Mushrooms and Their Cultivation. CRC Press, 1989. Estados Unidos.

Chang, Shu-Ting; Miles, Philip G. Mushrooms, Cultivation, Nutritional Value, Medicinal Effect, and Environmental Impact. Segunda edición. CRC Press, 2004. Estados Unidos.

Coultate, Tp. “Food: the chemistry of its components”. Royal society of Chemistry, 1996. Inglaterra.

Dehydrates Inc. Disponible en http://www.dehydratesinc.com/pages/2/index.htm 2008

Flegg, Meter; Spencer, Douglas; Wood, David. The Biology and Technology of the Cultivated Mushroom. John Wiley and Sons, 1985. Gran Bretaña.

Funebo, Tomas; Ohlsson, Thomas. “Microwave-assisted air dehydration of apple and mushroom”. Journal of Food Engineering, 1999. Gran Bretaña.

Fungi Perfecti. Disponible en http://www.fungi.com/mycomeds/pets.html. 2008

Gaitán, Rigoberto; Salmones, Dulce; Pérez, Rosalía; Mata, Gerardo. Manual práctico de cultivo de setas: aislamiento, siembra y producción. Instituto de Ecología, 2002. México.

Gourmet Mushrooms. Disponible en http://www.gmushrooms.org/DriedOys.htm 2008

Guzmán, Gastón; Mata, Gerardo. y otros. El cultivo de los hongos comestibles, con especial atención a especies tropicales y subtropicales en esquilmos y residuos agro-industriales. Instituto Politécnico Nacional, 1993. Mexico.

Hawksworth, DL. "Mushrooms: the extent of the unexplored potential." International journal of medicinal mushrooms, 2001. Estados Unidos

Herbal Remedies. Disponible en http://www.herbalremedies.com/maitake-1.html 2008

Hinojosa, Jorge; Alfaro, Héctor. Evaluación económico-financiera de proyectos de inversión. Editorial trillas, 2000. México

Holtz, Barry. "Natural savory and umami flavoring materials from dehydrated mushroom". United States Patent, 1994. Estados Unidos.

Indexfungorum. Disponible en http://www.indexfungorum.org/Names/SynSpecies.asp?RecordID=143543, 2004

Job, Daniel. "La utilización de la borra de café como substrato de base para el cultivo de Pleurotus Ostreatus". Revista Iberoamericana de Micologia, 2004. España.

Kayali, Mustafa. "Real options as a tool for making strategic investment decisions". Journal of American academy of business, 2006. Estados Unidos.

Kett, Vicky; McMahon, Debra; Ward, Kevin. " Thermoanalytical techniques for the investigation of the freeze drying process and freeze-dried products". Current Pharmaceutical Biotechnology, 2005. Reino Unido.

Lim, Seong-Rin; Park, Donghee; Lee, Dae Sung; Park Jong. "Economic evaluation of a water network system through the net present value method based on cost and benefit estimations". Ind. Eng. Chem. Res., 2006. Estados Unidos.

Lindequist, Ulrike; Niedermeyer, Timo; Julich, Wolf-Dieter. "The pharmacological potential of mushrooms". Journal and Oxford University Press, 2005. Alemania.

Maldhopa, A; Jones, S.A.; Kalenga J.D. "A solar air heater with composite-absorber systems for food dehydration". Renewal Energy, 2002. Malawi.

Meadows, Michelle. "MSG: a common flavor enhacer". FDA consumer magazine, 2003. Estados Unidos.

Mycologue. Disponible en http://www.mycologue.co.uk/xcart/home.php?cat=4 2008

Mighty Mushrooms. Disponible en http://www.mightymushrooms.co.nz/products.html, 2004

Naturefoto-cz, Pleurotus pulmonarius. Disponible en http://www.naturephoto-cz.com/pleurotus-pulmonarius:pleurotus-pulmonarius-photo-6322.html, 2008

Ninomiya, Kumiko. "Umami: a universal taste". Food Reviews International, 2002. Japon

Oliveira, Sueli; Gómez Sandra; Clemente, Edgar. "Chemical composition of Pleurotus pulmonarius (Fr.) Quél., Substrates and residue after cultivation". Brazilian archives of biology and technology Journal, 2002. Brazil.

Penagro. Disponible en http://www.penagro.com/muop45grpoja.html 2008

Pistol River Mushrooms. Disponible en http://prg.stores.yahoo.net/memupo.html 2008

Ponce, Donny; Hernández, Juan; Gasca, Eucario. “Simulating the economic viability of nile tilapia and Australian redclaw crayfish polyculture in Yucantan, Mexico”. Aquaculture, 2006. Estados Unidos.

Valenzuela, Claudia. “Productos Gourmet a base de hongos arriban al mercado gastronómico”. Disponible en http://www.chilepotenciaalimentaria.cl/?p=2168. 2006

Wang, Dianxia; Sakoda, Akiyoshi; Suzuki, Motoyuki. “Biological efficiency and nutricional value of Pleurotus ostreatus cultivated on spent beer grain”. Bioresourse Technology, 2001. Japón.

Wonder Laboratories. Disponible en http://www.wonderlabs.com/newshowitems.php?Category=Mushroom+Products 2008

4Life. Disponible en https://www.4life.com/products/Products.aspx 2008

APENDICES

Apéndice A. Arreglos y resultados para el experimento Gauge R&R.

Orden de las corridas y resultados del experimento Gauge R&R						
StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	Pesos	Operarios	Medidas de la Balanza
74	1	1	1	50	2	50.05
22	2	1	1	100	2	100.03
31	3	1	1	100	1	101.00
40	4	1	1	5	2	6.00
71	5	1	1	100	1	100.08
55	6	1	1	20	1	20.02
69	7	1	1	5	1	5.10
50	8	1	1	5	2	5.01
11	9	1	1	100	1	100.01
28	10	1	1	10	2	10.03
98	11	1	1	10	2	10.00
95	12	1	1	20	1	20.02
21	13	1	1	100	1	100.00
20	14	1	1	5	2	5.03
57	15	1	1	10	1	10.01
66	16	1	1	20	2	20.01
7	17	1	1	10	1	10.00
2	18	1	1	100	2	99.95
32	19	1	1	100	2	100.00
61	20	1	1	100	1	100.05
44	21	1	1	50	2	50.01
63	22	1	1	50	1	50.01
16	23	1	1	20	2	20.01
18	24	1	1	10	2	10.05
12	25	1	1	100	2	99.99
81	26	1	1	100	1	99.99
86	27	1	1	20	2	20.00
91	28	1	1	100	1	99.99
51	29	1	1	100	1	99.99
70	30	1	1	5	2	5.00
87	31	1	1	10	1	10.00
49	32	1	1	5	1	5.01
82	33	1	1	100	2	100.01

43	34	1	1	50	1	50.01
60	35	1	1	5	2	5.03
97	36	1	1	10	1	10.00
3	37	1	1	50	1	50.01
52	38	1	1	100	2	100.00
76	39	1	1	20	2	20.00
56	40	1	1	20	2	20.01
30	41	1	1	5	2	5.01
9	42	1	1	5	1	5.02
80	43	1	1	5	2	5.01
100	44	1	1	5	2	5.01
73	45	1	1	50	1	50.00
37	46	1	1	10	1	10.02
23	47	1	1	50	1	50.01
64	48	1	1	50	2	50.02
19	49	1	1	5	1	5.00
68	50	1	1	10	2	10.01
90	51	1	1	5	2	5.03
94	52	1	1	50	2	50.01
25	53	1	1	20	1	20.05
26	54	1	1	20	2	20.05
83	55	1	1	50	1	50.01
29	56	1	1	5	1	5.02
48	57	1	1	10	2	10.01
8	58	1	1	10	2	10.02
15	59	1	1	20	1	20.01
72	60	1	1	100	2	99.99
27	61	1	1	10	1	10.01
47	62	1	1	10	1	10.02
4	63	1	1	50	2	50.02
17	64	1	1	10	1	9.99
67	65	1	1	10	1	10.01
39	66	1	1	5	1	5.02
45	67	1	1	20	1	20.01
6	68	1	1	20	2	20.01
93	69	1	1	50	1	50.01
10	70	1	1	5	2	5.01
33	71	1	1	50	1	50.01
14	72	1	1	50	2	50.05

96	73	1	1	20	2	20.03
89	74	1	1	5	1	5.10
1	75	1	1	100	1	99.97
79	76	1	1	5	1	5.03
42	77	1	1	100	2	99.99
41	78	1	1	100	1	100.00
24	79	1	1	50	2	50.02
53	80	1	1	50	1	50.03
77	81	1	1	10	1	10.07
84	82	1	1	50	2	50.05
99	83	1	1	5	1	5.01
46	84	1	1	20	2	20.07
5	85	1	1	20	1	20.05
36	86	1	1	20	2	20.05
88	87	1	1	10	2	10.01
34	88	1	1	50	2	50.02
13	89	1	1	50	1	50.02
38	90	1	1	10	2	10.01
35	91	1	1	20	1	20.01
54	92	1	1	50	2	50.01
92	93	1	1	100	2	99.99
78	94	1	1	10	2	10.01
85	95	1	1	20	1	20.01
75	96	1	1	20	1	20.03
65	97	1	1	20	1	20.01
62	98	1	1	100	2	100.03
59	99	1	1	5	1	5.01
58	100	1	1	10	2	10.05

Apéndice B. Arreglos y resultados para el experimento Split-Plot.

Orden de las corridas y resultados del experimento Split-plot								
StdOrder	RunOrder	CenterPt	Rep	Tiempo	Ventilación	Diedrita	Focos	Peso
14	1	1	1	5	1	-1	1	6.07
14	1	1	1	10	1	-1	1	3.55
14	1	1	1	15	1	-1	1	3.97
14	1	1	1	20	1	-1	1	3.88
14	1	1	1	25	1	-1	1	3.65
14	1	1	1	30	1	-1	1	3.71
2	2	1	1	5	1	-1	-1	16.1
2	2	1	1	10	1	-1	-1	7.43
2	2	1	1	15	1	-1	-1	4.32
2	2	1	1	20	1	-1	-1	4.46
2	2	1	1	25	1	-1	-1	3.97
2	2	1	1	30	1	-1	-1	4.62
12	3	1	1	5	1	1	-1	15.5
12	3	1	1	10	1	1	-1	4.33
12	3	1	1	15	1	1	-1	4.75
12	3	1	1	20	1	1	-1	4.36
12	3	1	1	25	1	1	-1	4.26
12	3	1	1	30	1	1	-1	4.26
8	4	1	1	5	1	1	1	12.3
8	4	1	1	10	1	1	1	6.5
8	4	1	1	15	1	1	1	5.38
8	4	1	1	20	1	1	1	5.16
8	4	1	1	25	1	1	1	4.45
8	4	1	1	30	1	1	1	5.08
10	5	1	2	5	1	-1	-1	11.6
10	5	1	2	10	1	-1	-1	4.14
10	5	1	2	15	1	-1	-1	3.5
10	5	1	2	20	1	-1	-1	3.11
10	5	1	2	25	1	-1	-1	2.98
10	5	1	2	30	1	-1	-1	3.09
9	6	1	1	5	-1	-1	-1	11.7
9	6	1	1	10	-1	-1	-1	3.76
9	6	1	1	15	-1	-1	-1	4.4
9	6	1	1	20	-1	-1	-1	4.09

9	6	1	1	25	-1	-1	-1	4.23
9	6	1	1	30	-1	-1	-1	4.52
4	7	1	2	5	1	1	-1	12.5
4	7	1	2	10	1	1	-1	4.88
4	7	1	2	15	1	1	-1	4.93
4	7	1	2	20	1	1	-1	4.21
4	7	1	2	25	1	1	-1	5.2
4	7	1	2	30	1	1	-1	4.67
1	8	1	2	5	-1	-1	-1	13.2
1	8	1	2	10	-1	-1	-1	5.73
1	8	1	2	15	-1	-1	-1	5.73
1	8	1	2	20	-1	-1	-1	5.64
1	8	1	2	25	-1	-1	-1	5.29
1	8	1	2	30	-1	-1	-1	4.66
11	9	1	1	5	-1	1	-1	14.6
11	9	1	1	10	-1	1	-1	5.5
11	9	1	1	15	-1	1	-1	4.68
11	9	1	1	20	-1	1	-1	4.4
11	9	1	1	25	-1	1	-1	4.07
11	9	1	1	30	-1	1	-1	4.51
6	10	1	2	5	1	-1	1	6.09
6	10	1	2	10	1	-1	1	3.95
6	10	1	2	15	1	-1	1	3.73
6	10	1	2	20	1	-1	1	3.8
6	10	1	2	25	1	-1	1	3.69
6	10	1	2	30	1	-1	1	3.71
3	11	1	2	5	-1	1	-1	14.6
3	11	1	2	10	-1	1	-1	4.38
3	11	1	2	15	-1	1	-1	3.89
3	11	1	2	20	-1	1	-1	3.77
3	11	1	2	25	-1	1	-1	3.65
3	11	1	2	30	-1	1	-1	3.9
13	12	1	1	5	-1	-1	1	9.53
13	12	1	1	10	-1	-1	1	4.52
13	12	1	1	15	-1	-1	1	4.54
13	12	1	1	20	-1	-1	1	4.08
13	12	1	1	25	-1	-1	1	4.19
13	12	1	1	30	-1	-1	1	4.21
15	13	1	1	5	-1	1	1	11.1

15	13	1	1	10	-1	1	1	5.13
15	13	1	1	15	-1	1	1	5.49
15	13	1	1	20	-1	1	1	5.05
15	13	1	1	25	-1	1	1	5.05
15	13	1	1	30	-1	1	1	4.38
7	14	1	2	5	-1	1	1	10.5
7	14	1	2	10	-1	1	1	4.44
7	14	1	2	15	-1	1	1	4.59
7	14	1	2	20	-1	1	1	4.77
7	14	1	2	25	-1	1	1	4.64
7	14	1	2	30	-1	1	1	4.38
16	15	1	2	5	1	1	1	12.7
16	15	1	2	10	1	1	1	4.82
16	15	1	2	15	1	1	1	4.83
16	15	1	2	20	1	1	1	4.83
16	15	1	2	25	1	1	1	5.01
16	15	1	2	30	1	1	1	4.89
5	16	1	2	5	-1	-1	1	9.37
5	16	1	2	10	-1	-1	1	4.43
5	16	1	2	15	-1	-1	1	4.68
5	16	1	2	20	-1	-1	1	4.64
5	16	1	2	25	-1	-1	1	4.73
5	16	1	2	30	-1	-1	1	4.66