

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR
PORTÁTIL DESTINADO PARA LA PRODUCCIÓN DE CARNE
DESHIDRATADA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA
(*EISENIA FOETIDA*) PARA SU POSIBLE UTILIZACIÓN EN LA
FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO**

José Francisco Monzón Monroy

Asesorado por la Inga. Beathris de María Girón Revolorio

Guatemala, septiembre de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR
PORTÁTIL DESTINADO PARA LA PRODUCCIÓN DE CARNE
DESHIDRATADA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*EISENIA
FOETIDA*) PARA SU POSIBLE UTILIZACIÓN EN LA
FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

JOSÉ FRANCISCO MONZÓN MONROY

ASESORADO POR LA INGA. BEATHRIS GIRÓN REVOLORIO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|------------------------------------|
| Decano | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos |
| Vocal I | Inga. Glenda Patricia García Soria |
| Vocal II | Ing. Amahán Sánchez Álvarez |
| Vocal III | Ing. Julio David Galicia Celada |
| Vocal IV | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz |
| Vocal V | Br. Elisa Yazminda Vides Leiva |
| Secretaria | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--|
| Decano | Ing. José Francisco Gómez Rivera (a.i.) |
| Examinador | Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía |
| Examinador | Ing. Julio Enrique Chávez Montúfar |
| Examinador | Ing. Otto Raúl de León de Paz |
| Secretaria | Inga. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR PORTÁTIL DESTINADO PARA LA PRODUCCIÓN DE CARNE DESHIDRATADA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*EISENIA FOETIDA*) PARA SU POSIBLE UTILIZACIÓN EN LA FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, con fecha 20 de julio de 2005.



JOSE FRANCISCO MONZÓN MONROY

Guatemala, 8 de mayo de 2006

Ingeniero
Williams Guillermo Alvarez
Director de Escuela de Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Alvarez:

Por medio de la presente me dirijo a usted para hacer de su conocimiento que he revisado el informe final del trabajo de graduación del estudiante **José Francisco Monzón Monroy**, titulado: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR PORTÁTIL DESTINADO PARA LA PRODUCCIÓN DE CARNE DESHIDRATADA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*EISENIA FOETIDA*) PARA SU POSIBLE UTILIZACIÓN EN LA FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO**, para el cual doy mi aprobación y solicito su respectiva autorización.

Sin otro particular y agradeciendo de antemano su amable atención,

Atentamente,


Inga. Beathris de María Girón Revolorio
ASESORA
Colegiado No. 903

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

"Todo por ti Carolingia Mía"
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

Guatemala, 12 de septiembre de 2,006.
Ref. EIQ.182.2006

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez Mejía
Director Escuela Ingeniería Química
Facultad de Ingeniería
Presente.

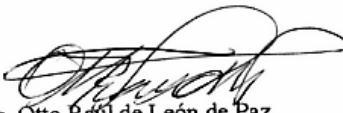
Estimado Ingeniero Álvarez

Informo a usted que he revisado el Informe final del trabajo de Graduación titulado:
**"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR PORTÁTIL
DESTINADO PARA LA PRODUCCIÓN DE CARNE DESHIDRATADA DE
LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENIA FOETIDA) PARA SU POSIBLE
UTILIZACIÓN EN LA FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS PARA CONSUMO
HUMANO"** del estudiante universitario **José Francisco Monzón Monroy**.

Luego de la revisión efectuada el suscrito considera que la propuesta llena los
requisitos para su aprobación.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Otto Raúl de León de Paz
REVISOR



ESCUELA DE
INGENIERIA QUIMICA

c.c archivo

Escuelas: Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Escuela de Ciencias, Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Posgrado Maestría en Sistemas Mecánica Construcción y Mención Ingeniería Vial. Carreras: Ingeniería Mecánica, Ingeniería Electrónica, Ingeniería en Ciencias y Sistemas, Licenciatura en Matemática, Licenciatura en Física. Centros de Estudios Superiores de Energía y Minas (CESEM). Guatemala, Ciudad Universitaria Zona 12, Guatemala, Centroamérica.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

"Todo por ti mi Carolingia Mia "
Dr. Carlos Martínez Duran
2006: Centenario de su nacimiento

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M. Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe del Departamento al trabajo de Graduación del estudiante **José Francisco Monzón Monroy** titulado: **"DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR PORTÁTIL DESTINADO PARA LA PRODUCCIÓN DE CARNE DESHIDRATADA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENIA FOETIDA) PARA SU POSIBLE UTILIZACIÓN EN LA FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO"** procede a la autorización del mismo.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUÍMICA



Guatemala, septiembre de 2,006

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.338.2006

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SECADOR SOLAR PORTÁTIL DESTINADO PARA LA PRODUCCIÓN DE CARNE DESHIDRATADA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (EISENIA FOETIDA) PARA SU POSIBLE UTILIZACIÓN EN LA FORTIFICACIÓN DE ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO**, presentado por el estudiante universitario **José Francisco Monzón Monroy**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, Septiembre 27 de 2006

/gdech

Todo por ti, Carolingia Mía
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

AGRADECIMIENTOS

Presento mi más sincero agradecimiento por el apoyo recibido a quienes colaboraron en la realización de este trabajo, brindándome la oportunidad de alcanzar una nueva meta en mi vida:

Mi querida Guatemala

Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Química

Gerencia general y personal de Lombrifert S.A.

Inga. Beathris de María Girón Revolorio, asesora del trabajo de graduación

Ing. Otto Raúl De León De Paz, revisor del trabajo de graduación

DEDICATORIA

A:

Dios, por regalarme el don de la vida e iluminar siempre mi camino en cada etapa de mi existencia.

Mis amados padres, a quienes debo todo lo que soy. Infinitas gracias por su amor, dedicación, y permanente disposición de hacer de mí una persona de bien, este éxito es de Ustedes!

Lorena, mi gran amiga, mi gran amor. Mi vida no sería la misma sin la luz que tú irradias. Gracias por regalarme cada día tu fuerza, tu apoyo y tu amor.

Carlos Manuel, Maribel y Shený, mis queridos hermanos, gracias por allanar mi camino por la vida a través de su ejemplo.

Todos mis hermanos guatemaltecos, quienes a través de sus impuestos contribuyen a financiar nuestros estudios superiores en la Universidad de San Carlos de Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | XI |
| GLOSARIO | XIII |
| RESUMEN | XV |
| JUSTIFICACIÓN | XVII |
| OBJETIVOS | XXI |
| INTRODUCCIÓN | XXIII |
| | |
| 1. ANTECEDENTES | 1 |
| 1.1 La lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia Foetida</i>) | 1 |
| 1.2 Caracterización fisicoquímica de la carne de lombriz | 4 |
| 1.3 Las proteínas | 8 |
| 1.3.1 Características | 8 |
| 1.3.2 Aminoácidos | 10 |
| 1.3.3 Deficiencia de proteínas en Guatemala | 12 |
| 1.4 Secado | 15 |
| 1.4.1 Condiciones generales para la desecación | 16 |
| 1.4.2 Períodos de desecación | 17 |
| 1.4.3 Análisis de datos | 19 |
| 1.4.4 Operaciones de secado | 21 |
| 1.4.5 Secadores solares | 22 |
| | |
| 2. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA | 25 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3. | DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA | 29 |
| 4. | DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR SOLAR | 31 |
| 4.1 | Criterios de diseño | 31 |
| 4.2 | Diseño del secador | 32 |
| 4.3 | Materiales de construcción | 32 |
| 4.4 | Construcción del secador | 33 |
| 5. | CURVAS DE SECADO DE LA CARNE DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (<i>EISENIA FOETIDA</i>) | 35 |
| 5.1 | Descripción de las pruebas de secado | 35 |
| 5.2 | Curvas de secado de las pruebas | 37 |
| 6. | BALANCE DE MASA EN EL SECADOR | 43 |
| 6.1 | Balance de masa para la primera prueba | 43 |
| 6.2 | Balance de masa para la segunda prueba | 45 |
| 7. | ANÁLISIS ECONÓMICO | 47 |
| 7.1 | Caso de compra de materia prima en el mercado local | 47 |
| 7.1.1 | Inversión inicial | 47 |
| 7.1.2 | Costo de materias primas | 48 |
| 7.1.2.1 | Costo de la materia prima directa | 48 |
| 7.1.2.2 | Costo de la materia prima indirecta | 49 |
| 7.1.3 | Mano de obra | 50 |
| 7.1.4 | Depreciación | 50 |
| 7.1.5 | Determinación del precio de venta | 51 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 7.2 | Caso de autoabastecimiento | 52 |
| 7.2.1 | Inversión inicial | 53 |
| 7.2.2 | Costo de materias primas | 53 |
| 7.2.2.1 | Costo de la materia prima directa | 53 |
| 7.2.2.2 | Costo de la materia prima indirecta | 54 |
| 7.2.3 | Mano de obra | 55 |
| 7.2.4 | Depreciación | 56 |
| 7.2.5 | Determinación del costo de producción | 56 |
| 7.3 | Caso de industrialización del secador | 57 |
| 7.3.1 | Inversión inicial | 58 |
| 7.3.2 | Costo de materias primas | 58 |
| 7.3.2.1 | Costo de la materia prima directa | 58 |
| 7.3.2.2 | Costo de la materia prima indirecta | 59 |
| 7.3.3 | Mano de obra | 60 |
| 7.3.4 | Depreciación | 60 |
| 7.3.5 | Determinación del precio de venta | 61 |
| 8. | ACEPTABILIDAD DEL PRODUCTO | 63 |
| 9. | RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN | 65 |
| 9.1 | Estudio climatológico de la República de Guatemala | 65 |
| 9.2 | Disponibilidad de materia prima | 66 |
| 9.3 | Diseño y construcción del secador solar | 68 |
| 9.4 | Curvas de secado de la carne de lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia Foetida</i>) | 70 |
| 9.5 | Balance de masa en el secador | 74 |
| 9.6 | Análisis económico | 75 |
| 9.7 | Aceptabilidad de producto | 78 |

| | |
|---------------------------------|-----|
| CONCLUSIONES | 81 |
| RECOMENDACIONES | 83 |
| REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA | 85 |
| BIBLIOGRAFÍA | 87 |
| APÉNDICE | 89 |
| ANEXO | 115 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Composición química de la carne de lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia Foetida</i>) | 5 |
| 2 | Aminoácidos presentes en la carne de lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia Foetida</i>) | 6 |
| 3 | Análisis microbiológico de la carne de lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia Foetida</i>) | 7 |
| 4 | Peso molecular de algunas proteínas | 8 |
| 5 | Aminoácidos esenciales | 11 |
| 6 | Necesidades nutricionales del ser humano | 12 |
| 7 | Porcentaje de municipios con retardo severo en talla en la región centroamericana | 13 |
| 8 | Porcentaje de desnutrición crónica en siete departamentos de Guatemala | 14 |
| 9 | Períodos de desecación a, b y c | 18 |
| 10 | Curvas del tiempo de desecación | |
| 11 | Condiciones meteorológicas de diferentes departamentos de la República de Guatemala y su distancia con la ciudad capital | 27 |
| 12 | Materiales utilizados para la construcción del secador solar y sus costos | 89 |
| 13 | Proveedores de los materiales de construcción del secador solar | 90 |

| | | |
|----|---|-----|
| 14 | Esquema gráfico del diseño del secador solar por convección forzada cerrado | 91 |
| 15 | Esquema gráfico del diseño del secador solar por convección forzada abierto | 92 |
| 16 | Secador solar por convección forzada construido | 93 |
| 17 | Hoja de control de pruebas de secado de carne de lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia Foetida</i>) | 94 |
| 18 | Datos obtenidos en la primera prueba de secado | 95 |
| 19 | Datos obtenidos en la segunda prueba de secado | 96 |
| 20 | Secuencia fotográfica del proceso de secado | 97 |
| 21 | Tabulación de datos para curvas de secado de la primera prueba | 101 |
| 22 | Tabulación de datos para curvas de secado de la segunda prueba | 102 |
| 23 | Gráfica a: contenido de humedad en función del tiempo para primera prueba | 103 |
| 24 | Gráfica b: velocidad de desecación en función del contenido de humedad para primera prueba | 103 |
| 25 | Gráfica c: velocidad de desecación en función del tiempo para primera prueba | 104 |
| 26 | Gráfica a: contenido de humedad en función del tiempo para segunda prueba | 104 |
| 27 | Gráfica b: velocidad de desecación en función del contenido de humedad para segunda prueba | 105 |
| 28 | Gráfica c: velocidad de desecación en función del tiempo para segunda prueba | 105 |
| 29 | Encuesta de aceptación de la carne de lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia Foetida</i>) deshidratada para consumo humano | 106 |

| | | |
|----|---|-----|
| 30 | Tabulación de datos obtenidos en la encuesta de aceptación del producto | 108 |
| 31 | Representación gráfica de la respuesta a la pregunta No. 1 de la encuesta de aceptación | 109 |
| 32 | Representación gráfica de la respuesta a la pregunta No. 8 de la encuesta de aceptación | 110 |
| 33 | Tabla comparativa de precios de la lombriz Roja Californiana viva en algunos países del mundo | 111 |
| 34 | Tabla de precios de la harina de lombriz Roja Californiana en Brasil | 112 |
| 35 | Usos de la harina de lombriz Roja Californiana en otros países | 113 |
| 36 | Resultados de la encuesta nacional de salud materno infantil 2002, informe resumido. Indicadores de desnutrición por características seleccionadas: área de residencia, región, grupo étnico y nivel de educación | 115 |
| 37 | Resultados de la encuesta nacional de salud materno infantil 2002, informe resumido. Indicadores de desnutrición por características seleccionadas: intervalos de edad, sexo y orden de nacimiento | 116 |
| 38 | Análisis de porcentaje de humedad realizado a la carne de lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia Foetida</i>) deshidratada para la primera prueba | 117 |
| 39 | Análisis de porcentaje de humedad realizado a la carne de lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia Foetida</i>) deshidratada para la segunda prueba | 118 |

TABLAS

| | | |
|------|---|----|
| I | Cálculo del costo de la materia prima directa en abastecimiento en mercado nacional | 48 |
| II | Cálculo del costo de la materia prima indirecta en abastecimiento en mercado nacional | 49 |
| III | Cálculo del costo de la mano de obra directa en abastecimiento en mercado nacional | 50 |
| IV | Cálculo de la depreciación anual en abastecimiento en mercado nacional | 51 |
| V | Cálculo del precio de venta para el primer año de operaciones en abastecimiento en mercado nacional | 52 |
| VI | Cálculo del costo de la materia prima directa en autoabastecimiento | 54 |
| VII | Cálculo del costo de la materia prima indirecta en autoabastecimiento | 55 |
| VIII | Cálculo del costo de la mano de obra directa en autoabastecimiento | 55 |
| IX | Cálculo de la depreciación anual en autoabastecimiento | 56 |
| X | Cálculo del costo para el primer año de operaciones en autoabastecimiento | 57 |
| XI | Cálculo del costo de la materia prima directa en industrialización | 59 |
| XII | Cálculo del costo de la materia prima indirecta en industrialización | 59 |
| XIII | Cálculo del costo de la mano de obra directa en industrialización | 60 |

| | | |
|-----|--|----|
| XIV | Cálculo de la depreciación anual en industrialización | 60 |
| XV | Cálculo del precio de venta para el primer año de operaciones en industrialización | 61 |
| XVI | Resumen de datos obtenidos en los análisis económicos realizados | 62 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------------------|-------------------------------|
| Kg | Kilogramos |
| g | Gramos |
| mg | Miligramos |
| μg | Microgramos |
| % | Porcentaje |
| lb | Libras |
| m | Metros |
| Km | Kilómetros |
| mm | Milímetro |
| t | Tiempo |
| W | Contenido de humedad |
| Km/h | Kilómetros por hora |
| kcal | Kilocalorías |
| “ | Pulgada |
| ‘ | Pie |
| cm | Centímetro |
| m² | Metros cuadrados |
| m³ | Metros cúbicos |
| °C | Grados Celsius |
| Msnm | Metros sobre el nivel del mar |
| KWh | Kilowatt hora |
| Hz | Hertz |
| RPM | Revoluciones por minuto |
| Q | Quetzales |
| USD\$ | Dólares americanos |

| | |
|----------------|---|
| h | Horas |
| min | Minutos |
| BANGUAT | Banco de Guatemala |
| INE | Instituto Nacional de Estadística |
| MAGA | Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación |
| ANACAFÉ | Asociación Nacional del Café |
| PE | Punto de equilibrio |

GLOSARIO

| | |
|-----------------------------|---|
| Aminoácido | Nombre genérico que se le da a los ácidos amínicos. Son elementos constitutivos de las proteínas. |
| Convección forzada | Transferencia de calor en la que se provoca el flujo de un fluido sobre una superficie sólida por medio de una bomba, ventilador u otro dispositivo mecánico. |
| Desnutrición | Padecimiento de la salud debido a la deficiencia de proteínas, energía y micronutrientes tales como vitamina A, hierro, yodo y ácido fólico. |
| Desnutrición aguda | Indicador que revela que el peso de un infante no es el adecuado para la talla correspondiente a su edad. |
| Desnutrición crónica | Indicador que revela que la talla del infante no es la adecuada para la edad del mismo. |
| Desnutrición global | Indicador que revela que el peso del infante no es el adecuado para la edad del mismo. |
| Fortificación | Proceso mediante el cual se adiciona a un alimento determinado pequeñas cantidades de nutrientes de los que el alimento carece, con el objeto de solucionar problemas de desnutrición en una población. |

| | |
|---|---|
| Fortificante | Nutriente adicionado al alimento que debe ser miscible en el mismo, permanecer indetectable, ser estable químicamente y barato. |
| Guata | Algodón en rama que se coloca dentro del forro de los vestidos o de la ropa de cama. En el secador se colocó en la entrada de aire, como filtro de impurezas sólidas contenidas en el mismo. |
| Lombricultura | Es una biotecnología que utiliza a una especie domesticada de lombriz como una herramienta de trabajo, recicla todo tipo de materia orgánica, obteniendo como fruto de este trabajo humus, carne y harina de lombriz. |
| Polipéptido | Uniones peptídicas entre átomos que se producen por la reacción entre un carboxilo y un grupo amino, según su complejidad son llamados polipéptidos. |
| Proteína | Polímeros gigantes constituidos por polipéptidos, formados a su vez por aminoácidos. Son constituyentes esenciales de los alimentos. |
| Razón de eficiencia proteínica (PER) | Aumento de la calidad proteínica de un alimento por medio de la adición de un fortificante. |
| Sustrato | Alimento proporcionado a las lombrices en un cultivo. |

RESUMEN

En la presente investigación se estudiaron las condiciones meteorológicas de la República de Guatemala, para verificar qué región del país reunía las condiciones climáticas óptimas para llevar a cabo un proyecto de secado solar. Se eligió el departamento de Santa Rosa, por sus condiciones climáticas y su cercanía a la ciudad capital como posible lugar de venta del producto.

Seguidamente se realizó un estudio de la disponibilidad de materia prima para la utilización del secador. En él se determinó que actualmente en el país los lombricultivos son utilizados únicamente para la producción de fertilizante orgánico y no de carne y se contactó con un lombricultivo industrial ubicado en el departamento de Santa Rosa de donde se obtuvo la materia prima.

Luego, se diseñó un secador solar directo por convección forzada de dimensiones 1.00 m ancho X 1.30 m de largo X 0.16 m de alto con capacidad de carga de 5 Kilogramos. Seguidamente se procedió a construir el secador de estructura de angular de aluminio, base de lámina galvanizada y tubo cuadrado de hierro, paredes y techo de pexiglas, filtro de guata para la entrada de aire y un ventilador para provocar la convección forzada.

El secador solar construido fue utilizado para correr una prueba de desecación de carne de lombriz, cargando inicialmente 4.70 Kg de carne fresca y obteniendo al final del proceso 1.42 Kg de carne deshidratada con un 11.66% de humedad base seca, lo que generó una eficiencia del proceso de deshidratación de 95.67%. El secado se completó en 9.75 horas sol.

Con los datos obtenidos en la prueba se procedió a elaborar las curvas de secado de la carne de lombriz determinando los períodos de calentamiento, de velocidad constante y velocidad decreciente del proceso. También se realizó el balance de masa dentro del secador por medio del cual se determinó que por cada kilogramo de carne fresca que ingrese al mismo se obtendrá 0.3021 Kg (302.10 g) de carne deshidratada y se evaporarán 0.6979 Kg (697.90 g) de agua.

En el análisis económico se determinó que la inversión inicial para construir el secador es de Q 1,616.76. Se estableció un precio de venta de Q 431.60 / Kg de carne deshidratada para el primer año de operación. El punto de equilibrio se alcanza con la producción de 16.23 Kg de carne deshidratada y el tiempo de recuperación de la inversión es de 2.51 meses.

Por último se realizó una encuesta para conocer la opinión de los guatemaltecos con respecto al consumo de la carne de lombriz deshidratada en su dieta diaria, dando como resultado que el 45% de los entrevistados si están dispuestos a consumirla debido a sus propiedades nutricionales y el restante 55% rechazan el consumo argumentando falta de información sobre la lombriz y falta de costumbre de consumir este tipo de alimento.

Con esto queda establecido que el proyecto es técnicamente viable, pero desde el punto de vista económico su implementación no es posible, ya que a esta escala de producción, el precio de venta que se le debe asignar al producto está muy por encima del precio de mercado de este tipo de carne (16).

JUSTIFICACIÓN

Guatemala, un país pequeño situado en el centro de América, posee espectaculares paisajes, diversidad de flora y fauna, variados recursos naturales, riqueza en tradiciones y costumbres ancestrales que hasta el día de hoy permanecen intactas, diversidad de razas étnicas que la habitan y crean un entorno variado y diferente en cada región del país, entrelazadas todas estas cualidades proporcionan al país su singular encanto. En síntesis, es un país que posee todas las condiciones para sobresalir, para volverse una nación desarrollada que pueda garantizarle a cada uno de sus ciudadanos la seguridad y estabilidad que se merece.

Sin embargo, la situación actual de Guatemala es poco prometedora para ésta y las futuras generaciones, todos los días se escuchan impactantes noticias sobre la paulatina destrucción de nuestro medio ambiente y recursos naturales, por ejemplo, nuestra selva petenera que solía ser el pulmón de Centroamérica, o la imparable contaminación de nuestros ríos y lagos.

Como agravante Guatemala posee al día de hoy los índices más altos en Centroamérica de pobreza extrema y desnutrición infantil. En materia de economía se tiene un clima político y económico que no invita a la inversión. Esta situación parece estar cayendo dentro de un círculo vicioso del que está costando mucho encontrar la salida.

Lo que le está sucediendo a este país es en parte responsabilidad de los mismos guatemaltecos, ya que a la fecha, no se ha sabido utilizar adecuadamente el recurso humano y natural con el que se cuenta. Se deben utilizar de una forma mas apropiada los recursos naturales para crear nuevas y mejores formas de tecnología que ayuden no solo a aprovechar eficientemente los recursos y proteger el medio ambiente, sino también ayuden a solventar los problemas por los que atraviesa el país. Guatemala necesita de la iniciativa de sus habitantes, que contribuyan cada día a mejorar su calidad de vida y que sean el motor de la economía nacional.

Este trabajo de investigación propone aprovechar los recursos climáticos tan variados con los que cuenta Guatemala y con ellos crear una tecnología que esté disponible para todo aquel que la necesite y se pueda beneficiar de ella.

Con la implementación de este secador se pretende motivar a los agricultores guatemaltecos a la cría de la lombriz Roja Californiana para ser utilizada como una fuente alternativa de proteína de alta calidad, para que en un futuro ésta sea incluida dentro de la dieta de las personas, contribuyendo así a solventar el grave problema de la desnutrición que azota al país, considerando que una alimentación adecuada es un derecho humano y una garantía constitucional.

OBJETIVOS

General

Diseñar y construir un secador solar portátil destinado para la producción de carne deshidratada de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*).

Específicos

1. Determinar los mejores materiales para la construcción del secador.
2. Correr pruebas de secado de carne de lombriz Roja Californiana en el secador diseñado para verificar su funcionamiento.
3. Encontrar el balance de masa dentro del secador.
4. Verificar los porcentajes de humedad obtenidos en la carne de lombriz Roja Californiana después del proceso de secado.
5. Obtener las curvas de secado de operación del secador diseñado.
6. Determinar el costo por kilogramo producido de carne de lombriz Roja Californiana deshidratada.
7. Diseñar y realizar un sondeo de aceptación con el producto obtenido del secador, para su posible uso en la fortificación de alimentos para consumo humano.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de los secadores solares ha adquirido gran importancia en el tratamiento de productos para acelerar la germinación, en la termoterapia de diferentes cultivos, para eliminar las plagas y los virus, así como para la deshidratación de los excedentes de las cosechas y la obtención de productos de primera necesidad a bajo costo, como lo son los medicamentos a partir de las plantas medicinales secas.

El secado o deshidratación de materiales biológicos, en especial los alimentos, se usa también como técnica de preservación. Los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer ni multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua. Los microorganismos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso y así, los alimentos secos pueden almacenarse durante periodos bastante largos.

La alimentación es un gran determinante económico, político y social de los pueblos. Si durante sus primeros años una persona no logra un suministro adecuado de proteínas, lo más probable es que luego padezca deficiencias neurológicas que lo limiten para siempre.

Una propuesta para mejorar la alimentación en países en vías de desarrollo podría ser incluir la producción de proteína de anélidos a partir de materiales que no implican costo como restos de comida, desechos del huerto, cáscaras, hojas, pasto, papel y estiércoles de rumiantes. El proyecto podría ser viable en pequeñas comunidades en donde se practique la agricultura y la ganadería.

Durante miles de años, distintos pueblos de Africa y China, encontraron en la carne de lombriz un complemento nutricional que ayudó a sostener su población y cultura a pesar de las condiciones más adversas. Cuando se introduce un nuevo alimento, hay que tener en cuenta las costumbres locales; existen muchos proyectos de ayuda a pueblos acosados por el hambre debido a la pobreza o a algún desastre, que han fracasado porque no se consideraron sus hábitos de alimentación.

En este sentido, la proteína de lombriz presenta una gran ventaja: se puede incorporar en pequeñas cantidades, de manera imperceptible, enriqueciendo los alimentos de consumo habitual bajo la forma de harina. Esta contiene de 62 al 82% de proteína de excelente calidad y la totalidad de los aminoácidos esenciales, superando a la harina de pescado y la de soya, tanto en calidad como en costo. Pero aún más importante es el hecho de que la lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) no padece ni transmite ninguna enfermedad conocida. Según refiere el INCAP, dentro de los problemas nutricionales de la población guatemalteca se encuentra la desnutrición debida a proteínas y calorías, debido a la poca o ninguna ingesta de alimentos ricos en proteína y energía.

Una buena opción para contribuir a la erradicación de este problema sería la fortificación de alimentos de consumo masivo en Guatemala, con harina de lombriz, para hacer llegar a la población guatemalteca las proteínas requeridas para su buena nutrición a bajo costo.

En el presente trabajo de investigación se pretende construir un secador solar portátil para la producción de carne de lombriz deshidratada y, a la vez conocer la opinión de los guatemaltecos sobre la posibilidad de incluir en su dieta diaria este alimento.

1. ANTECEDENTES

1.1 La lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*)

La lombriz siempre ha estado ligada al desarrollo de la humanidad; era conocida en la antigüedad como el arado o intestino de la tierra, tal como la denominó Aristóteles. En el antiguo Egipto, la Reina Cleopatra le confirió la categoría de animal sagrado, y se castigaba con pena máxima el tratar de sacarlas del Reino a otros territorios.

Existe una amplia gama de especies de lombrices, aproximadamente 8,000, de las cuales se emplean con fines industriales y comerciales las lombrices mejoradas por selección genética: la variedad *Eisenia Foetida* o Roja Californiana y la *Lumbricus Rubellus* o Roja Africana, porque tienen la capacidad de vivir en cautiverio. La lombriz de tierra común, *Lumbricus Terrestris*, no puede ser explotada comercialmente debido a sus hábitos silvestres y a su baja tasa de reproducción (1).

La lombriz Roja Californiana, *Eisenia Foetida*, es un animal con un organismo adecuado para biodegradar desechos orgánicos, es muy voraz, prolífica, dócil, capaz de vivir en grandes concentraciones y adaptable a distintos climas, razones por las cuales es la más usada para la explotación comercial, conocida como lombricultura.

La lombricultura es una actividad agrícola, cuyo objetivo es la cría y explotación de la lombriz roja californiana. Esta se realiza en camas o lechos contruidos de madera o plástico, de 1 metro de ancho X 60 centímetros de alto X el largo deseado (puede ser hasta 40 metros), bajo condiciones controladas de humedad, temperatura, pH, aire y luz.

Las lombrices se alimentan de cualquier sustrato orgánico descompuesto, como estiércol de bovino, equino, porcino, de conejo o de gallina; esto representa un método de reciclaje y descontaminación ambiental. Actualmente también se están alimentando también con pulpa de café (2) y cáscaras de plátano (3).

De la lombricultura se obtiene el humus o compost, que es el excremento de la lombriz. Del alimento ingerido por las lombrices (aproximadamente 1 gramo diario), cerca del 60% es convertido en humus y el restante 40% es asimilado y utilizado por la lombriz como fuente de energía para sus propias funciones vitales.

El humus es un excelente abono rico en materia orgánica (50 – 60%), nitrógeno (2 –3%), fósforo (1 – 1.5%), potasio (1 – 1.5%), carbono (20 – 35%) y otros elementos como ácidos fúlvicos y húmicos y microelementos, que ayuda a regenerar las tierras en forma natural y económica, ya que reduce notablemente la utilización de abonos y pesticidas químicos(4).

De esta práctica también se obtiene la carne de la lombriz, la cual contiene del 60 al 80% de proteína cruda, lo que la ubica como uno de los alimentos de mayor calidad que se pueda encontrar en la naturaleza, de bajo costo, alta productividad y rentabilidad.

La carne de lombriz viva se utiliza como alimento en la cría de aves, ranas peces y como carnada en la pesca deportiva. Procesada en forma de harina se utiliza como complemento proteico en la elaboración de concentrados animales. Esta harina también se emplea en algunos países como China, Brasil y Estados Unidos en la elaboración de embutidos, picadillos y hamburguesas para consumo humano, como complemento proteico.

Actualmente en Cuba, se realizan pruebas en la elaboración de dulces fortificados con harina de lombriz (4).

La morfología o clasificación biológica de la lombriz roja californiana es la siguiente:

| | |
|----------------|--------------------|
| Reino: | Animal |
| Subreino: | Metazoos |
| <i>Phylum:</i> | Protostomia |
| Tipo: | Anélido |
| Clase: | Oligoqueto |
| Familia: | <i>Lumbricidae</i> |
| Género: | <i>Eisenia</i> |
| Especie: | <i>Foetida</i> |

En estado adulto, la longitud media de la lombriz roja californiana es entre 5 y 9 cm, con un diámetro de 3 a 5 mm, tamaño que alcanza a los 7 meses de edad (2). Pesa alrededor de 1 gramo, es de color rojo oscuro, vive aproximadamente 16 años. Su respiración es a través de la piel. Tiene 5 pares de corazones y un par de riñones.

Su sistema muscular está muy desarrollado tanto longitudinal como perimetralmente por lo que puede efectuar cualquier tipo de movimiento. No tiene dientes y es fotofóbica (le teme a la luz). No sangra al ser cortada. Una de sus principales características es que no contrae ni transmite enfermedades.

Es hermafrodita incompleta, o sea que no puede autofecundarse. Posee ambos sexos. Se acopla cada 7 días produciendo una cápsula ó cocón de color amarillo verdoso, de 2 X 3 por 3 X 4 mm y de forma muy parecida a una pequeña pera. El cocón se incuba durante 14 a 21 días y de él emergen entre 2 y 21 pequeñas lombrices.

Al nacer son de color blanco, a los 5 ó 6 días se tornan rosadas y a los 15 ó 20 días adquieren el color rojo característico. Alcanzan su madurez sexual aproximadamente a los 90 días (3).

1.2 Caracterización fisicoquímica de la carne de lombriz

Según refieren estudios realizados alrededor del mundo, la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) es un alimento de alto valor nutricional debido a su alto contenido de proteínas y energía, así como una composición aminoacídica comparable con la de las fuentes tradicionales de proteína, y una elevada digestibilidad del nitrógeno(4). La figura 1 presenta la composición química de la carne de lombriz *Eisenia Foetida*.

Con respecto a los aminoácidos, la *Eisenia Foetida* posee todos los aminoácidos esenciales para la nutrición humana y animal. La figura 2 presenta la composición aminoacídica de la *Eisenia Foetida*, además esta es comparada con la misma composición en las harinas de pescado y de carne.

Figura 1. Composición química de la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*).

| | % Base Húmeda |
|----------------------|---------------|
| Proteínas | 66.8 + - 3.2 |
| Lípidos | 8.8 + - 0.9 |
| Humedad | 7.3 + - 0.7 |
| Cenizas | 8.4 + - 0.6 |
| Fibra Cruda | 1.3 + - 0.8 |
| Carbohidratos | 1.2 + - 0.2 |
| N.N.P. | 5.7 + - 0.4 |
| Otros constituyentes | 0.5 + - 0.3 |

Fuente: **Farinha de minhoca. www.promin.com.br.**

La composición microbiológica de la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) se presenta en la Figura 3.

Figura 2. Aminoácidos presentes en la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*).

| | <u>Eisenia foetida</u> McInroy (1971) | <u>Eisenia foetida</u> Graff (1981) | Harina de pescado | Harina de carne |
|--------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------------|
| Arginina | 6.1 | 6.1 | 6.7 | 6.5 |
| Histidina | 2.2 | 2.3 | 2.0 | 2.5 |
| Isoleucina | 4.6 | 4.7 | 3.5 | 6.0 |
| Leucina | 8.1 | 8.2 | 6.4 | 8.4 |
| Triptofano | 2.1 | - | 1.6 | 3.0 |
| Lisina | 6.6 | 7.5 | 6.4 | 8.4 |
| Metionina | 1.5 | 1.8 | 6.9 | 10.4 |
| Fenilalanina | 4.0 | 3.5 | 1.5 | 3.0 |
| Treonina | 5.3 | 4.7 | 3.5 | 4.2 |
| Valina | 5.1 | 5.2 | 3.3 | 4.6 |

Fuente: Manual de lombricultura. www.manualdelombricultura.com.

Figura 3. Análisis microbiológico de la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*).

| Microorganismos | Colonias / gramo de harina |
|------------------------|----------------------------|
| Aerobio mesófilos | 8.2 millones |
| Coliformes totales | 1.45 |
| Bacillus cereus | 2.000 |
| Clostridium | 10 |
| Mohos y Levaduras | 1.200 |
| E. coli | S.D.* |
| S. aureus | S.D.* |
| Salmonella | S.D.* |
| Arizona | S.D.* |
| S.D.* = Sin desarrollo | |

Fuente: **Manual de lombricultura. www.manualdelombricultura.com.**

1.3 Las proteínas

1.3.1 Características

Las proteínas son las sustancias más complejas conocidas en química, se encuentran repartidas en la naturaleza en animales y plantas, por lo que son constituyentes esenciales de los alimentos juntamente con las grasas y los carbohidratos. Su nombre se deriva del griego *proteios* que significa primario (5).

Las proteínas son polímeros gigantes o macromoléculas constituidas por polipéptidos formados a su vez por muchas unidades de diferentes aminoácidos.

El peso molecular de las proteínas varía desde varios miles, en los casos más sencillos, hasta muchos millones en los casos más complejos. La figura 4 presenta los pesos moleculares de diferentes proteínas.

Figura 4. Peso molecular de algunas proteínas (6).

| Proteína | Origen | Peso molecular aproximado |
|-----------------|---------|---------------------------|
| Gliadina | Trigo | 28,000 |
| Albúmina | Huevo | 42,000 |
| Hemoglobina | Sangre | 65,000 |
| Caseína | Leche | 375,000 |
| Hemocianina | Caracol | 8,000,000 |
| Virus influenza | ----- | 250,000,000 |

Fuente: Devore, G y E. Muñoz. **Química orgánica**. Pág. 196.

Las proteínas están compuestas por: 50% carbono, 25% oxígeno, 16% nitrógeno y 7% hidrógeno. Pueden contener aproximadamente un 1% de azufre. También pueden contener en mucho menor proporción elementos como fósforo, hierro, cobre, manganeso, zinc, magnesio, vanadio, cobalto y yodo (5).

Todas las proteínas se hidrolizan con ácidos diluidos dando como resultado una mezcla de aminoácidos alfa, o sea aminoácidos que tienen un grupo amino en posición alfa con respecto al carboxilo.

Las proteínas pueden dividirse en tres clases:

- a) Proteínas estructurales: que forman parte principal de todas las unidades estructurales de animales y plantas, por ejemplo, músculos, pelo, piel, plumas, uñas, huesos, etc.. Ejemplos son las ceratinas y el colágeno.
- b) Proteínas reguladoras: son las involucradas en la regulación de las reacciones bioquímicas necesarias para la existencia de los organismos. Ejemplos son las enzimas como la lisozima y la ribonucleasa, y las proteínas hormonales como la insulina y la vasopresina.
- c) Proteínas transportadoras: son las que intervienen en el transporte de sustancias alimenticias, desperdicios, etc. Ejemplos son la hemoglobina y la mioglobina.

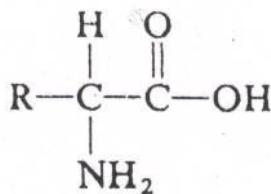
Un segundo sistema de clasificación se basa en la forma física de las proteínas. De acuerdo con esto, las proteínas pueden dividirse en dos clases:

- a) Fibras: son insolubles en agua. Se forman de enlaces de cadenas largas y continuas de proteína, sin ramificaciones de aminoácidos, en forma paralela lado a lado.

- b) Globulares: son solubles en agua. Se forman de cadenas de proteínas que se tuercen y doblan dando una apariencia redondeada o esférica.

1.3.2 Aminoácidos

Es cualquier molécula que tenga un grupo amino (-NH₂) y un grupo carboxilo (-COOH). La estructura general de un aminoácido es la siguiente (5):

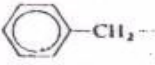
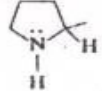
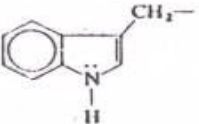
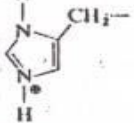



Veintiuno de los aminoácidos más comunes presentan esta estructura y difieren solamente en la estructura del grupo R enlazado al carbono alfa. (Ver figura 5)

Entre ellos, los ocho siguientes se denominan indispensables porque el organismo humano y animal no pueden sintetizarlos, debiendo por consiguiente figurar en la dieta alimenticia: triptófano, lisina, fenilalanina, leucina, isoleucina, valina, treonina y metionina.

Los aminoácidos se obtienen por la hidrólisis de las proteínas, las cuales se hierven a reflujo con ácido clorhídrico 20% o ácido sulfúrico 35%. Son sólidos, bien cristalizados, solubles en agua e insolubles en etanol y disolventes orgánicos (5).

Figura 5. Aminoácidos esenciales.

| Grupo R | Nombre* | Simbolo' | pK _I | pK _{II} | pK _{III} |
|---|----------------------|----------|-----------------|------------------|-------------------|
| Neutros | | | | | |
| H— | Glicina | gli | 2.34 | 9.6 | |
| CH ₃ — | Alanina | ala | 2.35 | 9.69 | |
| (CH ₃) ₂ CH— | Valina | val | 2.32 | 9.62 | |
| (CH ₃) ₂ CHCH ₂ — | Leucina | leu | 2.36 | 9.60 | |
| CH ₃ CH ₂ CH— CH ₃ | Isoleucina | ile | 2.36 | 9.68 | |
|  | Fenilalanina | fen | 1.83 | 9.13 | |
|  | Prolina [†] | pro | 1.99 | 10.60 | |
|  | Triptófano | trp | 2.38 | 9.39 | |
| H ₂ N—C(=O)—CH ₂ — | Asparagina | asn | 2.02 | 8.8 | |
| H ₂ N—C(=O)—CH ₂ CH ₂ — | Glutamina | gln | 2.17 | 9.13 | |
| Básicos | | | | | |
| H ₃ N ⁺ CH ₂ CH ₂ CH ₂ CH ₂ — | Lisina | lis | 2.18 | 8.95 | 10.53 |
| H ₂ N ⁺ —C(=NH ⁺)—NHCH ₂ CH ₂ CH ₂ — | Arginina | arg | 2.17 | 9.04 | 12.48 |
|  | Histidina | his | 1.82 | 9.17 | 6.00 |
| Ácidos | | | | | |
| HOOCCH ₂ — | Ácido aspártico | asp | 2.09 | 9.82 | 3.86 |
| HOOCCH ₂ CH ₂ — | Ácido glutámico | glu | 2.19 | 9.67 | 4.25 |
| Varios | | | | | |
| HSCH ₂ — | Cisteína | cis | 1.71 | 8.91 | 8.50 |
| —CH ₂ SSCH ₂ — | Cistina [†] | cis-cis | 1.65 | 7.86 | |
| | | | 2.26 | 9.85 | |
| CH ₃ SCH ₂ CH ₂ — | Metionina | met | 2.28 | 9.21 | |
| HOCH ₂ — | Serina | ser | 2.21 | 9.15 | |
| HOCH— CH ₃ | Treonina | tre | 2.09 | 9.10 | |
|  | Tirosina | tir | 2.20 | 9.11 | 10.07 |

Fuente: Wingrove, Alan y Robert Caret. **Química orgánica**. Pág. 256.

1.3.4 Deficiencia de proteínas en Guatemala

Dentro de los problemas nutricionales debidos al hambre, típicos en países subdesarrollados como Guatemala, destacan la deficiencia de proteínas, energía y micronutrientes como vitamina A, hierro, yodo y ácido fólico. Como resultado de esto se produce el retardo de talla, en especial en los niños en edad preescolar y escolar (7).

En Guatemala, alrededor del 50% de los niños presentan retardo en la talla, y en el 60% de los municipios éste es severo. Las necesidades nutricionales diarias del ser humano que refiere el INCAP (7) se presentan en la figura 6.

Figura 6. Necesidades nutricionales del ser humano (7).

| Grupo | Proteína g | Energía kcal | Hierro mg | Vitamina A µg | Acido fólico µg |
|----------|---------------|-----------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|
| Niños | 47 | 1,850 | 12 | 400 | 100 |
| Hombres | 68 | 3,100 | 11 | 600 | 200 |
| Mujeres | 53 | 2,100 | 24 | 500 | 400 |
| Embarazo | +8 | +285 | Dosis far- macológica | +100 | Dosis far- macológica |

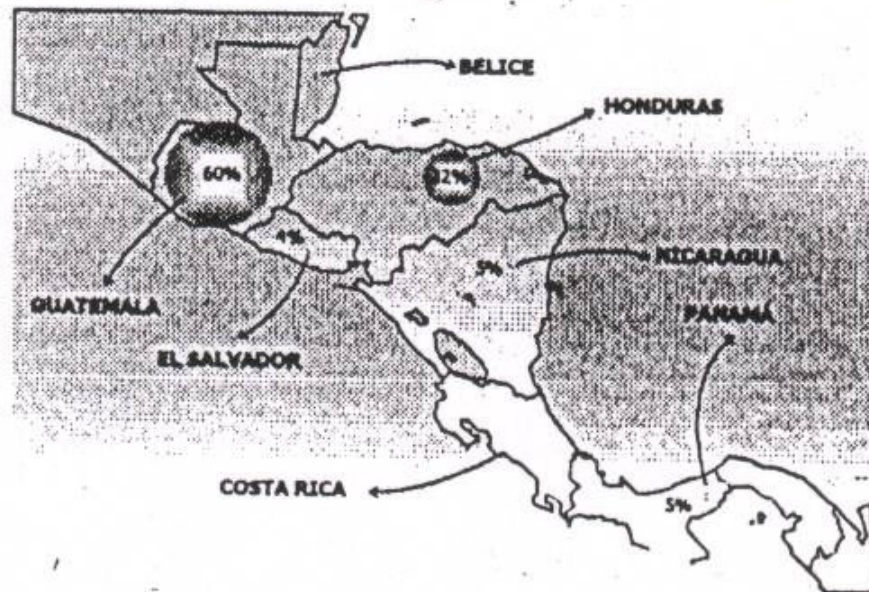
Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala. **Hambruna en Guatemala**. Pág. 13.

La dieta inadecuada depende de la baja disponibilidad de alimentos y la incapacidad de la población para adquirir alimentos saludables, lo que redundo en el bajo rendimiento del trabajador, dificultad para el aprendizaje escolar, retardo en el crecimiento y mortalidad infantil.

En Guatemala, la desnutrición está asociada a la pobreza, y según refieren estudios recientes realizados por SEGEPLAN, la pobreza predomina a lo largo de todo el país y no sólo en un área específica, prácticamente todo el país está lleno de poblaciones vulnerables al hambre y a la desnutrición.

Según detalle de estos estudios, más del 60% de los municipios de Guatemala tienen población pobre, esto es 102 municipios en los que el porcentaje de pobreza es de 78%, que representan un total de 1.8 millones de personas en situación vulnerable (7). La figura 7 muestra el porcentaje de municipios con retardo severo en talla en Guatemala, comparativamente con la región centroamericana.

Figura 7. Porcentaje de municipios con retardo severo en talla en la región centroamericana.



Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala. **Hambre en Guatemala**. Pág 15.

Según estudios realizados por el Gobierno, los siete departamentos de Guatemala con mayores porcentajes de desnutrición crónica son: Sololá, Huehuetenango, Quiché, San Marcos, Baja Verapaz, Alta Verapaz y Chiquimula. (Ver figura 8) Cabe mencionar que los fenómenos ambientales y meteorológicos de los últimos años han incidido en la población provocando un descenso en los medios de vida.

Según la Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil realizada en el año 2002 (8), el porcentaje total de niños de 3 a 59 meses de edad con desnutrición crónica es de 49.3%, de los cuales 21.2% presentaron desnutrición severa. Esto representa que en el área rural, 6 de cada 10 niños presentan desnutrición crónica, mayormente en las regiones nor occidente, sur occidente y norte del país. (Ver figuras 36 y 37 del anexo)

Figura 8. Porcentaje de desnutrición crónica en siete departamentos de Guatemala.

| Departamento | % de desnutrición crónica | |
|---------------|---------------------------|-------------|
| | 1986 | 2001 |
| Sololá | 76.3 | 73.3 |
| Huehuetenango | 65.0 | 66.5 |
| Quiché | 66.0 | 65.0 |
| San Marcos | 60.1 | 61.0 |
| Baja Verapaz | 53.0 | 51.9 |
| Alta Verapaz | 53.4 | 49.9 |
| Chiquimula | 46.3 | 47.9 |
| Total | 60.9 | 60.3 |

Fuente: **Encuesta nacional de salud materno infantil.** Informe resumido 2003.

1.4 Secado

El desecado o secado de sólidos se refiere generalmente a la separación de un líquido de un sólido, por evaporación. En general, el secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua u otro líquido de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo. El secado es habitualmente la etapa final de una serie de operaciones y con frecuencia, el producto que se extrae de un secadero pasa a ser empaquetado. (9)

El agua u otros líquidos pueden separarse de los sólidos mecánicamente mediante prensas o centrifugas, o bien térmicamente mediante evaporación. Los métodos mecánicos no se consideran por lo común como una operación de desecado o secado, aunque a menudo preceden a una operación de esta naturaleza, ya que es menos costoso y muchas veces, más fácil de utilizar métodos mecánicos que térmicos. Por esta razón es aconsejable reducir el contenido de líquido en lo posible antes de operar en secadero térmico. (10)

El contenido de líquido de una sustancia varía de un producto a otro. Ocasionalmente el producto no contiene líquido y recibe el nombre de completamente seco, pero lo más frecuente es que el producto contenga algo de líquido. La sal de mesa por ejemplo, contiene 0.5% de agua, el carbón seco 4% y la caseína 8%. Secado es un término relativo y tan solo quiere decir que hay una reducción del contenido del líquido (9).

En cualquier proceso de desecado, suponiendo un suministro adecuado de calor, la temperatura y la velocidad a las cuales se produce la vaporización del líquido dependen de la concentración de vapor en la atmósfera circundante (10).

Cuando el vapor desprendido se purga del medio de secado utilizando un segundo gas (inerte), la temperatura a la que se produce la vaporización dependerá de la concentración del vapor en el gas que lo rodea. En efecto, el líquido se debe calentar a una temperatura a la que su presión de vapor sea igual o exceda a la presión parcial de vapor en el gas de purga. En la situación opuesta se producirá una condensación (10).

En casi todas las operaciones de desecación, el agua es el líquido evaporado y el aire es el gas de purga que se emplea comúnmente.

1.4.1 Condiciones generales para la desecación.

El desecado de sólidos incluye dos procesos fundamentales y simultáneos:

- 1) transmisión de calor para evaporar el líquido y
- 2) transmisión de masa en forma de líquido o vapor dentro del sólido y como vapor desde la superficie.

Los factores que regulan las velocidades de estos procesos determinan la rapidez o el índice de desecación. (10)

Los desecadores comerciales difieren primordialmente en los métodos de transferencia de calor utilizados. Estas operaciones de secado industrial pueden utilizar transferencia de calor por convección, conducción, radiación o una combinación de estos.

Sin embargo, en cada caso el calor debe fluir hacia la superficie externa y luego al interior del sólido.

Las únicas excepciones son el desecado dieléctrico y el de microondas, en donde la electricidad de alta frecuencia genera calor internamente creando una temperatura elevada dentro del material y en su superficie.

La masa se transfiere durante la desecación en forma de líquido o vapor dentro del sólido, y como vapor que se desprende de las superficies expuestas. Un estudio de la forma como se deseca un sólido se puede basar en el mecanismo interno de flujo del líquido o en el efecto de las condiciones externas de temperatura, humedad, flujo de aire, estado de subdivisión, etc., en la velocidad de desecación del sólido. (10)

El primer procedimiento requiere por lo común un estudio básico de las condiciones internas. El segundo procedimiento es menos fundamental, pero generalmente es el más utilizado debido a que los resultados tienen una mayor aplicabilidad inmediata en el diseño y la evaluación de equipos.

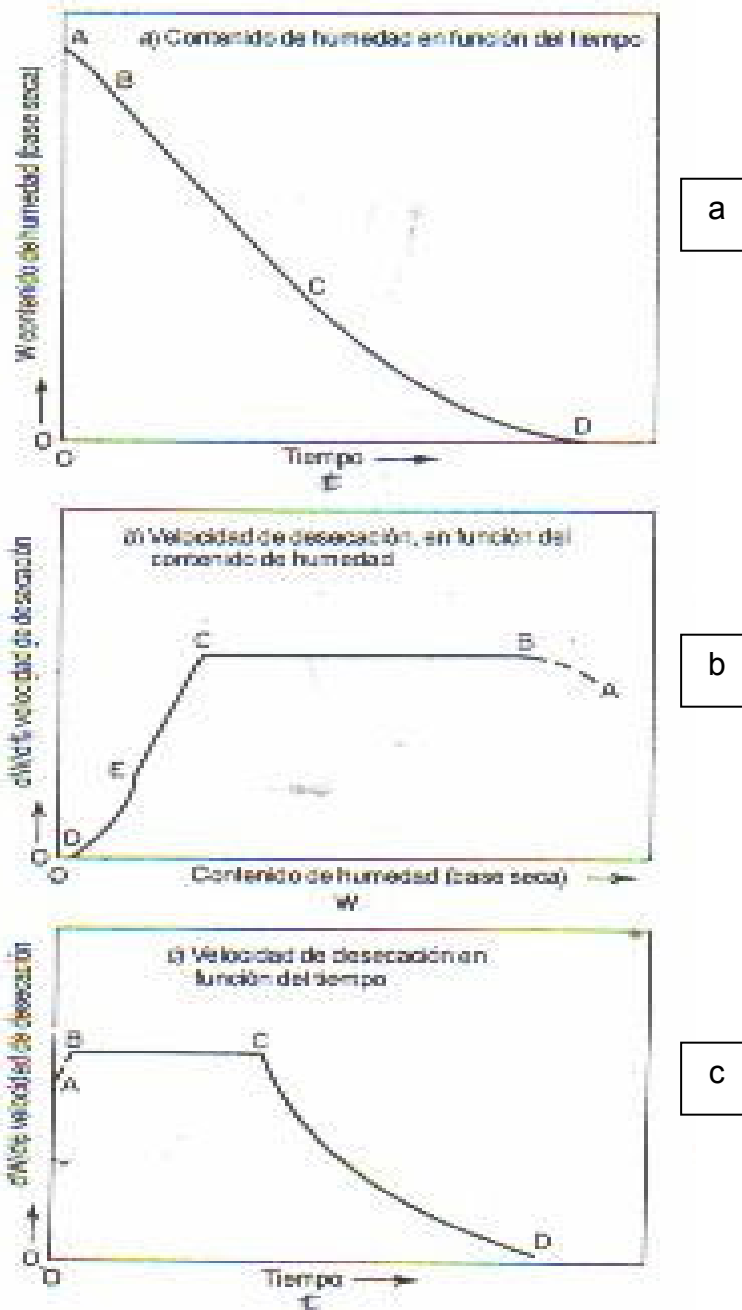
1.4.2 Períodos de desecación

Cuando un sólido se deseca experimentalmente, casi siempre se obtienen datos que asocian el contenido de humedad con el tiempo. La figura 9 muestra estos datos gráficamente como el contenido de humedad (base seca) W en función del tiempo t .

La figura 9a representa el caso general en que los sólidos que contienen agua pierden humedad, primero por evaporación desde una superficie saturada del sólido, a que sigue un período de evaporación de la superficie saturada que tiene un área gradualmente decreciente y por último, cuando el agua se evapora en el interior del sólido.

Esta figura indica que la velocidad de desecación está sujeta a variación en función del tiempo o el contenido de humedad.

Figura 9. Períodos de desecación a, b y c.



Fuente: Perry, Robert y otros. **Manual del ingeniero químico**. Tomo V. Pág. 20-10

La variación mostrada en la figura 9a, se ilustra con mayor claridad diferenciando gráfica o numéricamente la curva y haciendo una representación gráfica de dW/dt en función de W , en la figura 9b, o como dW/dt en función de t como se muestra en la figura 9c.

Estas curvas de velocidad demuestran que el desecado no es un proceso suave y continuo en el cual un solo mecanismo ejerce el control a lo largo de toda su duración. En la figura 9c se indica cuanto dura cada período de desecación.

La sección AB de cada curva indica el período de calentamiento de los sólidos. La sección BC indica el período de velocidad constante. El punto C indica en donde concluye la velocidad constante y empieza a descender el índice de desecación lo que se conoce como contenido crítico de humedad. La porción CD se denomina período de velocidad decreciente y se caracteriza por una velocidad constantemente variable a lo largo del resto del ciclo de desecación.

El punto E de la figura 9b representa el punto en que toda la superficie expuesta se hace completamente insaturada y marca el principio de la porción del ciclo de desecado durante el cual la velocidad del movimiento de la humedad interna controla la velocidad de desecación. La porción CE de la misma figura se define como el primer período de desecación con velocidad decreciente y la porción ED como el segundo periodo de velocidad decreciente (10).

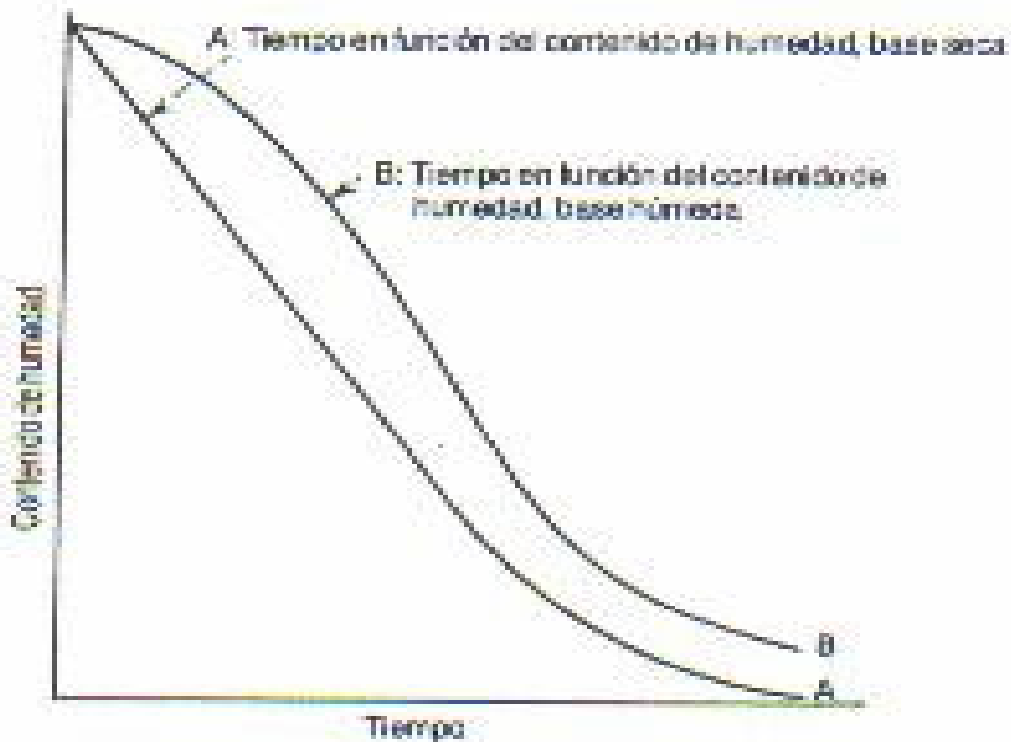
1.4.3 Análisis de datos

Cuando se llevan a cabo experimentos con el fin de seleccionar un secador adecuado y para obtener datos de diseño, se estudia el efecto de los cambios en las diferentes variables externas.

Estos experimentos se deben realizar en una unidad experimental que simule al secador a gran escala, tanto en los aspectos térmicos como en los del manejo del material y sólo se debe emplear el material que sea realmente representativo de la producción a escala completa.

Es preciso obtener datos que expresen el contenido de humedad en función del tiempo transcurrido y tales resultados se representarán gráficamente como se presentan en la figura 10. Se acostumbra representar gráficamente la velocidad de desecación en función del contenido de humedad tal como se presenta en la figura No. 9b. Una representación gráfica de la velocidad de desecación en función del tiempo como en la figura 9c, ilustra de una mejor manera los períodos de desecación (10).

Figura 10. Curvas del tiempo de desecación.



Fuente: Perry, Robert y otros. **Manual del ingeniero químico**. Tomo V. Pág. 20-14

1.4.4 Operaciones de secado

Las operaciones de secado pueden clasificarse ampliamente según sean por lotes o continuas. La operación denominada secado por lotes, generalmente es un proceso en semilotes, en donde una cierta cantidad de sustancia que se va a secar se expone a una corriente de aire que fluye continuamente, en la cual se evapora la humedad. En las operaciones continuas, tanto la sustancia que se va a secar como el gas, pasan continuamente a través del equipo (11).

El equipo que se usa para el secado se puede clasificar de acuerdo con el tipo del equipo y por la naturaleza del proceso de secado (11):

- 1) Método de operación, o sea, por lotes o continuo: El equipo por lotes o semilotes, se opera intermitente o cíclicamente en condiciones de estado no estacionario: el secador se carga con la sustancia, la que permanece en el equipo hasta que se seca. Entonces, el secador se descarga y se vuelve a cargar con un nuevo lote. Los secadores continuos generalmente se operan en estado estacionario.
- 2) Método de obtención de calor necesario para la evaporación de la humedad: En los secadores directos, el calor se obtiene completamente por contacto directo de la sustancia con el gas caliente en el cual tiene lugar la evaporación. En los secadores indirectos, el calor se obtiene independientemente del gas que se utiliza para acarrear la humedad evaporada.

- 3) Naturaleza de la sustancia que se va a secar: La sustancia puede ser un sólido rígido como la madera, un material flexible como la tela o papel, un sólido granular como una masa de cristales, una pasta ligera o lodo ligero, o una solución. La forma física de la sustancia y los diferentes métodos de manejo necesarios tienen la mayor influencia sobre el secador que se va a utilizar.

1.4.5 Secadores solares

Son los equipos o instalaciones que utilizan la radiación solar como fuente de energía para disminuir la humedad del producto o material a secar.

La radiación solar la componen ondas electromagnéticas emitidas por el sol que puede considerarse un cuerpo esférico con un radio de 6.95×10^5 Km, situado a una distancia de la tierra de 7.47×10^7 Km. La temperatura equivalente del sol es de aproximadamente $6,000^\circ\text{C}$. La radiación solar también llamada luz, está formada por la luz ultravioleta, la visible y la infrarroja (12).

La luz visible está compuesta por las luces de colores desde el rojo hasta el violeta y tiene un rango de longitud de onda de 0.38 a 0.78 mm. La luz visible constituye el 47% de toda la radiación solar que llega a la Tierra antes de atravesar la atmósfera. La luz ultravioleta posee una longitud de onda inferior a 0.38 mm y representa el 7% del total de la radiación solar (también antes de entrar a la atmósfera). La luz infrarroja tiene una longitud de onda superior a 0.78 mm y significa el 46% de la radiación solar (12).

Los secadores solares pueden dividirse según su diseño de la siguiente forma:

a) Secador de radiación solar directa: En él, el producto recibe la radiación solar directamente en su superficie, la cual es captada y transformada en calor, es decir, que la superficie captadora de la radiación solar es el propio producto.

b) Secador solar de radiación infrarroja: En este secador la energía solar es captada por una superficie metálica ennegrecida y después esta transmite el calor al producto por radiación infrarroja.

c) Secador solar por conducción: Esta es una instalación en la que el producto o materia a secar se coloca en la superficie captadora de radiación solar, y el calor es transmitido principalmente por conducción.

d) Secador solar por convección: En este tipo de instalación la radiación solar es captada por calentadores de aire y después este aire caliente pasa a través del producto para evaporar el agua de su superficie (12).

2. ESTUDIO CLIMATOLÓGICO DE LA REPÚBLICA DE GUATEMALA

Para determinar la mejor región dentro de la República de Guatemala para llevar a cabo el presente estudio, se procedió a realizar un análisis de las condiciones climáticas de los diferentes Departamentos de la República. Para esto, se consultó la página electrónica del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) (13).

En ella, se presentan los datos meteorológicos de las cabeceras y algunos municipios de los diferentes Departamentos del país, recabados en las diferentes estaciones meteorológicas que el INSIVUMEH posee en dichos lugares. La información meteorológica se encuentra disponible ya sea en forma promediada por año o bien como datos estadísticos desde el año 1994 hasta el 2004, según la información recabada en las diferentes estaciones.

Los datos meteorológicos que pueden obtenerse en esta página son: elevación sobre el nivel del mar (Msnm), temperatura máxima (°C), temperatura mínima (°C), temperatura promedio (°C), temperatura máxima absoluta, temperatura mínima absoluta, temperatura promedio absoluta, precipitación pluvial (mm), brillo solar (total hr promedio/mes), humedad relativa (%), velocidad del viento (Km/hr) y evaporación del agua (mm).

Para la realización de este estudio se considera importante encontrar una región con las siguientes características: temperatura promedio anual (°C) alta, precipitación anual (mm) baja, brillo solar (hr promedio/mes) alto y humedad relativa (%) baja. Por esta razón, se hizo énfasis en estas condiciones al momento de realizar el estudio de los datos proporcionados por el INSIVUMEH. Además, también se considera importante la distancia de la región seleccionada con la ciudad capital.

Con esto, se determinó que las posibles regiones que reúnen las mejores condiciones meteorológicas para llevar a cabo el estudio pueden ser: Escuintla, El Progreso, Santa Rosa, Zacapa, Chiquimula y Amatitlán en el Departamento de Guatemala.

La figura 11 presenta las diferentes condiciones meteorológicas de las regiones seleccionadas y su respectiva distancia con la ciudad capital.

La selección final de la región dependerá directamente de la disponibilidad de materia prima, entiéndase lombriz Roja Californiana en estos diferentes lugares, ya que en lo referente a condiciones climáticas todos reúnen las requeridas.

Figura 11. Condiciones meteorológicas de diferentes departamentos de la República de Guatemala y su distancia con la ciudad capital.

| Departamento | Temperatura promedio (°C) | Precipitación pluvial (mm) | Humedad relativa (%) | Distancia ciudad (Km) |
|--------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|-----------------------|
| Escuintla | 27.65 | 2016.0 | 75 | 57 |
| El Progreso | 27.00 | 780.5 | 62 | 73 |
| Santa Rosa | 25.25 | 1552.3 | 76 | 54 |
| Zacapa | 26.90 | 721.3 | 72 | 148 |
| Chiquimula | 23.65 | 920.1 | 69 | 174 |
| Amatitlán | 21.00 | 924.0 | 76 | 28 |

Fuente: **INSIVUMEH**. www.insivumeh.gob.gt

3. DISPONIBILIDAD DE MATERIA PRIMA

Para determinar la disponibilidad de materia prima, o sea de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) en el territorio nacional, se recurrió a consultar a diferentes entidades que pudieran tener información sobre la ubicación de los diferentes criaderos de lombrices en Guatemala.

Dentro de las entidades estatales consultadas se encuentran el Banco de Guatemala (BANGUAT), Instituto Nacional de Estadística (INE), Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA) y Ministerio de Economía, en donde no poseen información sobre este tipo de cultivo a nivel nacional.

Se recurrió también a consultar a la Asociación Nacional del Café (ANACAFE) debido a que actualmente esta institución se encuentra promoviendo este cultivo dentro de los caficultores, ya que la pulpa de café generada durante el procesamiento de los granos sirve muy bien de alimento a las lombrices, ayudando así a evitar la contaminación ambiental provocada por la misma y a la vez beneficiándose con la producción de lombricompost (14).

Por medio de ANACAFE se logró obtener información sobre los lombricultores en las diferentes regiones del país, ya que ellos cuentan con una base de datos sobre las personas que se dedican al cultivo de las lombrices.

Con esta información, se determinó que la mayor disponibilidad de lombrices en Guatemala se encuentra en los Departamentos de Alta Verapaz, Quetzaltenango y Santa Rosa.

Por lo tanto, se elige al Departamento de Santa Rosa para la realización del presente estudio, ya que en él se conjugan la disponibilidad de materia prima, las condiciones climáticas necesarias para llevar a cabo un secado solar y la cercanía con la ciudad capital como posible mercado para la venta del producto (el municipio de Cuilapa en Santa Rosa se encuentra situado a 63 Km de la ciudad).

4. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR SOLAR

4.1 Criterios de diseño

El presente estudio se refiere al diseño de un secador solar portátil, cuyo objetivo principal es que el mismo pueda ser transportado fácilmente de un lugar a otro. Para ello, se tomaron como factores de suma importancia en el diseño del secador los siguientes:

- a. Materiales de construcción livianos pero resistentes: se requiere que el equipo no sea pesado para que pueda ser fácilmente manejado por un máximo de dos personas, pero que al mismo tiempo presente la suficiente resistencia mecánica para que no se destruya con el manejo. Esto se piensa así con el objetivo principal de que si en alguna región existen varios lombricultores a pequeña escala, no construya cada uno su secador sino que inviertan en un mismo secador que esté al servicio de todos ellos, transportando el secador de una granja a otra y reduciendo significativamente el costo de la inversión inicial.
- b. Facilidad de uso del equipo: se requiere que sea de fácil operación para cualquier tipo de persona, ya que los usuarios potenciales generalmente no poseen preparación técnica para operar equipo complicado. Se procura que para la operación baste un mediano conocimiento.
- c. Capacidad de carga: es indispensable que el secador sea de un tamaño lo suficientemente grande para que cargue un mínimo de 5 Kg de producto en cada lote de secado.
- d. Adaptabilidad: se procura que los materiales utilizados en la construcción del secador sean fáciles de conseguir en cualquier lugar.

Además se toma en cuenta también el tipo de vehículo más usado en los trabajos propios de fincas y granjas para que el secador sea transportado en uno de ellos.

4.2 Diseño del secador

Debido a que el producto a deshidratar es carne de lombriz, la cual contiene alrededor de un 90% de humedad, se hace necesario que la misma se exponga directamente a los rayos solares para facilitar su deshidratación. También, por el alto contenido de humedad de la carne, en la cámara de secado se producirá aire con un alto contenido de humedad, por lo que se requiere eliminar rápidamente el mismo de dicha cámara para poder facilitar el proceso de secado.

Por estas razones, se determinó que la mejor opción era la construcción de un secador solar directo con convección forzada.

4.3 Materiales de construcción

Tomando en cuenta los criterios de diseño establecidos, se eligieron los siguientes materiales para su construcción:

- Angular de aluminio de 1" X 1" para la estructura
- Lámina galvanizada calibre 28 mm para el absorbedor
- Tubo cuadrado de hierro de 1" X 1" para la base de la estructura
- *Plexiglas* 3 mm para la cámara de secado y la bandeja de carga
- Remaches de aluminio de 1/8" X 3/8" para las uniones
- Silicone transparente para sello de uniones
- Guata para filtro de ingreso de aire a la cámara de secado

Para provocar la convección forzada del aire se eligió un ventilador eléctrico Pro Master modelo Fan-3 110 V CA. La figura 12 del apéndice muestra el listado de materiales utilizados y sus costos. La figura 13 del apéndice muestra los proveedores de los materiales.

4.4 Construcción del secador

Se construyó un secador solar directo por convección forzada de las siguientes dimensiones: 1.00 m de ancho X 1.30 m de largo X 0.16 m de alto. Se eligieron estas medidas ya que se hizo un sondeo del tipo de vehículo más utilizado en el campo y se encontró que se trata mayormente de vehículos tipo *pick up* 4X4, por lo que al construir un secador con estas medidas el mismo cabe fácilmente en la palangana de estos vehículos para su transportación.

La cámara de secado y la bandeja para producto se situaron en posición horizontal, de modo que la radiación solar incida perpendicularmente sobre éstas. La entrada de aire al secador se situó de forma lateral. El aire será filtrado de impurezas sólidas por medio de un filtro de guata y será expulsado de la cámara de secado por medio de un ventilador colocado en el lateral opuesto.

La construcción del secador fue realizada en su totalidad por un herrero, por lo que este fue la única mano de obra requerida.

Las figuras 14 y 15 del apéndice muestran un esquema gráfico del secador construido. La figura 16 del apéndice muestra el secador construido.

5. CURVAS DE SECADO DE LA CARNE DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*EISENIA FOETIDA*)

5.1 Descripción de las pruebas de secado

Para determinar las curvas de secado de la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*), se procedió a correr dos pruebas en el secador solar construido. Las pruebas se llevaron a cabo en una empresa ubicada en el Km. 47.5 El Cerinal, Santa Rosa. En ella se dedican al cultivo de estas lombrices para la producción industrial de humus; las lombrices son alimentadas con pulpa de café.

Para correr las pruebas, se prepararon con anticipación las lombrices de modo que el día de las mismas las lombrices ya estuvieran totalmente limpias de sustrato y con el tracto digestivo vacío. Se procedió a sacrificarlas en solución salina y luego lavarlas para eliminarles los residuos de sal. Con esto se obtuvo la carne de lombriz, la cual se colocó en la bandeja del secador para iniciar el proceso de secado solar.

Cada prueba consistió en colocar el secador en un punto al aire libre en el cual la radiación solar incidiera directamente sobre el mismo durante todo el día. En la noche el secador se guardó bajo techo, para continuar con el secado al siguiente día. Se determinaron las variaciones en el peso de la carne de lombriz durante el proceso de secado utilizando para ello una báscula digital marca Ohaus modelo Champ II con capacidad para 60 Kg de carga y con

sensibilidad de 10 g. Se realizaron mediciones del peso cada 15 minutos. El formato utilizado para la toma de datos se muestra en la figura 17 del apéndice.

Para la primera prueba la carga inicial de carne de lombriz en el secador fue de 4.72 Kg y al final del proceso de secado se obtuvo 1.42 Kg de carne deshidratada. Para la segunda prueba la carga inicial fue de 5.21 Kg de carne obteniéndose 1.57 Kg de carne deshidratada. Ambos procesos finalizaron cuando ya no se presentaron variaciones en el peso. Los datos obtenidos durante los procesos se muestran en las figuras 18 y 19 del apéndice.

El porcentaje de humedad de la carne deshidratada fue determinado por medio de análisis realizados en el laboratorio Soluciones Analíticas, dando como resultado un 10.44% de humedad para la primera prueba y 9.97 % para la segunda prueba. Los informes de los análisis se muestran en las figuras 38 y 39 del anexo.

Para la primera prueba el tiempo total de secado de la carne fue de 9.75 horas-sol, iniciando el proceso a las 11:00 a.m. del día 30 de marzo y finalizando a las 12:15 p.m. del día 31 de marzo. De acuerdo a datos proporcionados por el INSIVUMEH, las condiciones climatológicas para los dos días de duración de la prueba de secado fueron las siguientes:

| Fecha | Temp. máxima | Temp. mínima | Temp. promedio | Humedad relativa | Velocidad del viento | Dirección del viento |
|----------|--------------|--------------|----------------|------------------|----------------------|----------------------|
| 30.03.06 | 34.5 | 18.5 | 26.5 | 73% | 5 Km/h | este |
| 31.03.06 | 34.0 | 21.0 | 27.5 | 80% | 4 Km/h | este |

Fuente: INSIVUMEH. Estación meteorológica Cuilapa, Santa Rosa.

Para la segunda prueba el tiempo total de secado de la carne fue de 9.75 horas-sol, iniciando el proceso a las 8:00 a.m. y finalizando a las 17:45 p.m. del día 02 de abril. De acuerdo a datos proporcionados por el INSIVUMEH, las condiciones climatológicas para este día fueron las siguientes:

| Fecha | Temp. máxima | Temp. mínima | Temp. promedio | Humedad relativa | Velocidad del viento | Dirección del viento |
|----------|--------------|--------------|----------------|------------------|----------------------|----------------------|
| 02.04.06 | 33.5 | 21.5 | 27.5 | 76% | Km/h | este |

Fuente: INSIVUMEH. Estación meteorológica Cuilapa, Santa Rosa.

La figura 20 del apéndice muestra una secuencia fotográfica del proceso de deshidratación de la carne de lombriz seguido durante las pruebas corridas.

5.2 Curvas de secado de las pruebas

Con los datos obtenidos, se procedió a realizar las curvas de secado de la carne de lombriz Roja Californiana para las dos pruebas, convirtiendo los pesos obtenidos en la toma de datos a porcentajes de humedad, tanto en base húmeda como en base seca mediante las siguientes fórmulas:

Para la primera prueba se tiene:

$$\% \text{ humedad base húmeda} = ((W_o - MS) / W_o) * 100 \quad (10)$$

$$\% \text{ humedad base seca} = ((W_o - MS) / MS) * 100 \quad (10)$$

donde:

W_o = peso registrado en cada medición

MS = materia seca

La materia seca se calculó de la siguiente manera:

$$W_f = 1.42 \text{ Kg de carne deshidratada con } 10.44\% \text{ de humedad}$$

$$MS = W_f - W_f \cdot (10.44\%)$$

$$MS = 1.42 - 1.42 \cdot (0.1044)$$

$$MS = 1.27 \text{ Kg}$$

La eficiencia del proceso de deshidratación (η) se calculó en base a la comparación entre las humedades inicial y final en base seca del proceso:

$$\eta = 1 - (\% \text{ humedad final} / \% \text{ humedad inicial})$$

$$\eta = 1 - (11.66\% / 269.57\%)$$

$$\eta = 95.67\%$$

La tabulación de estos datos se muestra en la figura 21 del apéndice. Para la segunda corrida los datos obtenidos aplicando las mismas fórmulas son los siguientes:

$$W_o = 5.21 \text{ Kg}$$

$$W_f = 1.57 \text{ Kg}$$

$$\% \text{ Humedad} = 9.97 \%$$

$$MS = 1.41 \text{ Kg}$$

$$\eta = 95.79 \%$$

La tabulación de todos los datos para la segunda corrida se muestra en la figura 22 del apéndice.

Se realizaron las siguientes gráficas:

- a) Contenido de humedad en función del tiempo (figuras 23 y 26 del apéndice)
- b) Velocidad de desecación en función del contenido de humedad (figuras 24 y 27 del apéndice)

c) Velocidad de desecación en función del tiempo (figuras 25 y 28 del apéndice)

Analizando la primera prueba (figuras 23 a 25 del apéndice), la sección AB de cada una de las curvas obtenidas representa el período de calentamiento de la carne de lombriz. Como puede apreciarse en la gráfica a (figura 23 del apéndice), este período inicia en el tiempo 0 con un alto contenido de humedad (269.57% humedad base seca) y finaliza en el tiempo 1.0 hr (60 minutos) con un 239.69% de humedad base seca.

La gráfica b (figura 24 del apéndice) muestra que durante este tiempo el contenido de humedad permanece alto, ya que éste se redujo únicamente un 29.88 %. En la gráfica c, puede apreciarse también el corto tiempo de calentamiento y el rápido incremento en la velocidad de desecación.

La sección BC de las curvas representa el período de velocidad constante de desecación de la carne, en la que el contenido de humedad de la misma se reduce drásticamente. Tal como puede observarse en la gráfica a (figura 23 del apéndice), este período comenzó con 239.69 % de humedad base seca y finalizó con un 74.56% de humedad base seca, lo que representa una reducción de 165.13 % del contenido de humedad tomando para ello un tiempo de 3.50 horas. El valor C de 74.56 % representa el contenido crítico de humedad de la carne, en el que concluye la velocidad constante y comienza a descender el índice de desecación de la misma. Las gráficas b y c (figuras 24 y 25 del apéndice) muestran que durante este período la velocidad de desecación permanece constante a razón de 0.60 Kg/h.

El proceso de desecación para las secciones AB y BC se dio por evaporación del agua contenida en la superficie expuesta de la carne, la cual se encontraba saturada de agua durante este período de tiempo de 4.50 horas.

La sección CD de cada una de las curvas representa el período de velocidad decreciente, en el cual existen variaciones constantemente variables del contenido de humedad de la carne pero que no resultan ser tan drásticas como en el período de velocidad constante, ocurriendo esto en un período de tiempo mucho más largo que en la sección BC. La gráfica a (figura 23 del apéndice) muestra que este período inicia con un 74.56 % de humedad y finaliza con 11.66 % de humedad base seca, tomando para ello 5.25 horas de desecación, o sea que la humedad se redujo solamente un 62.9 % tomando 1.75 horas más que la sección BC.

Como puede apreciarse en la tabla de datos (figura 21 del apéndice), las variaciones en el contenido de humedad de la carne fueron discretas a lo largo del tiempo. Las gráficas b y c (figuras 24 y 25 del apéndice) muestran claramente la reducción de la velocidad de desecación de la carne.

En esta porción CD la desecación de carne continuó siendo por evaporación del agua contenida en la superficie expuesta la cual todavía se encontraba saturada pero presentaba ya un área gradualmente decreciente durante el período de tiempo de 5.25 horas.

El punto E de la gráfica b (figura 24 del apéndice) representa el momento en que la superficie expuesta de la carne de lombriz se volvió completamente insaturada y la velocidad de desecación dependía exclusivamente del movimiento de la humedad interna de la carne.

Para la segunda prueba (figuras 26 a 28 del apéndice), puede apreciarse el mismo comportamiento gráfico que para la prueba número uno. Puede también verse claramente el período de calentamiento en las secciones AB de cada una de las gráficas, el que inicia en un tiempo cero con un porcentaje de humedad de 268.60 % base seca y finaliza en el tiempo 60 minutos con un porcentaje de humedad 238.88 % base seca. El período de velocidad constante está representado por las secciones BC de cada gráfica el cual inicia en el tiempo 1.0 horas con 238.88 % de humedad base seca y finaliza en el tiempo 4.50 horas con 74.04 % de humedad base seca, presentando entonces una duración total de 3.50 horas.

El período de velocidad decreciente se aprecia en las secciones CD de cada gráfica, el cual inicia en el tiempo 4.50 horas con 74.04 % de humedad base seca y finaliza en el tiempo 9.75 horas con 11.07 % humedad base seca, teniendo una duración de horas 5.25 horas.

Durante el proceso de deshidratación de la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) es posible determinar los diferentes periodos de desecación que indica la teoría, cada uno de ellos claramente diferenciado en el comportamiento gráfico.

6. BALANCE DE MASA EN EL SECADOR

Se realizaron dos balances de masa en el secador en función de las pruebas de secado de carne de lombriz realizadas en el mismo. La primera prueba constó de una carga de 4.70 Kg iniciales de carne húmeda. Durante el proceso de secado, se determinó que el peso final de la carne deshidratada fue de 1.42 Kg, lo que representa un 95.67% de eficiencia en el proceso de deshidratación. La segunda prueba constó de una carga de 5.21 Kg de iniciales de carne húmeda, obteniendo al final del proceso de secado 1.57 Kg de carne deshidratada lo que representa un 95.79 % de eficiencia.

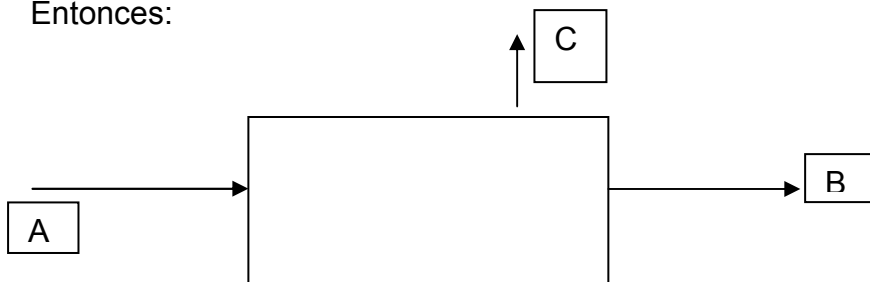
6.1 Balance de masa para la primera prueba

Base de cálculo: 1 Kg de carne de lombriz

Ecuación básica del balance de masa:

$$\text{Lo que entra} = \text{Lo que sale}$$

Entonces:



En donde:

A= peso de la carne de lombriz húmeda

B= peso de la carne de lombriz deshidratada

C= agua evaporada

Estableciendo la ecuación de balance se tiene:

$$A = B + C$$

Se sabe que $B = 30.21\% A$, entonces por diferencia

$$C = 69.79\% A$$

Sustituyendo valores:

$$A = 30.21\% A + 69.79\% A$$

$$1 \text{ Kg} = 30.21\%(1 \text{ Kg}) + 69.79\%(1 \text{ Kg})$$

$$1 \text{ Kg} = 0.3021 \text{ Kg} + 0.6979 \text{ Kg}$$

$$1 \text{ Kg} = 1 \text{ Kg}$$

Con esto, queda determinado que para esta corrida, la cantidad de lombriz seca que se produce en el secador a partir de 1 Kg de carne de lombriz húmeda es de 0.3021 Kg (302.10 g) y la cantidad de agua que se evapora de la carne durante el proceso de secado es de 0.6979 Kg (697.90 g), lo que representa una eficiencia del 95.62% en el proceso de deshidratación de la carne.

Para los datos de la corrida realizada se tiene:

$$A = B + C$$

$$4.70 \text{ Kg} = 1.42 \text{ Kg} + C$$

$$C = 3.28 \text{ Kg}$$

Entonces, durante el proceso de secado de ésta prueba, se evaporó un total de 3.28 Kg de agua y se obtuvo 1.42 Kg de carne deshidratada con un porcentaje de humedad de 11.66 % (base seca), a partir de los 4.70 Kg de carne húmeda iniciales.

6.2 Balance de masa para la segunda prueba

Tomando como base las mismas premisas que el balance anterior, se establece la siguiente ecuación:

$$A = B + C$$

De la prueba corrida se sabe que $B = 30.13 \% A$, entonces por diferencia,
 $C = 69.87 \% A$

Sustituyendo valores:

$$A = 30.13 \% A + 69.87 \% A$$

$$1 \text{ Kg} = 30.13 \% (1 \text{ Kg}) + 69.87 \% (1 \text{ Kg})$$

$$1 \text{ Kg} = 0.3013 \text{ Kg} + 0.6987 \text{ Kg}$$

$$1 \text{ Kg} = 1 \text{ Kg}$$

Con esto se determina que para la segunda corrida la cantidad de lombriz seca que se produce en el secador a partir de 1 Kg de carne de lombriz húmeda es de 0.3013 Kg (301.3 g) y la cantidad de agua que se evapora de la carne durante el proceso de secado es de 0.6987 Kg (698.70 g), lo que representa una eficiencia del 95.79% en el proceso de deshidratación de la carne.

Para los datos de esta segunda prueba se tiene:

$$A = B + C$$

$$5.21 \text{ Kg} = 1.57 \text{ Kg} + C$$

$$C = 3.64 \text{ Kg}$$

Entonces, durante el proceso de secado de esta prueba, se evaporó un total de 3.64 Kg de agua y se obtuvo 1.57 Kg de carne deshidratada con un porcentaje de humedad de 11.07 % (base seca), a partir de los 5.21 Kg de carne húmeda iniciales.

1. ANÁLISIS ECONÓMICO

7.1 Caso de compra de materia prima en el mercado local

Para realizar este estudio económico se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

- a) Costo de las lombrices: US\$ 7.00 / lb (US\$15.40 / Kg), dato obtenido en el lombricultivo en que se realizaron las pruebas. El inversionista se abastece de materia prima en el mercado guatemalteco
- b) Período de secado de las lombrices: 9.75 horas sol / tanda según pruebas realizadas
- c) Carga de carne por tanda: 5 Kg (capacidad máxima del secador)
- d) Tiempo total de producción de carne seca: 1 día de preparación de las lombrices más dos días de secado
- e) Depreciación de maquinaria y equipo: 20% anual
- f) Sueldo mínimo para empleados del campo: Q 39.67/día
- g) Por la sencillez del diseño del secador y su fácil operación se requiere solamente de un empleado para el manejo del mismo
- h) Tiempo de vida del proyecto: 5 años

7.1.1 Inversión inicial

La inversión inicial que deberá realizarse está representada por el costo total del secador solar el cual asciende a Q 1,616.76 (ver figura 12 del apéndice). Se asume que el inversionista cuenta con el suficiente capital para financiar al contado el equipo, por lo que no se hace necesario realizar ningún tipo de préstamo al banco.

7.1.2 Costo de materias primas

7.1.2.1 Costo de la materia prima directa

La tabla I, muestra el cálculo de la materia prima directa para el primer año de funcionamiento. Se consideró el uso de sal refinada grado alimenticio ya que es necesario sacrificar las lombrices antes de su utilización en el secador, esto se hace introduciendo las mismas en una solución salina al 4%.

Se consideró también una utilización del secador de dos veces por semana debido a que el tiempo total de producción de carne seca calculado anteriormente es de 3 días por tanda. Debido a las horas sol aprovechables del día, se estima que el secador solar operará efectivamente sólo un 60% del año aproximadamente, equivalentes a 7.2 meses ó 216 días ó 31 semanas, lo que representa 62 cargas anuales.

Tabla I. Cálculo del costo de la materia prima directa en abastecimiento en mercado nacional

| Materia prima | Unidad de medida | Costo unitario (Q) | Requerimiento semanal | Costo semanal (Q) | Costo anual (Q) |
|--------------------------------|------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|------------------|
| Lombriz Roja Californiana | Kg | 117.65* | 10 | 1,176.55 | 36,473.03 |
| Sal refinada grado alimenticio | Kg | 1.43 | 1.2 | 1.72 | 53.20 |
| Total | | | | | 36,526.23 |

*Tipo de cambio 1US\$ = Q 7.63993 válido para el 10,11 y 12 de marzo de 2006 según dato proporcionado por el Banco de Guatemala.

7.1.2.2 Costo de la materia prima indirecta

En este renglón se incluyen los servicios que se utilizarán para la producción de carne de lombriz deshidratada, siendo estos agua para el sacrificio y energía eléctrica para el funcionamiento del ventilador. La tabla II muestra el cálculo de la materia prima indirecta para el primer año de funcionamiento.

El costo del KWh de energía eléctrica fue proporcionado por la Empresa Eléctrica de Guatemala. El costo del metro cúbico de agua fue proporcionado por la Municipalidad de Guatemala en base al consumo y este costo aplica para toda la República. Los requerimientos de estas materias primas fueron calculados en base al consumo de energía eléctrica del motor del ventilador del secador y de la cantidad de agua requerida para el lavado de las lombrices.

Tabla II. Cálculo del costo de la materia prima indirecta en abastecimiento en mercado nacional

| Materia prima | Unidad de medida | Costo por unidad (Q) | Requerimiento semanal | Costo por semana (Q) | Costo anual (Q) |
|-------------------|------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| Energía eléctrica | KWh | 1.42 | 14 | 19.88 | 616.28 |
| Agua | m ³ | 1.76 | 0.03 | 0.053 | 1.64 |
| Total | | | | | 617.92 |

7.1.3 Mano de obra

La tabla III muestra el cálculo de la mano de obra directa para el primer año de labores. Para el funcionamiento del secador se requerirá solamente de un operario quien deberá llevar a cabo los procesos de sacrificio de las lombrices, operación del secador para deshidratación de la carne y limpieza del equipo.

Tabla III. Cálculo del costo de la mano de obra directa en abastecimiento en mercado nacional

| Mano de obra directa | Cantidad | Costo por día (Q) | Costo por semana (Q) | Costo anual (Q) |
|----------------------|----------|-------------------|----------------------|------------------|
| Operario | 1 | 54.61* | 382.27 | 11,850.37 |
| Total | | | | 11,850.37 |

* El costo por día se calculó en base al sueldo mínimo por trabajo en el campo de Q 39.67 / día más Q 14.94/ día que incluyen proporcionalmente el bono 14, el aguinaldo, la indemnización y por aparte la bonificación de ley de Q 250.00 / mes.

7.1.4 Depreciación

Para esta partida se toma la depreciación lineal anual del costo del secador en 5 años de operación, sin valor de rescate. La tabla IV muestra el cálculo de la depreciación anual.

Tabla IV. Cálculo de la depreciación anual en abastecimiento en mercado nacional

| Rubro | Inversión (Q) | % Depreciación | Años | Depreciación anual (Q) |
|----------------------------|---------------|----------------|------|------------------------|
| Maquinaria (secador solar) | 1,616.76 | 20 | 5 | 323.35 |
| Total | | | | 323.35 |

7.1.5 Determinación del precio de venta

El precio durante del primer año de labores se determinó en base al costo total unitario más un 30% de utilidad.

Con esto, se determinó que para el caso de compra de la materia prima (lombrices) en el mercado local, el precio de venta para el primer año de labores debe ser de Q 684.83 / kilogramo de carne deshidratada, suponiendo que la totalidad de la producción se vende durante el año. La tabla V muestra el cálculo del precio de venta para el primer año.

Tabla V. Cálculo del precio de venta para el primer año de operaciones en abastecimiento en mercado nacional

| Rubro | Costos anuales (Q) |
|-------------------------------|--------------------|
| Costos directos | |
| Materia prima directa | 36.526.23 |
| Mano de obra directa | 11,850.37 |
| Total costos directos | 48,376.60 |
| Gastos generales | |
| Materia prima indirecta | 617.92 |
| Total gastos generales | 617.92 |
| Depreciación | 323.35 |
| Costo total | 49,317.87 |
| Ventas anuales en Kg | 93.62 |
| Costo unitario por Kg | 526.79 |
| % de utilidad sobre el costo | 30% |
| Precio de venta por Kg | 684.83 |

7.2 Caso de autoabastecimiento de materia prima

Para realizar este estudio económico se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

- a) El inversionista posee su propio cultivo de lombrices en su casa o granja y las alimenta exclusivamente con desechos orgánicos
- b) El inversionista se autoabastece de carne de lombriz de su propio cultivo y él mismo maneja el equipo
- c) Costo de las lombrices: US\$ 7.70 / Kg, asumiendo que como se trata de autoabastecimiento el costo de las lombrices es la mitad del precio del mercado (US\$ 15.40 / Kg)

- d) Depreciación de maquinaria y equipo: 20% anual
- e) Sueldo mínimo para empleados del campo: Q 39.67/día
- f) Tiempo de vida del proyecto: 5 años

7.2.1 Inversión inicial

La inversión inicial que deberá realizarse está representada por el costo total del secador solar. Para este caso, el inversionista construirá un nuevo secador conservando el diseño propuesto en este estudio, pero sustituyendo el aluminio y el hierro utilizados por parales de madera y el plexiglas por nylon transparente. El diseño conserva el ventilador para provocar la convección forzada. El precio aproximado de este nuevo secador es de Q 400.00. Se asume que el inversionista cuenta con el suficiente capital para financiar al contado el equipo, por lo que no se hace necesario realizar ningún tipo de préstamo al banco.

1.2.2 Costo de materias primas

7.2.2.1 Costo de la materia prima directa

La tabla VI muestra el cálculo de la materia prima directa para el primer año de funcionamiento. Al igual que en el caso anterior se consideró el uso de sal para el sacrificio de las lombrices.

Se consideró que inversionista se autoabastece de lombriz de su cultivo. Como se trata de un cultivo casero pequeño, se asumió la utilización del secador únicamente una vez cada quince días por razones de disponibilidad de lombrices. Aquí también se estima una operación efectiva del secador del 60% del año, lo que representa 31 semanas equivalentes a 15.5 cargas anuales.

Tabla VI. Cálculo del costo de la materia prima directa en autoabastecimiento

| Materia prima | Unidad de medida | Costo unitario (Q) | Requerimiento quincenal | Costo quincenal (Q) | Costo anual (Q) |
|--------------------------------|------------------|--------------------|-------------------------|---------------------|-----------------|
| Lombriz Roja Californiana | Kg | 58.83 | 5 | 294.14 | 4,559.17 |
| Sal refinada grado alimenticio | Kg | 1.43 | 0.3 | 0.43 | 6.66 |
| Total | | | | | 4,565.83 |

7.2.2.2 Costo de la materia prima indirecta

Aquí se incluyen los servicios que se utilizarán para la producción de carne deshidratada, siendo estos los mismos que en el caso anterior: agua y energía eléctrica. La tabla VII muestra el cálculo de la materia prima directa para el primer año de funcionamiento.

Tabla VII. Cálculo del costo de la materia prima indirecta en autoabastecimiento

| Materia prima | Unidad de medida | Costo por unidad (Q) | Requerimiento quincenal | Costo por quincena (Q) | Costo anual (Q) |
|-------------------|------------------|----------------------|-------------------------|------------------------|-----------------|
| Energía eléctrica | KWh | 1.42 | 7 | 9.94 | 154.07 |
| Agua | m ³ | 1.76 | 0.015 | 0.026 | 0.41 |
| Total | | | | | 154.48 |

1.2.3 Mano de obra

Para este caso se considera el pago de mano de obra según el tiempo que el inversionista ocupará cuidando diariamente el lombricultivo y la operación del secador. Este tiempo se estima en 30 minutos diarios, lo que implica 15 horas al mes de trabajo para el lombricultivo. La tabla VIII muestra el cálculo de la mano de obra, en la que no se toma en cuenta gastos adicionales como bono 14, aguinaldo ni indemnización por tratarse de un negocio propio.

Tabla VIII. Cálculo de la mano de obra directa en autoabastecimiento

| Mano de obra directa | Cantidad | Costo por día (Q) | Costo por semana (Q) | Costo anual (Q) |
|----------------------|----------|-------------------|----------------------|-----------------|
| Inversionista | 1 | 2.48* | 17.36 | 538.16 |
| Total | | | | 538.16 |

*El costo de la mano de obra por día es de Q 39.67/día o sea Q 4.96 / hr lo que implica Q 2.48 / media hora de trabajo diario.

7.2.4 Depreciación

Para esta partida se toma la depreciación anual lineal del costo del nuevo secador en 5 años de operación, sin valor de rescate. La tabla IX muestra el cálculo de la depreciación anual.

Tabla IX. Cálculo de la depreciación anual en autoabastecimiento

| Rubro | Inversión (Q) | Depreciación (%) | Años | Depreciación anual (Q) |
|---------------|------------------|---------------------|------|---------------------------|
| Secador solar | 400.00 | 20 | 5 | 80.00 |
| Total | | | | 80.00 |

7.2.5 Determinación del costo de producción

Se determinó que para el caso de autoabastecimiento, el costo para el primer año de funcionamiento debe de ser de Q 228.14 / Kg de carne deshidratada, suponiendo que la totalidad de la producción se autoconsume durante el año. La tabla X muestra el cálculo del costo para el primer año.

Tabla X. Cálculo del costo para el primer año de operaciones en autoabastecimiento

| Rubro | Costos anuales (Q) |
|-------------------------------|--------------------|
| Costos directos | |
| Materia prima directa | 4,565.83 |
| Mano de obra directa | 538.16 |
| Total costos directos | 5,103.99 |
| Gastos generales | |
| Materia prima indirecta | 154.48 |
| Total gastos generales | 154.48 |
| Depreciación | 80.00 |
| Costo total | 5,338.47 |
| Producción anual en Kg | 23.40 |
| Costo unitario por Kg | 228.14 |

7.3 Caso industrialización del secador

Para realizar este estudio económico se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

- a) El proceso de secado se industrializa por medio de la utilización de 10 secadores simultáneamente
- b) Un mismo empleado operará los diez secadores, ya que debido al tiempo de preparación de las lombrices y de operación de cada secador por lote de producción se considera que este el número máximo de secadores que él puede operar de forma simultánea
- c) Depreciación de maquinaria y equipo: 20% anual
- d) Sueldo mínimo para empleados del campo: Q 39.67 / día
- e) Tiempo de vida del proyecto 5 años

- f) El inversionista se abastece de materia prima del mercado local pero obtiene un descuento del 25% en el precio de la lombriz debido a la compra por volumen
- g) Costo de las lombrices: US\$ 11.55 / Kg

7.3.1 Inversión inicial

La inversión inicial que deberá realizarse para este caso está representada por el costo total de los 10 secadores. Si el valor del secador construido es de Q 1,616.76, entonces diez secadores tendrán un valor de Q 16,167.60. Se asume que el/los inversionistas cuentan con suficiente capital para financiar al contado el equipo, por lo que no se hace necesario realizar ningún tipo de préstamo al banco.

7.3.2 Costo de materias primas

7.3.2.1 Costo de la materia prima directa

La tabal XI muestra el cálculo de la materia prima directa para el primer año de operaciones. En ella, se consideró la operación de los secadores durante 31 semanas al año con dos cargas semanales cada uno lo que representa 20 cargas semanales y 620 cargas anuales.

Tabla XI. Cálculo del costo de la materia prima directa en industrialización

| Materia prima | Unidad de medida | Costo unitario (Q) | Requerimiento semanal | Costo semanal (Q) | Costo anual (Q) |
|--------------------------------|------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|
| Lombriz Roja Californiana | Kg | 88.24* | 100 | 8,824.00 | 273,544.00 |
| Sal refinada grado alimenticio | Kg | 1.43 | 12 | 17.16 | 531.96 |
| Total | | | | | 274,075.96 |

*Tipo de cambio 1US\$ = Q 7.63993 válido para el 10,11 y 12 de marzo de 2006 según dato proporcionado por el Banco de Guatemala.

7.3.2.2 Costo de la materia prima indirecta

La tabla XII muestra el cálculo de la materia prima indirecta para el primer año de funcionamiento.

Tabla XII. Cálculo del costo de la materia prima indirecta en industrialización

| Materia prima | Unidad de medida | Costo por unidad (Q) | Requerimiento semanal | Costo por semana (Q) | Costo anual (Q) |
|-------------------|------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------|
| Energía eléctrica | KWh | 1.42 | 140 | 198.80 | 6,162.80 |
| Agua | m ³ | 1.76 | 0.3 | 0.53 | 5.30 |
| Total | | | | | 6,168.10 |

7.3.3 Mano de obra

El costo de la mano de obra para este caso es el mismo que para el primer caso ya que se contratará un operador que opere los diez secadores simultáneamente. La tabla XIII muestra el cálculo de la mano de obra.

Tabla XIII. Cálculo de la mano de obra directa en industrialización

| Mano de obra directa | Cantidad | Costo por día (Q) | Costo por semana (Q) | Costo anual (Q) |
|----------------------|----------|-------------------|----------------------|------------------|
| Operario | 1 | 54.61* | 382.27 | 11,850.37 |
| Total | | | | 11,850.37 |

* El costo por día se calculó en base al sueldo mínimo por trabajo en el campo de Q 39.67 / día más Q 14.94/ día que incluyen proporcionalmente el bono 14, el aguinaldo, la indemnización y por aparte la bonificación de ley de Q 250.00 / mes.

7.3.4 Depreciación

Para esta partida se toma la depreciación lineal anual del costo del secador en 5 años de operación, sin valor de rescate. La tabla XIV muestra el cálculo de la depreciación anual.

Tabla XIV. Cálculo de la depreciación anual en industrialización

| Rubro | Inversión (Q) | % Depreciación | Años | Depreciación anual (Q) |
|-----------------------------------|---------------|----------------|------|------------------------|
| Maquinaria (10 secadores solares) | 16,167.60 | 20 | 5 | 3,233.52 |
| Total | | | | 3,233.52 |

7.3.5 Determinación del precio de venta

Al igual que en los casos anteriores, el precio durante del primer año de labores se determinó en base al costo total unitario más un 30% de utilidad.

Con esto, se determinó que para este caso, el precio de venta para el primer año de labores debe ser de Q 410.08 / kilogramo de carne deshidratada, suponiendo que la totalidad de la producción se vende durante el año. La tabla XV muestra el cálculo del precio de venta para el primer año.

Tabla XV. Cálculo del precio de venta para el primer año de operaciones en industrialización

| Rubro | Costos anuales (Q) |
|-------------------------------|--------------------|
| Costos directos | |
| Materia prima directa | 274,075.96 |
| Mano de obra directa | 11,850.37 |
| Total costos directos | 285,926.33 |
| Gastos generales | |
| Materia prima indirecta | 6,168.10 |
| Total gastos generales | 6,168.10 |
| Depreciación | 3,233.52 |
| Costo total | 295,327.95 |
| Ventas anuales en Kg | 936.20 |
| Costo unitario por Kg | 315.45 |
| % de utilidad sobre el costo | 30% |
| Precio de venta por Kg | 410.08 |

La tabla XVI muestra un resumen de los datos obtenidos en los análisis:

Tabla XVI. Resumen de datos obtenidos en los análisis económicos realizados

| CASO | COSTO DE LA CARNE DESHIDRATADA (Q) | PRECIO DE VENTA CARNE (Q) |
|--|--|---------------------------------|
| Abastecimiento en el mercado local | 526.79 | 684.83 |
| Autoabastecimiento para autoconsumo | 228.14 | - |
| Industrialización del secador | 315.45 | 410.08 |

2. ACEPTABILIDAD DEL PRODUCTO

La realización del presente estudio incluye la evaluación de la aceptación entre los guatemaltecos de la carne deshidratada de lombriz Roja Californiana como posible fuente de proteínas, aminoácidos y ácidos grasos esenciales, agregando ésta, en las dosis adecuadas, en los alimentos que los humanos consumen diariamente.

Para esto, se realizó un sondeo por medio de una encuesta diseñada especialmente para conocer la opinión a este respecto de la población objetivo. En este caso, la población objetivo se trataba de cualquier persona que sepa leer y escribir y que sea mayor de edad, ya que el objetivo principal era conocer la opinión general sobre la aceptación del producto, por lo que no se tomaron en cuenta aspectos como sexo, etnia, religión, nivel de escolaridad, posición socioeconómica ni lugar de residencia de la población para realizar el sondeo. La figura 29 del apéndice muestra la encuesta realizada.

El sondeo se efectuó con 40 personas en total, 16 hombres y 24 mujeres, todos mayores de edad, de distintos grados de escolaridad que van desde escolaridad mínima hasta profesionales, y de diferentes lugares de residencia alrededor de Guatemala, por ejemplo, se entrevistó personas residentes en la ciudad capital, en Santa Rosa, Alta Verapaz e Izabal. La tabulación de los datos obtenidos se presenta en la figura 30 del apéndice.

Según los datos obtenidos, se puede observar que un 60% de los entrevistados conoce que existe el cultivo de la lombriz Roja Californiana, pero un 58% no conoce de los beneficios de este cultivo y un 63% no conoce sobre las propiedades nutricionales de la carne de lombriz. De los entrevistados, un 58% afirma conocer que la carne de lombriz es una fuente de proteínas, pero nadie conoce que contiene todos los aminoácidos y ácidos grasos esenciales.

Tan sólo un 40% de los entrevistados conoce que en otros países los concentrados para animales se fortifican con harina de lombriz y un 30% afirma saber que existen cápsulas de proteína de lombriz para consumo humano. Un 40% dice conocer que otras culturas alrededor del mundo consumen dentro de sus dietas alimenticias carne de lombriz.

Con respecto a la posible intención de consumo de la carne dentro de la dieta alimenticia en los guatemaltecos, un 45% de afirma que estaría dispuesto a comerla mientras que un 55% se negó al consumo.

La principal razón que las personas dieron para consumir esta carne fue su alto valor nutricional, mientras que la principal razón para rechazarla fue la falta de información sobre las cualidades nutricionales de esta carne y la falta de costumbre de incluir este tipo de animal dentro de la dieta diaria.

Las figuras 31 y 32 de apéndice muestran gráficamente las respuestas de los entrevistados en relación a las preguntas sobre el conocimiento de la lombriz Roja Californiana y sobre su disposición a incluir carne de lombriz dentro de su dieta alimenticia diaria.

9. RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN

9.1 Estudio climatológico de la República de Guatemala

Guatemala es un país que dentro de su extensión territorial cuenta con una diversidad de climas y condiciones que favorecen una amplia gama de siembras y cultivos en las diferentes regiones. Esto puede confirmarse consultado los diferentes boletines informativos de las condiciones climatológicas que publica el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), en los que puede encontrarse información sobre las diferentes condiciones climatológicas como lo son: temperaturas máximas y mínimas, temperatura promedio, precipitación pluvial, velocidad del viento, temperatura absoluta, brillo solar y evaporación del agua, captadas en las diferentes estaciones meteorológicas ubicadas en distintas regiones del país.

Puede entonces afirmarse que actualmente en Guatemala se cuenta con suficiente información de las condiciones climatológicas del país tanto de datos actuales como datos estadísticos, la cual es de suma importancia para llevar a cabo cualquier tipo de proyecto, especialmente cuando involucra a la agricultura y así obtener los mejores resultados en los cultivos.

Para el caso en especial de un proyecto de secado solar es muy importante conocer las condiciones climatológicas que imperan en el área seleccionada, ya que la eficiencia del proceso de secado dependerá en gran porcentaje de condiciones tales como temperatura de la región, brillo solar, humedad relativa y precipitación pluvial anual.

Tomando en cuenta esto, para la realización del presente estudio se revisaron las condiciones climatológicas actuales y estadísticas de los diferentes departamentos de Guatemala proporcionadas en los boletines del INSIVUMEH, hallando que nuestro país cuenta con muchas regiones que reúnen las condiciones para realizar proyectos de desecación. Dentro de las regiones óptimas se encuentran los departamentos de Zacapa, Chiquimula, Escuintla, El Progreso, Santa Rosa y el municipio de Amatitlán en el departamento de Guatemala, ya que ellos cuentan con temperaturas altas la mayor parte del año, una precipitación pluvial y humedad relativa menor que otras regiones y un brillo solar, o sea horas sol al día, mayor que en otras áreas del país.

Dentro de los departamentos seleccionados, se eligió el departamento de Santa Rosa por las siguientes razones: condiciones climatológicas adecuadas, cercanía a la ciudad capital como posible punto de distribución del producto final obtenido y disponibilidad de materia prima para la realización del proyecto.

9.2 Disponibilidad de materia prima

Para llevar a cabo un proyecto de secado de carne de lombriz es necesario conocer la disponibilidad de la misma en el país. Para esto, inicialmente se recurrió a consultar entidades estatales que están en contacto directo con los diferentes tipos de cultivos como lo son el Departamento de Estadística del Banco de Guatemala, el Instituto Nacional de Estadística, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación y el Ministerio de Economía, pero ninguna de estas entidades cuenta con información sobre los lombricultivos en Guatemala.

Entonces, se procedió a consultar con la Asociación Nacional del Café debido a que esta asociación está promoviendo los lombricultivos como una solución al problema de contaminación ambiental que provoca la pulpa del café, como una fuente secundaria de ingresos con la producción de humus de lombriz para abono orgánico y como una fuente para mejorar la calidad de los cafetos en las plantaciones debido a las propiedades nutricionales del humus.

Por medio de ANACAFE se obtuvo la información de 40 lombricultores ubicados en toda Guatemala, con quienes se consultó telefónicamente.

El resultado de esta consulta es que en Guatemala no se cuenta con suficiente disponibilidad de lombrices, ya que la mayoría de los lombricultores tienen solamente pequeños lombricultivos y, por consiguiente, poca cantidad de lombrices, que utilizan únicamente para la conversión de pulpa de café de sus granjas y el estiércol de sus animales a humus de lombriz.

También se determinó que actualmente en Guatemala las lombrices son utilizadas únicamente para la producción de humus como abono orgánico y su carne no está siendo aprovechada como una fuente alternativa de proteína.

En los departamentos de Alta Verapaz, Quetzaltenango y Santa Rosa sí existen algunos lombricultivos a escala semi-industrial e industrial, en los que también se dedican a la producción de humus de lombriz como abono orgánico que es vendido dentro del mismo territorio nacional. La fuente de alimentación de las lombrices es principalmente pulpa de café aunque también les proporcionan una mezcla de pulpa con estiércol. En ninguno de estos cultivos se tiene pensado utilizar la lombriz como fuente de carne.

En Guatemala existe mucho potencial de desarrollo para el cultivo de la lombriz Roja Californiana como fuente de descontaminación ambiental, ya que ella consume cualquier tipo de desecho orgánico, con lo que nuestro país se vería grandemente beneficiado no solo en el tema ambiental sino también con la producción de carne como fuente de proteína y aminoácidos. Lo que hace falta es establecer por parte de entidades gubernamentales y privadas programas de información e incentivos para promover este tipo de cultivo.

La materia prima necesaria para la realización del presente estudio se obtuvo de la empresa Lombrifert S.A. ubicada en el departamento de Santa Rosa, lugar que fue seleccionado en el estudio climatológico y en donde se corrió la prueba de secado utilizando el secador solar construido.

9.3 Diseño y construcción del secador

El objetivo principal para la realización de este estudio fue la construcción de un secador solar pequeño pero eficiente que pudiera ser trasladado de un lugar a otro sin dificultad y de manejo muy fácil para que pudiera ser utilizado por personas de escolaridad mínima. Esto, pensando en favorecer a comunidades de agricultores que tengan lombricultivos pequeños que puedan darle un valor agregado a su producto por medio de la venta de carne deshidratada de lombriz utilizando este secador.

La idea es que en una comunidad, varios lombricultores inviertan en un mismo secador que esté al servicio de todos, con lo que la inversión inicial a realizar sería mínima y los beneficios económicos a obtener serían muy favorables. El secador podría ser trasladado de un lugar a otro sin ninguna dificultad previa calendarización de las actividades de cada uno.

Por tales razones, se incluyó dentro de los criterios de diseño del secador que los materiales de construcción fueran livianos para transportar el secador de un lugar a otro pero al mismo tiempo resistentes para que aguantaran ese tipo de manejo. También se pensó en que los materiales fueran de fácil adquisición en cualquier región del país.

Otro aspecto muy importante es la fácil operación del secador para garantizar que el mismo podrá ser puesto en marcha por personas sin mayor nivel educacional.

También se consideró que la mayoría de los agricultores del interior cuentan con *pick ups* palangana corta para la movilización de sus productos, por lo que este mismo transporte sería el utilizado para el traslado del secador. Con esto se diseñó un secador pequeño de acuerdo a las palanganas de los *pick ups* pero que al mismo tiempo tuviera una capacidad de carga que fuera económicamente rentable para el usuario, que en este caso representa por lo menos 5 Kg de carne de lombriz.

Un criterio técnico tomado en cuenta para el diseño del secador fue el alto contenido de humedad de la carne de lombriz (90% aproximadamente), por lo que se eligió diseñar un secador solar directo con convección forzada facilitando así el proceso de secado ya que la superficie captadora del calor sería la misma carne de lombriz debido a la exposición directa a la radiación solar y la rápida eliminación del aire húmedo de la cámara de secado con la ayuda de un ventilador (figura 16 del apéndice).

Los materiales de construcción elegidos se considera que son económicos y de fácil adquisición en cualquier región del país. Para la construcción de este secador solar la única mano de obra necesaria es la de un herrero, que también se encuentran disponibles en todo el país.

Para la realización de este estudio se contó con la ayuda de una balanza electrónica digital para determinar las variaciones en el peso de la carne de lombriz a lo largo del proceso de secado, datos que después servirían para la elaboración de las curvas de secado de la carne por medio de un estudio científico de los mismos. Se considera que si se realizan más pruebas de secado y se logra establecer un patrón de comportamiento, puede entonces determinarse con facilidad el tiempo óptimo de secado para cualquier cantidad de carne sin necesidad de estar tomando datos de peso. Con esto, no sería necesario que los usuarios del secador contaran con una balanza, solamente necesitarían una capacitación inicial para el manejo del mismo.

9.4 Curvas de secado de la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*)

Para elaborar las curvas de secado de la carne de lombriz Roja Californiana se realizaron dos pruebas de secado con el secador solar construido (ver figura 20 del apéndice). Esta prueba consistió en colocar carne de lombriz dentro del secador y ubicar éste en un punto al aire libre donde la radiación solar incidiera directamente sobre el mismo, provocando la absorción de calor solar por parte de la carne de lombriz eliminando así el agua presente en la misma por evaporación. No se permitió la condensación del agua dentro de la cámara de secado debido al uso del ventilador que provocaba la convección forzada eliminando inmediatamente todo el aire húmedo dentro de dicha cámara.

Para la primera prueba se cargaron inicialmente 4.70 Kg de carne de lombriz húmeda y se obtuvieron 1.42 Kg de lombriz deshidratada con un contenido de humedad de 11.66 % base seca, con lo que se tiene una eficiencia de 95.67 % en el proceso de deshidratación. El tiempo total de secado de la carne fue de 9.75 horas sol.

Para la segunda corrida se cargaron en el secador 5.21 Kg de carne húmeda y se obtuvieron 1.57 Kg de carne deshidratada con un contenido de humedad de 11.07 % base seca, con lo que para esta corrida se tiene una eficiencia de 95.79 % en la deshidratación. Al igual que en la prueba anterior, el tiempo total de secado fue de 9.75 horas sol.

Durante el proceso de secado se fueron tomando cada 15 minutos las variaciones en el peso de la carne y el proceso finalizó cuando se consiguieron tres datos consecutivos que no presentaran variación en el peso. Estos datos de peso obtenidos fueron convertidos posteriormente a porcentaje de humedad base seca, tomando como base el dato de humedad final de 10.44% y 9.97 % respectivamente, obtenidos por medio de análisis en un laboratorio (figuras 38 y 39 del anexo).

Con estos datos (figuras 21 y 22 del apéndice) se procedió a graficar el contenido de humedad base seca de la carne en función del tiempo (figuras 23 y 26 del apéndice), la velocidad de desecación de la carne en función del contenido de humedad base seca (figuras 24 y 27 del apéndice) y la velocidad de desecación de la carne en función del tiempo (figuras 25 y 28 del apéndice).

Con respecto a la primera prueba, la sección AB de las gráficas (figuras 23, 24 y 25), que representa el período de calentamiento de la carne, duró una hora (10% del tiempo total del proceso) en la que la temperatura de la misma aumentó de 38°C a 43°C. En este lapso, el porcentaje de humedad pasó de 269.57% base seca a 239.69% base seca y la velocidad de secado pasó de 0 a 0.60 Kg/h.

En relación al tiempo total de secado, esta fase de calentamiento es corta y su impacto sobre el contenido de humedad de la carne es bajo (sólo 11.6% de la humedad total a evaporar). Este comportamiento se ajusta adecuadamente al comportamiento teórico indicado (10).

La sección BC que representa el período de velocidad constante de desecación de la carne es claramente apreciable en las gráficas b y c (figuras 24 y 25). Durante este período el porcentaje de humedad de la carne descendió drásticamente en un lapso de 3.5 horas (35% del tiempo total del proceso) reduciéndose de 239.6% base seca a 74.56% base seca (64% del total de la humedad a evaporar), tiempo durante el cual la velocidad de desecación permaneció constante en 0.60 Kg/h.

El valor de 74.56% de humedad base seca que se alcanza al finalizar el período de velocidad constante de desecación es considerado como el contenido crítico de humedad, ya que es a partir de este punto en que la velocidad de desecación deja de ser constante y se vuelve decreciente, originando la sección CD de las gráficas, tal como se muestra en las gráficas b y c (figuras 24 y 25).

Aquí los cambios en el contenido de humedad son pequeños a lo largo del tiempo y no se presenta un cambio dramático del contenido de humedad pues pasa de 74.56% a 11.66% base seca (24.4% de la humedad total a evaporar) en un lapso de tiempo mayor que en cualquiera de las dos fases anteriores (5.25 horas equivalentes a 53.8% del tiempo total del proceso). La velocidad se redujo de 0.60 Kg/h a 0 Kg/h.

Estos datos se consideran normales dado que luego de superar el punto crítico de humedad la superficie de evaporación se vuelve insaturada, esto significa que el punto de evaporación se desplaza dentro de la carne y la velocidad de desecación ahora está regida por la velocidad del movimiento interno de la humedad contenida dentro de la misma. Debido a que a partir de este punto se está manejando un contenido reducido de humedad, era de esperar que este período predomine en la determinación del tiempo total de la desecación ya que éste toma más de la mitad del tiempo total del proceso.

Los datos obtenidos para la segunda prueba fueron analizados de igual manera que se hizo para la primera prueba, obteniendo resultados muy similares en el comportamiento gráfico del proceso de deshidratación, tal como puede apreciarse en las figuras 26, 27 y 28 del apéndice.

De todo el análisis realizado se concluye que el comportamiento de desecación de la carne de lombriz Roja Californiana es similar al comportamiento teórico para sólidos, por lo que se pudo obtener con facilidad los diferentes períodos de desecación (10).

9.5 Balance de masa en el secador

Para realizar los balances de masa dentro del secador solar se tomó como base los datos obtenidos durante las pruebas de secado. Para la primera prueba, inicialmente se cargaron al secador 4.70 Kg de carne fresca y se obtuvieron luego de la desecación 1.42 Kg de carne deshidratada con un porcentaje de humedad del 11.66% base seca, dando como resultado una eficiencia del 95.67% en el proceso de secado.

Para la segunda prueba se cargaron en el secador 5.21 Kg de carne fresca y después del proceso de secado se obtuvieron 1.57 Kg de carne deshidratada con un porcentaje de humedad de 11.07 % base seca, lo cual dio como resultado un 95.79 % de eficiencia durante dicho proceso.

Para ambos análisis se tomó como base de cálculo 1 Kg de carne y como caja negra la cámara de secado, siguiendo la ecuación básica del balance de masa que dice que lo que entra es igual a lo que sale y estableciendo que para el caso del secador solar entra carne fresca a la cámara de secado y salen carne deshidratada y vapor de agua.

Utilizando la media de los datos obtenidos se sabe entonces que por cada kilogramo de carne fresca que ingrese a la cámara de secado, se obtendrán 0.3017 Kg de carne deshidratada (301.70 g) y se evaporarán 0.6983 Kg de agua (698.30 g), en 9.75 horas sol de secado.

Estos resultados son de gran utilidad para saber anticipadamente la cantidad de carne deshidratada que se obtendrá por cada carga de carne fresca que se realice en el secador.

9.6 Análisis económico

En esta sección se realizaron tres análisis diferentes que representan situaciones distintas con las que puede enfrentarse el inversionista al momento de tomar la decisión de invertir en este proyecto. Como primer caso, se analizó que el inversionista utilice un solo secador y se provea de materia prima en el mercado local. Como segundo caso, se analizó que el inversionista posea su propio lombricultivo del cual se autoabastece de materia prima y al mismo tiempo también construye su propio secador solar con materiales mucho más baratos que el propuesto en este estudio. Por último, se analizó el caso en el que el inversionista tiene la oportunidad de industrializar el proceso de producción de carne deshidratada por medio de la utilización de 10 secadores simultáneamente, abasteciéndose de materia prima en el mercado local pero con un precio especial debido al consumo por volumen.

Para el caso de abastecimiento en el mercado local, se requiere de una inversión inicial de Q 1,616.76, valor que representa el costo del secador solar (ver figura 12 del apéndice). Todos los rubros de la inversión fueron establecidos mediante la compra de los materiales utilizados para la construcción del secador solar, mismos que fueron previamente cotizados y elegidos los costos menores. Se cuenta con la ventaja de que todos los materiales y la mano de obra necesarios se encuentran disponibles en el mercado local.

El precio de venta de la carne deshidratada se estableció en Q 684.83 según los datos que se presentan en la tabla V, ya que es con este precio que se optimizan las ganancias obtenidas por parte del inversionista.

Para el caso de autoabastecimiento, se necesita una inversión inicial de Q 400.00, valor que representa el costo de un secador solar construido con madera y nylon con fines de abaratar costos.

Para este caso, el inversionista consumirá la carne para seguridad alimentaria de su familia por lo que la misma no será vendida a terceros. Por tales razones, el precio de la carne está representado por el costo de la misma, siendo éste de Q228.14 / Kg, según los datos que se presentan en la tabla X.

Para el caso de industrialización, se necesita una inversión inicial de Q 16,167.60 para poner en funcionamiento 10 secadores de forma simultánea. Todos los secadores son iguales al propuesto en este estudio. El precio de venta del producto calculado bajo estas premisas es de Q 410.08 / Kg, según los datos presentados en la tabla XV.

Todos los análisis se basaron en un tiempo de vida útil del proyecto de 5 años, los cálculos se presentan para el primer año de operaciones del proyecto y para los tres casos se asumió que el inversionista cuenta con suficiente capital para invertir en el proyecto sin necesidad de realizar ningún préstamo bancario.

Para la realización de estos estudios, se hizo una comparación del precio en el mercado local del Kg de lombriz Roja Californiana viva con respecto al precio internacional de la misma, mediante el cual se pudo constatar que el valor de la lombriz en Guatemala (US\$ 15.40 / Kg) es menor al que presenta en otros países, cuya media es de US\$ 74.78 / kg. La figura 33 del apéndice muestra una tabla comparativa de precios en varios países del mundo del Kg de lombriz Roja Californiana viva.

También, se hizo un análisis del valor de la harina de lombriz en Brasil, encontrando que el valor medio de ésta es de US\$ 59.45 / Kg (Q 454.22 / Kg), esto con fines de obtener un patrón de comparación con los precios de venta de la carne deshidratada calculados en este estudio, ya que en Guatemala no se cuenta con un patrón de comparación local. La figura 34 del apéndice muestra el precio de venta de la harina de lombriz en Brasil de diferentes proveedores.

Para el caso de la utilización de un solo secador con abastecimiento en el mercado local, el precio de venta obtenido de Q 684.83 / Kg resulta alto comparado con el precio al que puede obtenerse la harina en el mercado internacional (50.77 % mayor), por lo que no se recomienda la realización del proyecto mediante la utilización de un solo secador.

La producción de carne deshidratada con autoabastecimiento de materia prima y autoconsumo del producto obtenido para seguridad alimentaria, resulta una muy buena opción en el mercado nacional, ya que el costo encontrado de Q 228.14 / Kg está por debajo del precio internacional de la harina, pero, para la realización de este proyecto se necesita que el inversionista cuente con su propio lombricultivo, por lo que actualmente esta opción aún no está disponible para muchas personas en Guatemala, pues esta actividad todavía es incipiente en el país. No obstante, se espera que en un futuro próximo esta rama de la agroindustria crezca con el apoyo de las autoridades privadas y estatales relacionadas.

Los resultados obtenidos en estos análisis económicos sugieren que es posible invertir en este tipo de negocio para el caso de la industrialización del proceso, ya que se obtuvo un precio de venta de Q 410.08 / Kg, el cual muy bien compite con el precio internacional de la harina de lombriz (Q454.22 / Kg).

La figura 35 del apéndice muestra algunos usos de la harina de lombriz que actualmente se le da en otros países.

9.7 Aceptabilidad del producto

Para concluir la presente investigación se determinó que era necesario conocer la opinión de la población guatemalteca con respecto al posible consumo de la carne de lombriz Roja Californiana dentro de su dieta alimenticia diaria, esto con la finalidad de establecer un posible mercado para la venta de la carne deshidratada producida.

Para esto se realizó un sondeo por medio de encuesta a 40 guatemaltecos, de los que interesaba saber si conocían la lombriz, sus beneficios, su consumo actual en otros países y si estarían dispuestos a consumirla de forma regular en su dieta diaria.

Para la obtención de la información solamente se tomó en cuenta que los entrevistados fueran mayores de edad y que supieran leer y escribir. No se tomó en cuenta su sexo, religión, etnia, nivel socioeconómico, nivel educacional o lugar de residencia.

Respecto al conocimiento de la lombriz Roja Californiana, 60% de los encuestados ya conoce sobre la existencia de la misma mientras que un 40% aún no sabe nada al respecto (ver figura 31 del apéndice).

Los resultados obtenidos con respecto a la intención de consumo fueron: 45% si la consumiría y 55% no la consumiría (ver figura 32 del apéndice). Los que apoyaron el consumo se basaron en su alto contenido de nutrientes mientras

que los que lo rechazaron alegaron no tener información sobre la lombriz y la falta de costumbre de consumir este tipo de alimentos.

Debido a que la lombriz se perfila como un paliativo a los problemas nutricionales que enfrenta actualmente nuestro país gracias a su alto contenido de proteínas (60 a 80%) con todos los aminoácidos esenciales, todos los ácidos grasos esenciales y un alto contenido de vitaminas y minerales, se considera que informando mejor a la población guatemalteca sobre los beneficios que se obtienen desde el cultivo hasta el consumo de la carne de lombriz (de forma imperceptible dentro de otros alimentos), ésta estaría dispuesta a incluirla dentro de su dieta alimenticia diaria.

CONCLUSIONES

1. Las mejores regiones en Guatemala para el establecimiento de proyectos de secado solar son los departamentos de El Progreso, Zacapa, Santa Rosa, Chiquimula y el municipio de Amatitlán en el departamento de Guatemala, considerando sus condiciones climatológicas tales como temperatura promedio, humedad relativa y precipitación pluvial anual.
2. Actualmente, los lombricultivos en Guatemala están enfocados exclusivamente para la producción de humus, por lo que en este momento no hay suficiente disponibilidad de lombriz para montar un proyecto de deshidratación de este tipo de carne.
3. Técnicamente es posible la construcción y puesta en marcha de un secador solar portátil destinado para la producción de carne deshidratada de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*), construyendo el mismo con aluminio y *plexiglas*, materiales accesibles en precio y disponibilidad inmediata.
4. El proceso de secado de la carne de lombriz Roja Californiana presenta características de pérdida de humedad, primero por evaporación de su superficie saturada (la cual tiene un área gradualmente decreciente en el tiempo) y por último cuando el agua se evapora en el interior del sólido.

5. Las curvas de secado obtenidas presentan claramente diferenciadas las etapas de calentamiento, velocidad constante y velocidad decreciente del proceso, lo cual demuestra que tanto el diseño como la construcción del secador solar portátil utilizado son correctos, pues la unidad opera de acuerdo a la teoría de secado de sólidos.
6. El rendimiento promedio de carne deshidratada utilizando el secador diseñado es de 30.17 % del peso inicial de carne fresca que ingresa al sistema.
7. Para la implementación del secador solar portátil propuesto se requiere de una inversión inicial de Q 1,616.76. Abasteciéndose de materia prima en el mercado local el precio de venta de la carne deshidratada es de Q 684.83 / Kg. Para autoabastecimiento con autoconsumo para seguridad alimentaria el costo de producción de carne deshidratada asciende a Q228.14 / Kg. En el caso de industrialización del secador el precio de venta del producto es de Q 410.08 / Kg.
8. Según los resultados de la encuesta de aceptación de carne de lombriz deshidratada como posible fuente de proteína, un 45% de los entrevistados sí estarían dispuestos a incluir este tipo de carne dentro de su dieta alimenticia diaria.

RECOMENDACIONES

1. Fomentar entre las asociaciones de agricultores y empresas privadas de Guatemala, el cultivo de la lombriz Roja Californiana, a fin de poder contar en un futuro cercano con suficiente materia prima necesaria para montar proyectos industriales de secado de carne de lombriz, especialmente en los departamentos de Chiquimula, Zacapa, El Progreso, Santa Rosa y el municipio de Amatitlán en el departamento de Guatemala.
2. Por medio del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, MAGA y del Ministerio de Educación, MINEDUC, se podría dar a conocer los beneficios nutricionales en cuanto a proteínas, aminoácidos, vitaminas y minerales que contiene la carne de lombriz y sus posibles formas de consumo, de manera que esta información pueda llegar a toda la población y así ir aumentando paulatinamente el porcentaje de aceptabilidad del consumo de este tipo de carne.
3. En los centros de investigación del país podrían realizarse estudios sobre la posibilidad de implementar carne deshidratada de lombriz en alimentos de consumo masivo tales como embutidos, tortillas, caramelos, etc.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. **Lombrices rojas.** <http://webs.montevideo.com.uy/bioagro/lrojas.htm>.
Febrero 2005.
2. **Técnicas y aplicaciones del cultivo de la lombriz roja californiana eisenia foetida.** <http://ingenieroambiental.com/informes/lombriz.htm>.
Febrero 2005.
3. **La lombriz, aliada del hombre.** <http://www.ciencialdia.univalle.edu.co>.
Febrero 2005.
4. **Manual de lombricultura.** <http://www.manualdelombricultura.com> Febrero 2005.
5. Wingrove, Alan y Robert Caret. **Química orgánica.** 7ed. México: Editorial Harla, 1989.
6. Devore, G y E. Muñoz Mena. **Química orgánica.** 1 ed. Español. México: Editorial Publicaciones Cultural S.A., 1969.
7. **Hambruna en Guatemala.** Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Dirección general de Investigación, 2002.
8. Encuesta nacional de salud materno infantil, informe resumido. Guatemala: INE, MSPAS,UVG,CDC, USAID, ASDI, APRESAL/UE, PNUD, UNICEF, FNUAP, POLICY II, CARE, 2003.
9. McCabe, Warren y otros. **Operaciones básicas de la ingeniería química.** 4 ed. México: Editorial McGraw Hill, 1993.
10. Perry, Robert y otros. **Manual del ingeniero químico.** 6 ed. México: Editorial Mc Graw Hill, 1992.
11. Treybal, Robert. **Operaciones de transferencia de masa.** 2 ed. México: Editorial McGraw Hill, 1993.
12. **Del diccionario de cubasolar.** <http://www.cubasolar.com>. Febrero de 2005.

13. INSIVUMEH. <http://www.insivumeh.gob.gt>. Enero de 2006.
14. Clavería, Lorena. Estudio de factibilidad para producir harina a partir de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) para ser utilizada en la elaboración de concentrados para animales en Guatemala. Tesis Ing. Quim. Guatemala: universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2005.
15. Reiner de Del Carmen, Nora. Guía para elaborar estudios de factibilidad. Tesis Lic. en admón. de empresas. Guatemala: universidad Francisco Marroquín, Facultad de Ciencias Económicas, 1984.
16. Farinha de minhoca. <http://www.promin.com.br>. Enero 2006.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Cartografía y análisis de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria en Guatemala.** Guatemala: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación y Programa Mundial de Alimentos /GSD Consultores, 2002.
2. Casares, Román. **Química de los alimentos.** España: Editorial SAETA, 1942.
3. Castillo, Alejandro. Evaluación bioeconómica del uso de la lombriz coqueta roja, *eisenia foetida*, como fuente proteica en la alimentación de pollo de engorde en etapa de iniciación, Escuintla. Tesis Lic. En CC Agr. Guatemala, universidad Rafael Landívar, Facultad de Ciencias y Humanidades, 2002.
4. **Composición bioquímica de la lombriz roja de California.** <http://www.humusina.com/cblrc.htm>. Octubre 2003.
5. **Diccionario enciclopédico ilustrado.** (Volúmenes I,II,III y IV). España: Editorial Ramón Sopena S.A., 1965.
6. Geankoplis, Christie. **Procesos de transporte y operaciones unitarias.** 2 ed. México: Compañía editorial Continental S.A. de C.V.,1995.
7. **Indicadores básicos de salud en Guatemala.** Guatemala: Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, 2001.
8. López, Marcos. Fabricación de harina de pescado con especies no comerciales en la pesca artesanal para fortificar harina de maíz. Tesis Ing. Quím. Guatemala: universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001.
9. **Valor nutritivo de la harina de lombriz.** <http://www.ugr.es>. Octubre 2003.
10. Ville, Claude. **Biología.** 7 ed. México: Editorial McGaw Hill, 1990.

APÉNDICE

Figura 12. Materiales utilizados para la construcción del secador solar y sus costos.

| MATERIAL | UNIDAD | CANTIDAD | COSTO UNITARIO (Q) | COSTO TOTAL (Q) |
|------------------------------------|-------------|----------|-----------------------|--------------------|
| Angular de aluminio 1"x1" | tubo de 6 m | 3 | 62.50 | 187.50 |
| Remaches aluminio 1/8"x 3/8" | ciento | 2 | 9.00 | 18.00 |
| Lámina galvanizada calibre 28 x 6' | Unidad | 1 | 36.95 | 36.95 |
| Tubo cuadrado 1" chapa 20 | tubo de 6 m | 2 | 36.73 | 73.46 |
| Silicone transparente | Unidad | 3 | 34.95 | 104.85 |
| Plexiglas 3 mm 4' x 8' | Unidad | 1 | 640.00 | 640.00 |
| Guata | yarda | 0.5 | 10.00 | 5.00 |
| Ventilador | Unidad | 1 | 101.00 | 101.00 |
| | | | Total materiales: | 1,166.76 |
| Mano de obra | trato | | | 450.00 |
| | | | Costo total secador: | 1,616.76 |

Figura 13. Proveedores de los materiales de construcción del secador solar.

| MATERIAL | PROVEEDOR | DIRECCIÓN | TELÉFONO |
|------------------------------------|-----------|------------------------------|-----------|
| Angular de aluminio 1"x1" | Inalvi | 4 calle 10-00 zona 11 | 2471 9388 |
| Remaches aluminio 1/8"x 3/8" | Inalvi | 4 calle 10-00 zona 11 | 2471 9388 |
| Lámina galvanizada calibre 28 x 6' | Distun | 20 calle 7-62 zona 1 | 2238 1381 |
| Tubo cuadrado 1" chapa 20 | Distun | 20 calle 7-62 zona 1 | 2238 1381 |
| Silicone transparente | Distun | 20 calle 7-62 zona 1 | 2238 1381 |
| Plexiglas 3 mm 4' x 8' | Alamsa | Avenida Petapa 25-25 zona 12 | |
| | | Cond. Liluca Bodega 7 | 2285 9616 |
| Guata | Modatelas | 6 avenida 9-27 zona 1 | 2238 3995 |
| Ventilador | CEF | 3 avenida 12-52 zona 1 | |

Figura 14. Esquema gráfico del diseño del secador solar por convección forzada cerrado.

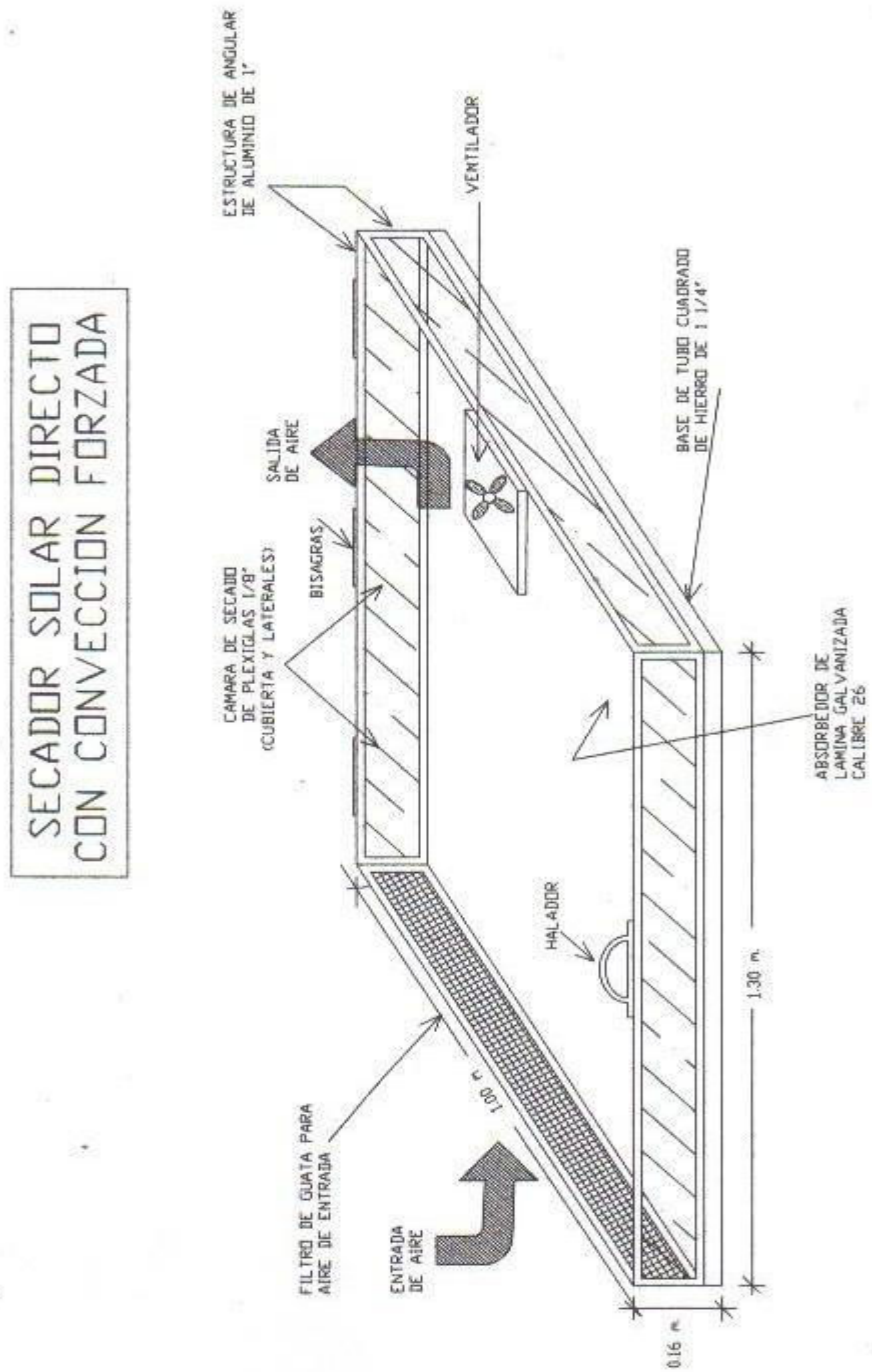


Figura 15. Esquema gráfico del diseño del secador solar por convección forzada abierto.

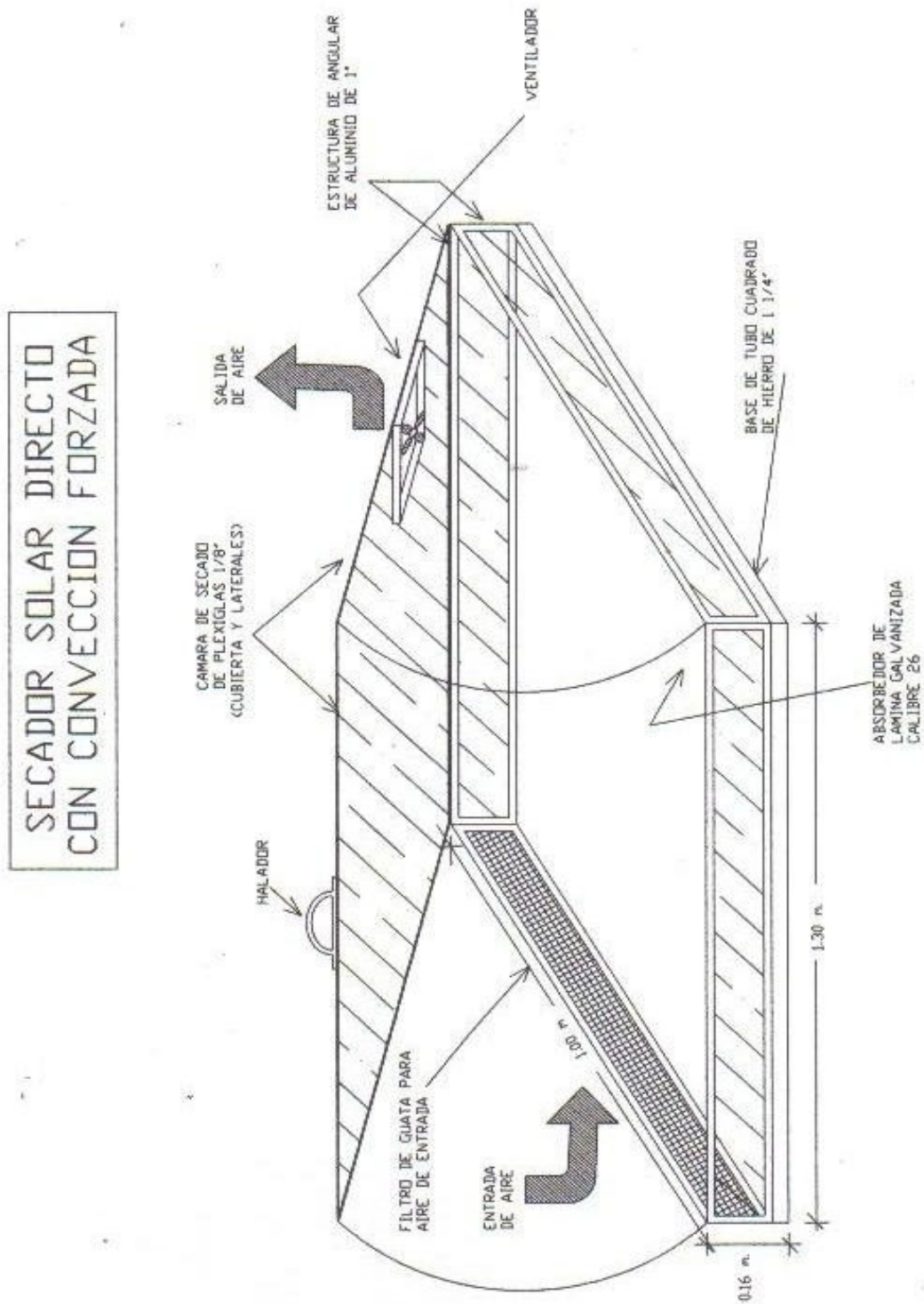


Figura 16. Secador solar construido.

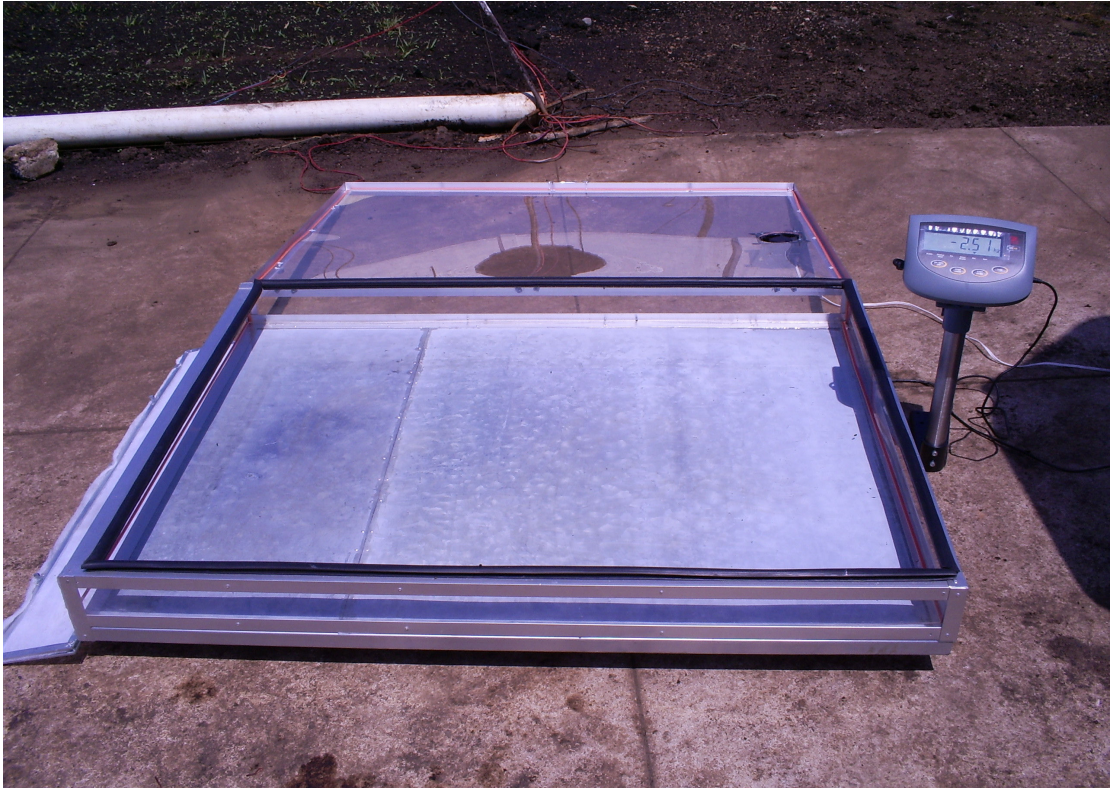


Figura 17. Hoja de control de pruebas de secado de carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*).

**HOJA DE CONTROL
PRUEBAS DE SECADO
CARNE DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA
SECADOR SOLAR**

| FECHA | HORA | PESO LOMBRIZ (Kg) | TEMP. LOMBRIZ (°C) |
|-------|------|-------------------|--------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Figura 18. Datos obtenidos en la primera prueba de secado.

| FECHA | HORA | PESO LOMBRIZ | TEMP. LOMBRIZ |
|-----------------|-------|-----------------|------------------|
| | | (Kg) | (°C) |
| 30.03.06 | 11:00 | 4.70 | 38 |
| | 11:15 | 4.66 | 42 |
| | 11:30 | 4.58 | 45 |
| | 11:45 | 4.47 | 46 |
| | 12:00 | 4.32 | 43 |
| | 12:15 | 4.17 | 43 |
| | 12:30 | 4.02 | 44 |
| | 12:45 | 3.87 | 45 |
| | 13:00 | 3.72 | 40 |
| | 13:15 | 3.57 | 43 |
| | 13:30 | 3.42 | 45 |
| | 13:45 | 3.27 | 45 |
| | 14:00 | 3.12 | 45 |
| | 14:15 | 2.97 | 46 |
| | 14:30 | 2.82 | 46 |
| | 14:45 | 2.67 | 46 |
| | 15:00 | 2.52 | 45 |
| 15:15 | 2.37 | 45 | |
| 15:30 | 2.22 | 45 | |
| 15:45 | 2.09 | 44 | |
| 16:00 | 1.98 | 43 | |
| 16:15 | 1.89 | 41 | |
| 16:30 | 1.82 | 38 | |
| 31.03.06 | 08:15 | 1.77 | 27 |
| | 08:30 | 1.70 | 40 |
| | 08:45 | 1.66 | 44 |
| | 09:00 | 1.62 | 47 |
| | 09:15 | 1.59 | 50 |
| | 09:30 | 1.56 | 52 |
| | 09:45 | 1.54 | 54 |
| | 10:00 | 1.52 | 55 |
| | 10:15 | 1.50 | 56 |
| | 10:30 | 1.48 | 54 |
| | 10:45 | 1.46 | 57 |
| | 11:00 | 1.45 | 60 |
| 11:15 | 1.44 | 57 | |
| 11:30 | 1.43 | 59 | |
| 11:45 | 1.42 | 48 | |
| 12:00 | 1.42 | 57 | |
| 12:15 | 1.42 | 61 | |

Figura 19. Datos obtenidos en la segunda prueba de secado.

| FECHA | HORA | PESO LOMBRIZ (Kg) | TEMP. LOMBRIZ (°C) |
|----------|-------|-------------------|--------------------|
| 02.04.06 | 08:00 | 5.21 | 30 |
| | 08:15 | 5.17 | 38 |
| | 08:30 | 5.08 | 41 |
| | 08:45 | 4.96 | 42 |
| | 09:00 | 4.79 | 42 |
| | 09:15 | 4.62 | 42 |
| | 09:30 | 4.46 | 43 |
| | 09:45 | 4.29 | 42 |
| | 10:00 | 4.12 | 42 |
| | 10:15 | 3.96 | 43 |
| | 10:30 | 3.79 | 41 |
| | 10:45 | 3.62 | 41 |
| | 11:00 | 3.46 | 42 |
| | 11:15 | 3.29 | 44 |
| | 11:30 | 3.13 | 45 |
| | 11:45 | 2.96 | 42 |
| | 12:00 | 2.79 | 41 |
| | 12:15 | 2.63 | 42 |
| | 12:30 | 2.46 | 43 |
| | 12:45 | 2.32 | 42 |
| | 13:00 | 2.19 | 40 |
| | 13:15 | 2.10 | 42 |
| | 13:30 | 2.02 | 43 |
| | 13:45 | 1.96 | 42 |
| | 14:00 | 1.89 | 40 |
| | 14:15 | 1.84 | 41 |
| | 14:30 | 1.80 | 42 |
| | 14:45 | 1.76 | 44 |
| | 15:00 | 1.73 | 44 |
| | 15:15 | 1.71 | 44 |
| | 15:30 | 1.68 | 43 |
| | 15:45 | 1.66 | 42 |
| | 16:00 | 1.64 | 41 |
| | 16:15 | 1.62 | 40 |
| | 16:30 | 1.61 | 40 |
| | 16:45 | 1.60 | 39 |
| | 17:00 | 1.59 | 39 |
| | 17:15 | 1.57 | 39 |
| | 17:30 | 1.57 | 39 |
| | 17:45 | 1.57 | 38 |

Figura 20. Secuencia fotográfica del proceso de secado.



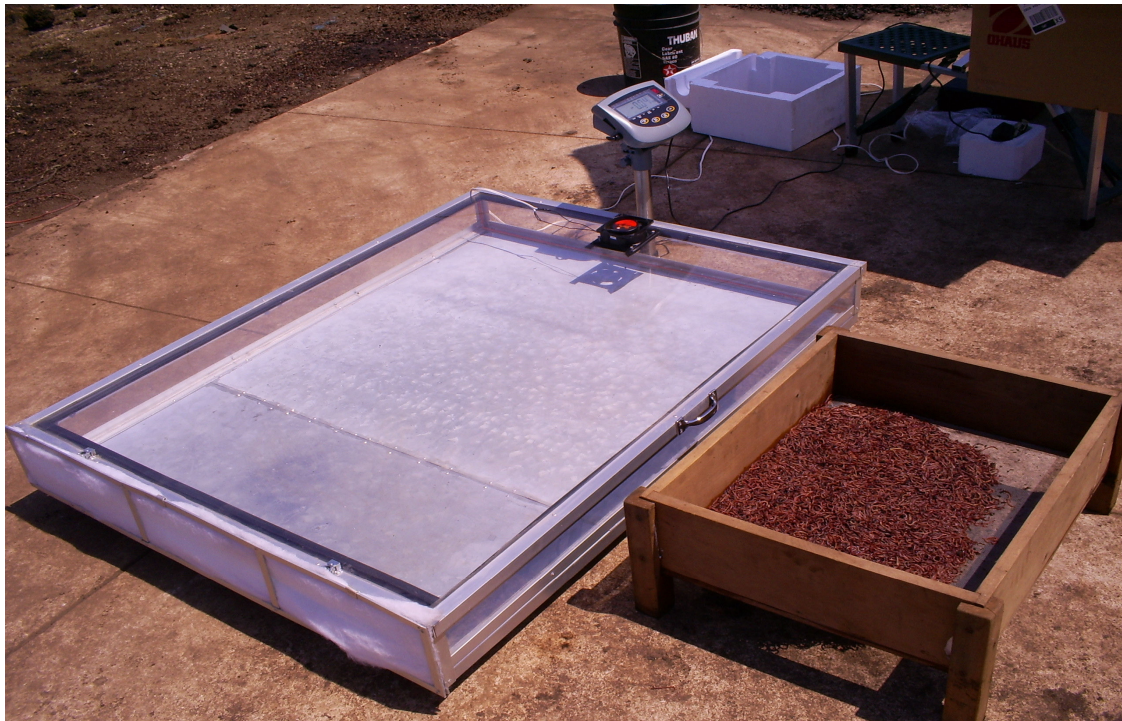
Cunas de lombrices



Lombrices en sustrato de pulpa de café



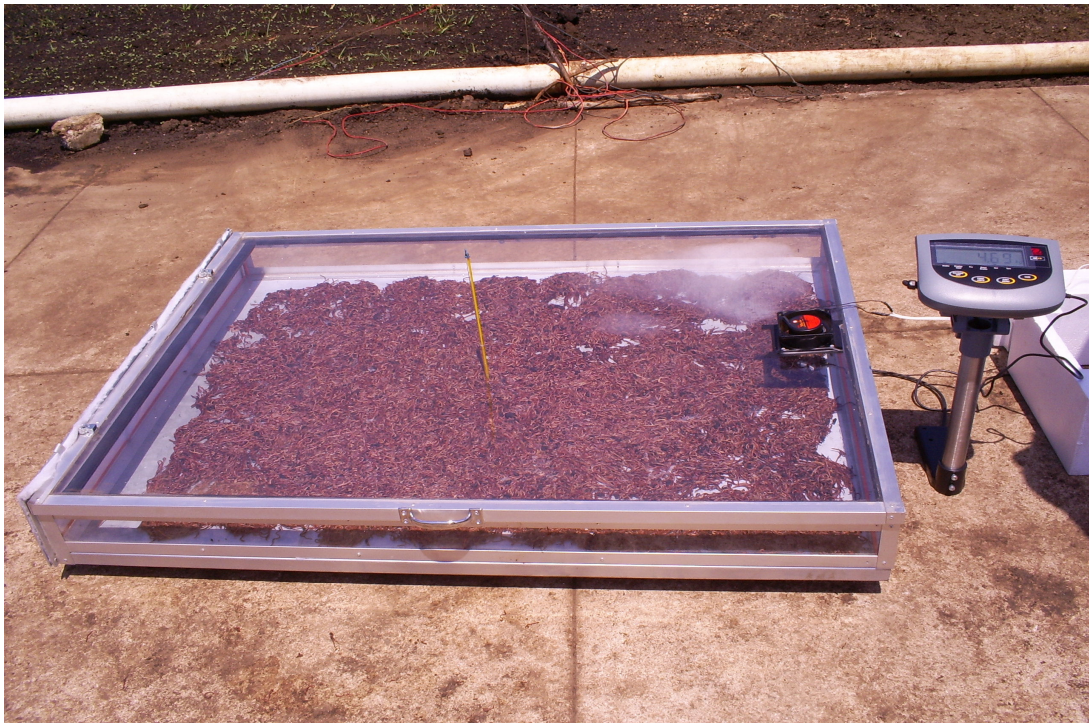
Lombrices limpias y sacrificadas listas para ser deshidratadas



Secador solar por convección forzada y lombrices



Colocación de las lombrices en el secador



Secador solar funcionando con control de peso y temperatura



Estación de secado al aire libre



Carne de lombriz deshidratada

Figura 21. Tabulación de datos para curvas de secado de la primera prueba.

Masa inicial: 4.70 Kg Masa final: 1.42 Kg
 % hum. final: 10.44% Mat. Seca: 1.211752

| TIEMPO (minutos) | TIEMPO (horas) | % HUMEDAD BASE HÚMEDA | % HUMEDAD BASE SECA | dW/dt (Kg/h) |
|---------------------|-------------------|--------------------------------|------------------------------|-----------------|
| 0 | 0.00 | 72.94% | 269.57% | 0.00000 |
| 15 | 0.25 | 72.71% | 266.42% | 0.16000 |
| 30 | 0.50 | 72.23% | 260.13% | 0.32000 |
| 45 | 0.75 | 71.55% | 251.48% | 0.44000 |
| 60 | 1.00 | 70.56% | 239.69% | 0.60000 |
| 75 | 1.25 | 69.50% | 227.89% | 0.60000 |
| 90 | 1.50 | 68.36% | 216.10% | 0.60000 |
| 105 | 1.75 | 67.14% | 204.30% | 0.60000 |
| 120 | 2.00 | 65.81% | 192.51% | 0.60000 |
| 135 | 2.25 | 64.38% | 180.72% | 0.60000 |
| 150 | 2.50 | 62.81% | 168.92% | 0.60000 |
| 165 | 2.75 | 61.11% | 157.13% | 0.60000 |
| 180 | 3.00 | 59.24% | 145.33% | 0.60000 |
| 195 | 3.25 | 57.18% | 133.54% | 0.60000 |
| 210 | 3.50 | 54.90% | 121.74% | 0.60000 |
| 225 | 3.75 | 52.37% | 109.95% | 0.60000 |
| 240 | 4.00 | 49.53% | 98.15% | 0.60000 |
| 255 | 4.25 | 46.34% | 86.36% | 0.60000 |
| 270 | 4.50 | 42.71% | 74.56% | 0.60000 |
| 285 | 4.75 | 39.15% | 64.34% | 0.52000 |
| 300 | 5.00 | 35.77% | 55.69% | 0.44000 |
| 315 | 5.25 | 32.71% | 48.61% | 0.36000 |
| 330 | 5.50 | 30.12% | 43.11% | 0.28000 |
| 345 | 5.75 | 28.15% | 39.18% | 0.20000 |
| 360 | 6.00 | 25.19% | 33.67% | 0.28000 |
| 375 | 6.25 | 23.39% | 30.53% | 0.16000 |
| 390 | 6.50 | 21.50% | 27.38% | 0.16000 |
| 405 | 6.75 | 20.02% | 25.02% | 0.12000 |
| 420 | 7.00 | 18.48% | 22.67% | 0.12000 |
| 435 | 7.25 | 17.42% | 21.09% | 0.08000 |
| 450 | 7.50 | 16.33% | 19.52% | 0.08000 |
| 465 | 7.75 | 15.22% | 17.95% | 0.08000 |
| 480 | 8.00 | 14.07% | 16.37% | 0.08000 |
| 495 | 8.25 | 12.89% | 14.80% | 0.08000 |
| 510 | 8.50 | 12.29% | 14.02% | 0.04000 |
| 525 | 8.75 | 11.68% | 13.23% | 0.04000 |
| 540 | 9.00 | 11.07% | 12.44% | 0.04000 |
| 555 | 9.25 | 10.44% | 11.66% | 0.04000 |
| 570 | 9.50 | 10.44% | 11.66% | 0.00000 |
| 585 | 9.75 | 10.44% | 11.66% | 0.00000 |

Figura 22. Tabulación de datos para curvas de secado de la segunda prueba.

| TIEMPO (minutos) | TIEMPO (horas) | % HUMEDAD BASE HÚMEDA | % HUMEDAD BASE SECA | dW/dt (Kg/h) |
|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|
| 0 | 0.00 | 72.87% | 268.60% | 0 |
| 15 | 0.25 | 72.66% | 265.77% | 0.16000 |
| 30 | 0.50 | 72.18% | 259.40% | 0.36000 |
| 45 | 0.75 | 71.50% | 250.91% | 0.48000 |
| 60 | 1.00 | 70.49% | 238.88% | 0.68000 |
| 75 | 1.25 | 69.41% | 226.85% | 0.68000 |
| 90 | 1.50 | 68.31% | 215.54% | 0.64000 |
| 105 | 1.75 | 67.05% | 203.51% | 0.68000 |
| 120 | 2.00 | 65.69% | 191.48% | 0.68000 |
| 135 | 2.25 | 64.31% | 180.16% | 0.64000 |
| 150 | 2.50 | 62.71% | 168.13% | 0.68000 |
| 165 | 2.75 | 60.95% | 156.11% | 0.68000 |
| 180 | 3.00 | 59.15% | 144.79% | 0.64000 |
| 195 | 3.25 | 57.04% | 132.76% | 0.68000 |
| 210 | 3.50 | 54.84% | 121.44% | 0.64000 |
| 225 | 3.75 | 52.25% | 109.41% | 0.68000 |
| 240 | 4.00 | 49.34% | 97.39% | 0.68000 |
| 255 | 4.25 | 46.26% | 86.07% | 0.64000 |
| 270 | 4.50 | 42.54% | 74.04% | 0.68000 |
| 285 | 4.75 | 39.07% | 64.13% | 0.56000 |
| 300 | 5.00 | 35.46% | 54.94% | 0.52000 |
| 315 | 5.25 | 32.69% | 48.57% | 0.36000 |
| 330 | 5.50 | 30.03% | 42.91% | 0.32000 |
| 345 | 5.75 | 27.88% | 38.67% | 0.24000 |
| 360 | 6.00 | 25.21% | 33.71% | 0.28000 |
| 375 | 6.25 | 23.18% | 30.18% | 0.20000 |
| 390 | 6.50 | 21.47% | 27.35% | 0.16000 |
| 405 | 6.75 | 19.69% | 24.52% | 0.16000 |
| 420 | 7.00 | 18.30% | 22.39% | 0.12000 |
| 435 | 7.25 | 17.34% | 20.98% | 0.08000 |
| 450 | 7.50 | 15.86% | 18.86% | 0.12000 |
| 465 | 7.75 | 14.85% | 17.44% | 0.08000 |
| 480 | 8.00 | 13.81% | 16.03% | 0.08000 |
| 495 | 8.25 | 12.75% | 14.61% | 0.08000 |
| 510 | 8.50 | 12.21% | 13.90% | 0.04000 |
| 525 | 8.75 | 11.66% | 13.20% | 0.04000 |
| 540 | 9.00 | 11.10% | 12.49% | 0.04000 |
| 555 | 9.25 | 9.97% | 11.07% | 0.08000 |
| 570 | 9.50 | 9.97% | 11.07% | 0.00000 |
| 585 | 9.75 | 9.97% | 11.07% | 0.00000 |

Figura 23. Gráfica a: contenido de humedad en función del tiempo para primera prueba.

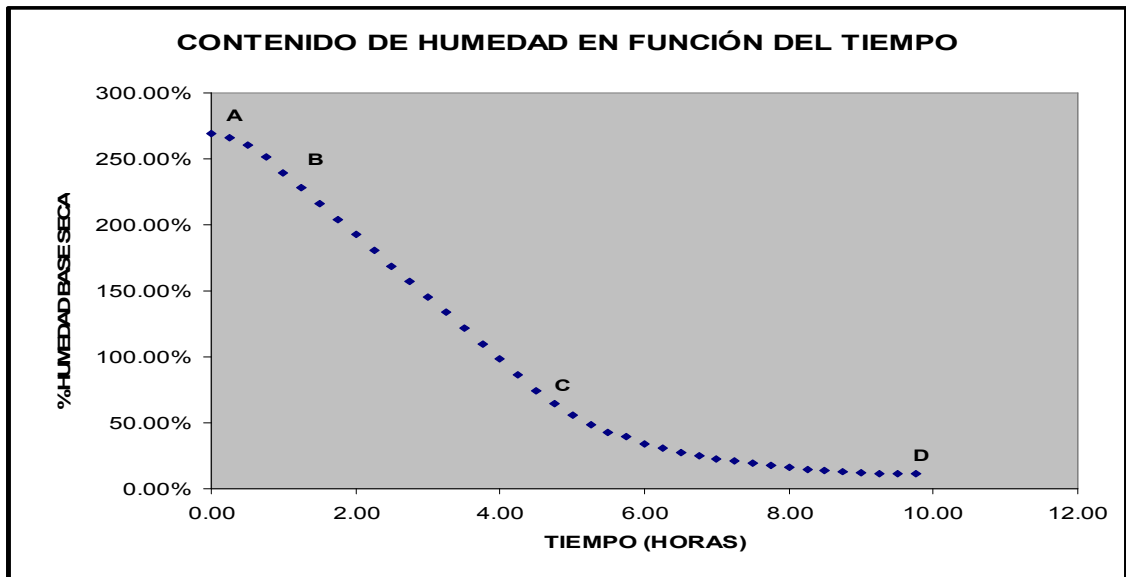


Figura 24. Gráfica b: velocidad de desecación en función del contenido de de humedad para primera prueba.

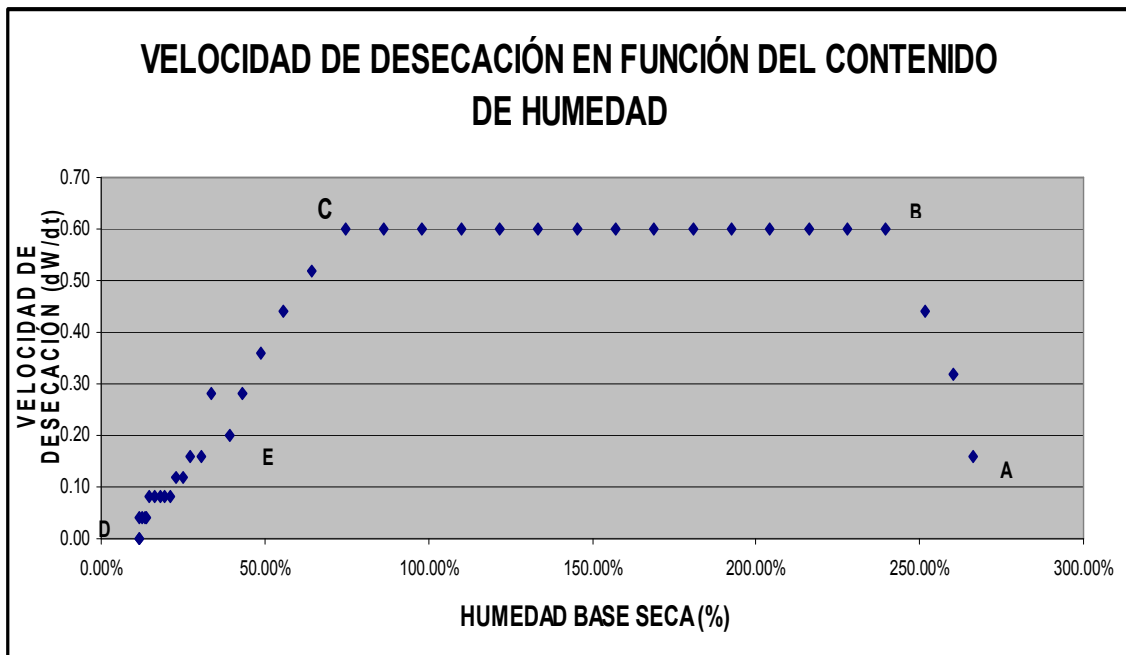


Figura 25. Gráfica c: velocidad de desecación en función del tiempo para primera prueba.

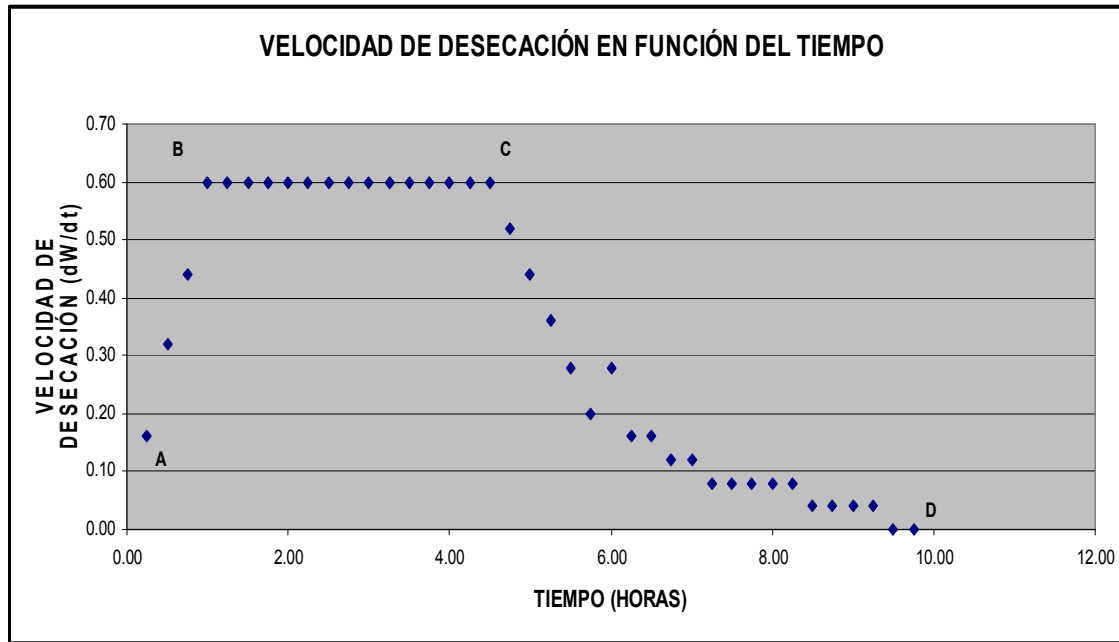


Figura 26. Gráfica a: contenido de humedad en función del tiempo para segunda prueba.

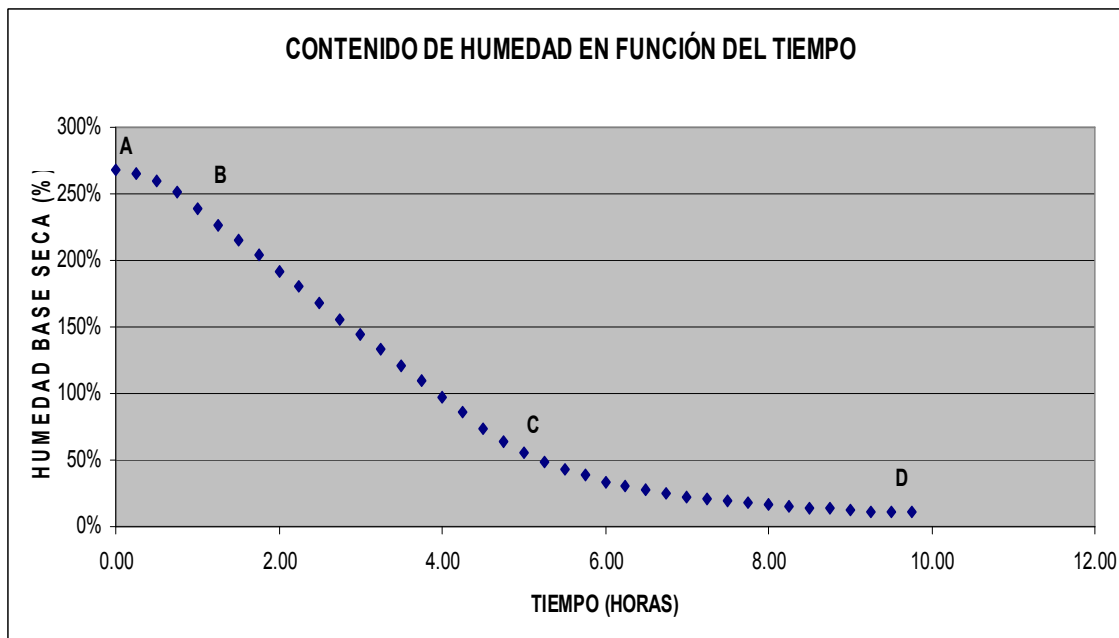


Figura 27. Gráfica b: velocidad de desecación en función del contenido de humedad para segunda prueba.

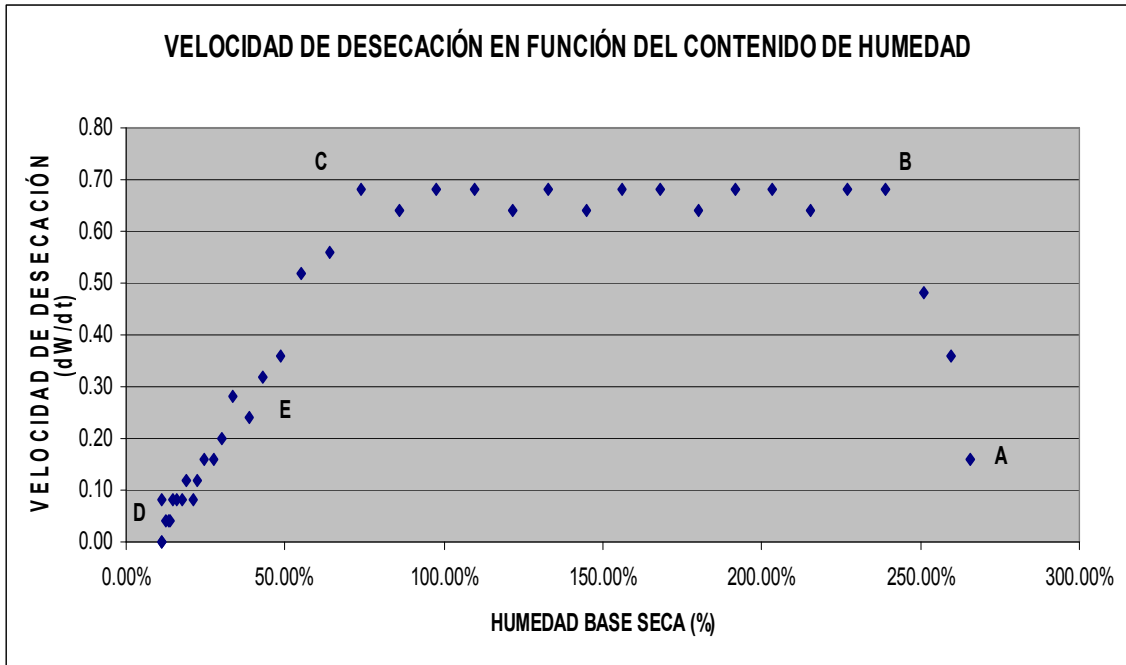


Figura 28. Gráfica c: velocidad de desecación en función del tiempo para segunda prueba.

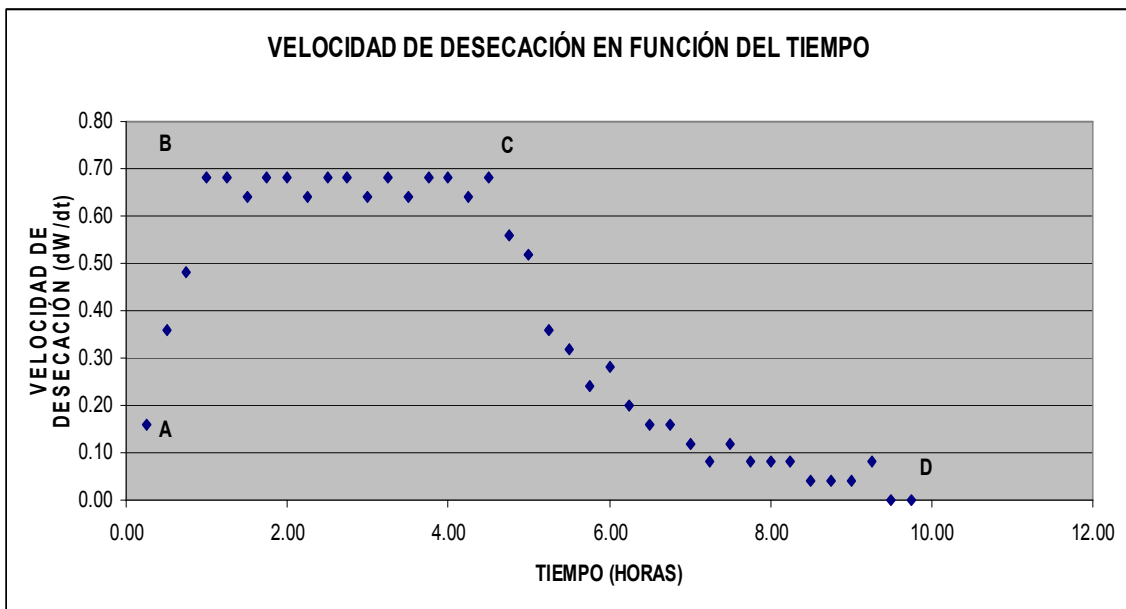


Figura 29. Encuesta de aceptación de la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) deshidratada para consumo humano.

ENCUESTA DE ACEPTACIÓN DE CARNE DE LOMBRIZ DESHIDRATADA COMO POSIBLE FUENTE DE PROTEÍNAS, AMINOÁCIDOS Y ÁCIDOS GRASOS ESENCIALES PARA CONSUMO HUMANO

I SERIE: Información de la persona.

Sexo: F M Edad: _____

Lugar de residencia: _____

Ocupación: _____

II SERIE: Información sobre la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*).

- 1) ¿Está enterado de la existencia de la lombriz Roja Californiana?
 Si No
- 2) ¿Conoce los beneficios de cultivar lombriz Roja Californiana?
 Si No
- 3) ¿Conoce las propiedades nutricionales de la carne de lombriz Roja Californiana?
 Si No
- 4) ¿Qué propiedades nutricionales conoce de la carne de lombriz?
 Proteínas Aminoácidos Ácidos grasos

5) ¿Esta enterado que en otros países actualmente los concentrados para animales se fortifican con harina de lombriz Roja Californiana?

- Si No

6) ¿Sabe usted que en otros países actualmente existen cápsulas de lombriz para consumo humano?

- Si No

7) ¿Sabe usted que en otros países desde hace muchos años acostumbran comer carne de lombriz?

- Si No

8) ¿Estaría usted dispuesto a incluir carne de lombriz dentro de su dieta alimenticia diaria?

- Si No

¿Porque?: _____

Elaborado por: José Monzón
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química
Estudio de aceptación - Trabajo de graduación

Figura 30. Tabulación de datos obtenidos en la encuesta de aceptación del producto.

Total encuestados: 40
 Hombres: 16
 Mujeres: 24

| # DE PREGUNTA | HOMBRES | | | MUJERES | | | TOTAL | | | |
|---------------|---------|----|-----------|---------|----|-----------|-------|----|----|----|
| | SI | NO | PROTEINAS | SI | NO | PROTEINAS | SI | NO | % | |
| 1 | 7 | 9 | | 17 | 7 | | 24 | 16 | 60 | 40 |
| 2 | 6 | 10 | | 11 | 13 | | 17 | 23 | 43 | 58 |
| 3 | 4 | 12 | | 11 | 13 | | 15 | 25 | 38 | 63 |
| 4 | | | 7 | | | 16 | 23 | 17 | 58 | 43 |
| 5 | 4 | 12 | | 12 | 12 | | 16 | 24 | 40 | 60 |
| 6 | 4 | 12 | | 8 | 16 | | 12 | 28 | 30 | 70 |
| 7 | 4 | 12 | | 12 | 12 | | 16 | 24 | 40 | 60 |
| 8 | 7 | 9 | | 11 | 13 | | 18 | 22 | 45 | 55 |

NOTA: En el caso de no se incluyen los índices de aminoácidos y ácidos grasos para la pregunta 4 porque nadie respondió correctamente, para este caso NO representa los que respondieron que no conocen ninguna propiedad.

Figura 31. Representación gráfica de la respuesta a la pregunta No. 1 de la encuesta de aceptación.



Figura 32. Representación gráfica de la respuesta a la pregunta No. 8 de la encuesta de aceptación.

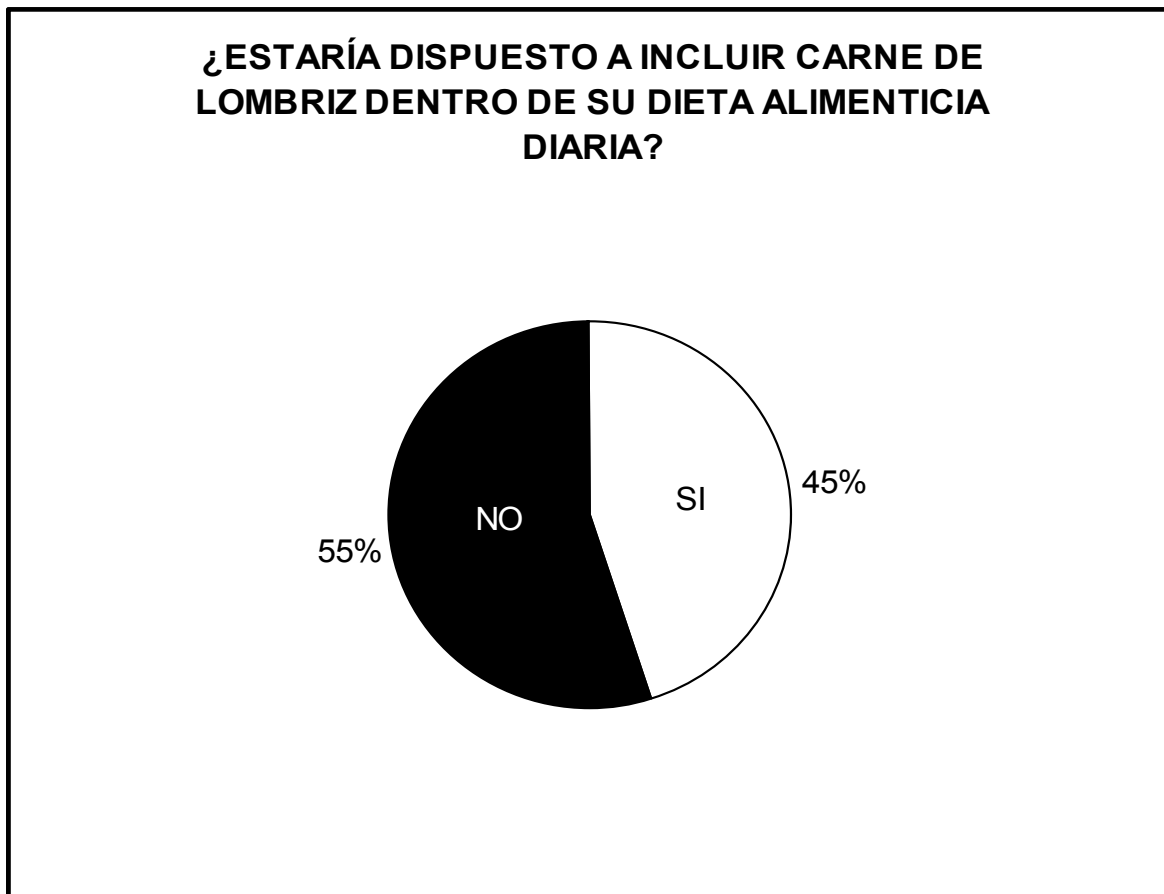


Figura 33. Tabla comparativa de precios de la lombriz Roja Californiana en algunos países del mundo.

| PROVEEDOR | UNIDAD DE MEDIDA | CANTIDAD | PRECIO LOCAL | PRECIO EN DOLARES (US\$) | PRECIO EN DOLARES POR KILO NETO DE LOMBRIZ VIVA |
|--------------------------------------|------------------|--|-------------------------------------|--------------------------|---|
| Sinaloa, México. Veracruz, México | Kilogramo | 1 Kilo que trae de 2000 a 2500 lomb. | \$ 450.00 | 40.90 | 90.88 |
| | Kilogramo | de 1 a 50 de 51 a 100 de 101 en adelante | \$ 300.00 \$ 270.00 \$ 250.00 | 27.27 24.55 22.73 | 27.27 24.55 22.73 |
| Santa Fe, Argentina | Unidades | 1 kilo que trae 1,100 lombrices | \$ 25.00 | 8.65 | 39.31 |
| | | 5,000 lombrices (1 Kg) | \$ 180.00 | 62.28 | 62.28 |
| Santa Fe, Argentina | Unidades | 20,000 lombrices (4 Kg) | \$ 300.00 | 103.80 | 25.95 |
| | | 300,000 lombrices (60 Kg) | \$ 3,000.00 | 1038.06 | 17.30 |
| Mosquera, Colombia | Kilogramo | 140 lombrices por kilo | \$ 12,000.00 | 4.80 | 171.42 |
| Venezuela | Kilogramo | 10 | Bs 10,000.00 | 4.66 | 46.60 |
| | | 500 lombrices/10 Kg | | | |
| Brazil | Unidades | 700 (0.14 Kg) | R\$ 15 | 7.04 | 50.28 |
| España | Unidades | 1,000 lombrices (0.20 Kg) | € 32.00 | 40.00 | 200.00 |
| | | 4,000 lombrices (0.80 Kg) | € 90.00 | 112.50 | 140.00 |
| | | 6,000 lombrices (1.2 Kg) | € 120.00 | 150.00 | 125.00 |
| | | 12,000 lombrices (2.4 Kg) | € 150.00 | 187.50 | 78.12 |
| | | | | | Valor promedio: |
| | | | | | 74.78 |

Notas:

- a) El Kilogramo de lombriz incluye lombriz y sustrato en todos los casos.
- b) La conversión de unidades de lombrices a kilogramos de lombrices se hizo en base al dato proporcionado por Lombrifert S.A. de 5,000 lombrices por kilogramo (0.20 gramos por lombriz)
- c) Para efectos de comparación el precio de la lombriz en Lombrifert es de US\$15.40/Kg
- d) Los tipos de cambio utilizados para las monedas en referencia fueron de US\$1.00 = \$11.00 Mexicano, \$2,500.00 Colombianos, \$2.80 Argentinos, 0.80 Euro, Bs 2,144.00 Venezolanos y R\$ 2.13 Brasileños, datos obtenidos de la página de internet www.milechange.com

Figura 34. Tabla de precios de la harina de lombriz Roja Californiana en Brasil.

| PROVEEDOR | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO LOCAL | PRECIO EN DOLARES | PRECIO EN DOLARES POR KILOGRAMO |
|-----------|--------|----------|--------------|-------------------|------------------------------------|
| 1 | g | 100 | R\$ 12.00 | 5.63 | 56.30 |
| 2 | g | 500 | R\$ 60.00 | 28.17 | 56.34 |
| 3 | g | 250 | R\$ 35.00 | 16.43 | 65.72 |

Fuente: www.google.com. Septiembre de 2006.

**PRECIO
PROMEDIO: 59.45**

Figura 35. Usos de la harina de lombriz Roja Californiana en otros países.

| PAIS | USOS |
|----------------|---|
| Brasil | <ul style="list-style-type: none"> • Como complemento alimenticio agregado al concentrado en piscicultura, ranicultura, avicultura, chinchillas, hipismo, ganados bovino, porcino, equino, caprino y lechero, animales domésticos. • En la preparación de patés, pizzas, galletas y pan para consumo humano. • Cápsulas de suplemento proteico para consumo humano |
| Argentina | <ul style="list-style-type: none"> • Como complemento alimenticio en la crianza de animales al igual que en Brasil |
| Chile | <ul style="list-style-type: none"> • Como complemento alimenticio en la crianza de animales al igual que en Brasil y Argentina |
| Cuba | <ul style="list-style-type: none"> • Fortificación de dulces para consumo humano |
| Estados Unidos | <ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de embutidos y hamburguesas para consumo humano |

Fuente: www.google.com. Septiembre de 2006.

ANEXO

Figura 36. Resultados de la Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil 2002, Informe Resumido. Indicadores de desnutrición por características seleccionadas: área de residencia, región, grupo étnico y nivel de educación.

Cuadro 17 Indicadores de desnutrición para niños/as de 3 a 59 meses de edad, por características seleccionadas

Entre los niños/as de 3 a 59 meses, porcentaje clasificado como desnutrido según tres indicadores antropométricos: talla para la edad, peso para la talla y peso para la edad, por características seleccionadas. ENSMI-2002

| Características | Porcentaje con desnutrición crónica (Talla para la edad) | | Porcentaje con desnutrición aguda (Peso para la talla) | | Porcentaje con desnutrición global (Peso para la edad) | | No. de Casos |
|---------------------------|--|-------------|--|------------|--|-------------|--------------|
| | Severa(1) | Total(2) | Severa(1) | Total(2) | Severa(1) | Total(2) | |
| Residencia | | | | | | | |
| Urbana | 14.6 | 36.5 | 0.4 | 1.2 | 1.5 | 16.2 | 1,542 |
| Rural | 24.4 | 55.5 | 0.3 | 1.8 | 4.7 | 25.9 | 4,766 |
| Región | | | | | | | |
| Metropolitana | 14.3 | 36.1 | 0.6 | 1.1 | 1.1 | 15.1 | 586 |
| Norte | 24.7 | 61.0 | 0.0 | 1.2 | 4.2 | 23.7 | 912 |
| Nor-Oriente | 13.1 | 39.7 | 0.9 | 3.6 | 5.3 | 17.7 | 503 |
| Sur-Oriente | 16.6 | 46.6 | 0.0 | 1.3 | 2.5 | 26.0 | 446 |
| Central | 17.3 | 42.1 | 0.7 | 1.8 | 3.0 | 21.7 | 702 |
| Sur-Occidente | 28.0 | 58.5 | 0.2 | 1.7 | 5.1 | 28.5 | 1,551 |
| Nor-Occidente | 37.4 | 68.3 | 0.1 | 1.3 | 6.6 | 31.5 | 1,064 |
| Petén | 14.0 | 46.1 | 0.0 | 2.1 | 2.4 | 18.0 | 544 |
| Grupo étnico | | | | | | | |
| Indígena | 35.5 | 69.5 | 0.2 | 1.7 | 5.6 | 30.4 | 3,055 |
| Ladino | 11.6 | 35.7 | 0.4 | 1.6 | 2.4 | 17.5 | 3,253 |
| Nivel de educación | | | | | | | |
| Sin educación | 31.6 | 65.6 | 0.3 | 2.2 | 5.7 | 29.9 | 2,482 |
| Primaria | 18.3 | 46.4 | 0.3 | 1.4 | 3.1 | 21.6 | 3,171 |
| Secundaria y más | 5.3 | 18.6 | 0.4 | 1.1 | 0.6 | 8.5 | 655 |
| Total | 21.2 | 49.3 | 0.3 | 1.6 | 3.7 | 22.7 | 6,308 |

Nota: Las estimaciones se refieren a los niños/as de 3 a 59 meses de edad (se excluyen los menores de 3 meses). Cada índice se expresa en términos del número de desviaciones estándar (DE) de la media del patrón de referencia internacional utilizado por NCHS/CDC/WHO. Los niños/as se clasifican como desnutridos/as si están 2 o más desviaciones estándar (DE) por debajo de la población de referencia.

(1) Niños/as que están 3 (DE) o más por debajo de la media.

(2) Niños/as que están 2 (DE) o más por debajo de la media. Incluye a los niños/as que están 3 (DE) o más por debajo de la media.

Figura 37. Resultados de la Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil 2002, Informe Resumido. Indicadores de desnutrición por características seleccionadas: intervalos de edad, sexo y orden de nacimiento.

Cuadro 18 Indicadores de desnutrición para niño/as de 3 a 59 meses de edad, por características seleccionadas

Entre los niño/as de 3 a 59 meses, porcentaje clasificado como desnutrido según tres indicadores antropométricos: talla para la edad, peso para la talla y peso para la edad, por características seleccionadas. ENSMI - 2002

| Características | Porcentaje con desnutrición crónica (Talla para la edad) | | Porcentaje con desnutrición aguda (Peso para la talla) | | Porcentaje con desnutrición global (Peso para la edad) | | No. de Casos |
|------------------------------------|--|-------------|--|------------|--|-------------|--------------|
| | Severa(1) | Total(2) | Severa(1) | Total(2) | Severa(1) | Total(2) | |
| Edad del niño/a en meses | | | | | | | |
| 3-5 | 2.0 | 14.2 | 0.5 | 2.8 | 1.0 | 3.9 | 307 |
| 6-11 | 9.1 | 31.0 | 0.8 | 2.3 | 3.0 | 16.2 | 703 |
| 12-23 | 27.0 | 57.1 | 0.6 | 3.7 | 6.8 | 30.2 | 1,318 |
| 24-35 | 20.2 | 49.2 | 0.5 | 1.5 | 4.6 | 25.9 | 1,371 |
| 36-47 | 24.4 | 56.6 | 0.0 | 0.4 | 3.1 | 21.3 | 1,323 |
| 48-59 | 23.7 | 51.4 | 0.0 | 0.3 | 1.0 | 20.7 | 1,286 |
| Sexo del niño/a | | | | | | | |
| Masculino | 20.9 | 48.6 | 0.4 | 2.0 | 3.8 | 22.5 | 3,183 |
| Femenino | 21.5 | 50.0 | 0.3 | 1.2 | 3.5 | 22.9 | 3,125 |
| Orden de Nacimiento | | | | | | | |
| 1 | 12.3 | 36.6 | 0.0 | 1.1 | 2.2 | 17.0 | 1,244 |
| 2-3 | 18.8 | 44.5 | 0.3 | 1.6 | 2.9 | 20.8 | 2,196 |
| 4-5 | 25.8 | 56.1 | 0.9 | 2.2 | 5.3 | 26.1 | 1,412 |
| 6 y más | 29.8 | 63.5 | 0.3 | 1.6 | 4.9 | 28.3 | 1,456 |
| Intervalo entre nacimientos | | | | | | | |
| Primer nacimiento | 12.3 | 36.6 | 0.0 | 1.1 | 2.2 | 17.0 | 1,244 |
| Por debajo de 24 meses | 28.3 | 59.2 | 0.8 | 1.9 | 5.1 | 27.1 | 1,480 |
| 24-47 | 25.0 | 55.7 | 0.1 | 1.5 | 4.2 | 25.8 | 2,807 |
| 48 y más | 13.0 | 35.2 | 0.8 | 2.4 | 2.1 | 15.8 | 766 |
| Total | 21.2 | 49.3 | 0.3 | 1.6 | 3.7 | 22.7 | 6,308 |

Nota: Las estimaciones se refieren a los niño/as de 3 a 59 meses de edad (se excluyen lo/as menores de 3 meses). Cada índice se expresa en términos del número de desviaciones estándar (DE) de la media del patrón de referencia internacional utilizado por NCHS/CDC/WHO. Lo/as niño/as se clasifican como desnutrido/as si están 2 ó más desviaciones estándar (DE) por debajo de la población de referencia.

(1) Niño/as que están 3 (DE) o más por debajo de la media.

(2) Niño/as que están 2 (DE) o más por debajo de la media. Incluye a los niño/as que están 3 (DE) o más por debajo de la media.

Figura 38. Análisis de porcentaje de humedad realizado a la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) deshidratada para la primera prueba.



11 Avenida 36-40, Zona 11 Guatemala, C.A.
 Teléfono: PBX 2442-2422 • 2476-7427 Fax: 2477-0678
 E-mail: info@solucionesanaliticas.com
 www.solucionesanaliticas.com

INFORME DE ANALISIS

| | | | |
|---------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|
| Cliente | : JOSE FRANCISCO MONZON (2825) | Número de orden | : 50498 |
| Persona Responsable | : JOSE FRANCISCO MONZON | Código de muestra | : 06.03.31.06.03 |
| Finca | : (2825) | Fecha de ingreso | : 31/03/2006 |
| Localización | : GUATEMALA | Fecha del informe | : 07/04/2006 |
| Referencia Cliente | : LOMBRIZ ROJA | Asesor | : Dinorah Fong |
| Cultivo | : SIN CULTIVO (SN) | | |

| | | | |
|---------------------------|-----------------|--------------------------|------------------------|
| Fecha de Muestreo: | NO INDICA | Temperatura de Ingreso | : AMBIENTE |
| Hora de Muestreo: | NO INDICA | Temperatura almacenaje | : AMBIENTE |
| Lugar de Muestreo: | NO INDICA | Tipo de muestra | : LOMBRIS DESHIDRATADA |
| Recipiente | : BOLSA SELLADA | Responsable de muestreo: | : CUENTE |
| Fecha Inicio de Análisis: | 05/04/06 | | |

| PARAMETROS | DIMENSIONALES | VALOR |
|------------|---------------|-------|
| HUMEDAD | % | 10.44 |


Metodología basada en:
 Association of Official Analytical Chemist. AOAC. 16th. ed. 1995



Revisado: 
 Lic. Barbara Cano
 Jefe de Laboratorio

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio. La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas. Este informe es válido únicamente en su impresión original

Figura 39. Análisis de porcentaje de humedad realizado a la carne de lombriz Roja Californiana (*Eisenia Foetida*) deshidratada para la segunda prueba.



Soluciones Analíticas
Agricultura • Industria • Ambiente

|| Avenida 36-40, Zona 11 Guatemala, C.A.
Teléfono: PBX 2442-2422 • 2476-7427 Fax: 2477-0678
E-mail: info@solucionesanaliticas.com
www.solucionesanaliticas.com


INFORME DE ANALISIS

| | | | |
|---------------------|--------------------------------|-------------------|------------------|
| Cliente | : JOSE FRANCISCO MONZON (2825) | Número de orden | : 30527 |
| Persona Responsable | : JOSE FRANCISCO MONZON | Código de muestra | : 06.04.02.06.04 |
| Fisca | : (2825) | Fecha de ingreso | : 02/04/2006 |
| Localización | : GUATEMALA | Fecha del informe | : 09/04/2006 |
| Referencia Cliente | : LOMBRIZ ROJA | ANALISIS | : Demaral Fong |
| Cultivo | : SIN CULTIVO (SN) | | |

| | | | |
|--------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|
| Fecha de Muestreo | : NO INDICA | Temperatura de Ingreso | : AMBIENTE |
| Hora de Muestreo | : NO INDICA | Temperatura almacenaje | : AMBIENTE |
| Lugar de Muestreo | : NO INDICA | Tipo de muestra | : LOMBRIZ DESHIDRATADA |
| Recipiente | : BOLSA SELLADA | Responsable de muestreo | : CLIENTE |
| Fecha Inicio de Analisis | : 07/04/2006 | | |

| PARAMETROS | UNIDADES | VALOR |
|------------|----------|-------|
| HUMEDAD | % | 9.97 |

Métodología basada en:
Association of Official Analytical Chemist, AOAC, 16th, Ed. 1995

Revisado: 
Lic. Barbara Cano
Jefe de Laboratorio

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio
La reproducción parcial del mismo deberá ser autorizada por escrito por Soluciones Analíticas.
Este informe es válido únicamente en su impresión original