



CONTROL DE FERMENTADO
y EVALUACIÓN de un
PROTOTIPO de SECADOR con
AMBIENTE CONTROLADO
para CACAO NACIONAL

El proyecto "Mejoramiento de calidad de grano seco de cacao nacional a través del uso de energías renovables durante la post cosecha, para el beneficio de productores indígenas del norte paceño", ejecutado por Wildlife Conservation Society (WCS) y Soluciones Prácticas (SP), es apoyado por el Programa Alianza en Energía y Ambiente con la Región Andina (AEA) del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), con el aporte financiero del Ministerio de Asuntos Exteriores de Finlandia (MAEF).

El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), a través del Programa Alianza en Energía y Ambiente con la Región Andina (AEA), percibió la necesidad de facilitar un espacio de intercambio de conocimientos, experiencias y debate acerca de la inclusión de energías alternativas y medidas de eficiencia energética como alternativa para mejorar el hábitat e incrementar el desarrollo productivo de zonas rurales y periurbanas, que pueda ser replicada por los actores interesados.

Las ideas, planteamientos y formas de expresión de este documento son propios de los autores y no representan necesariamente la opinión del IICA, AEA o el MAEF.





CONTROL DE FERMENTADO
y EVALUACIÓN de un
PROTOTIPO de SECADOR con
AMBIENTE CONTROLADO
para CACAO NACIONAL

UNA EXPERIENCIA EN LA ASOCIACIÓN DE
PRODUCTORES DE CACAO NATIVO ECOLOGICO
DEL PUEBLO LECO DE LARECAJA

**CONTROL DE FERMENTADO Y EVALUACIÓN DE
UN PROTOTIPO DE SECADOR CON AMBIENTE
CONTROLADO PARA CACAO**

Primera edición:

Enero 2015

Editor:

Wildlife Conservation Society (WCS)

Autores:

Ximena Sandy (WCS)

Carlos Reza (Soluciones Prácticas)

Juan Carlos Espinoza (WCS)

Grover Arellano (Soluciones Prácticas)

Colaboradores:

Omar Mejía (Asociación Chocolecos)

Noel Huanca (WCS)

Abel Pérez (WCS)

Fotografías

Ximena Sandy (WCS)

Juan Carlos Espinoza (Tesisista WCS)

Abel Pérez (WCS)

Omar Mejía (Asociación Chocolecos)

Carlos Reza (Soluciones Prácticas)

Diseño Gráfico y Diagramación

SALINASANCHEZ S.R.L.

Impresión:

Artes Gráficas Sagitario S.R.L.

Impreso en Bolivia

CONTENIDO

Introducción	6	5. CARACTERÍSTICA DEL PROTOTIPO DE SECADOR CON AMBIENTE CONTROLADO	17
Post cosecha	7	5.1 Construcción del prototipo	17
1. OBJETIVOS	8	5.1.1 Piso	17
2. PROBLEMAS IDENTIFICADOS DURANTE LA POST COSECHA	9	5.1.2 Estructura	17
3. METODOLOGÍA	9	5.1.3 Retroalimentación de aire caliente	18
3.1 Fermentado	9	5.2 Mesas de secado	19
3.2 Proceso de secado	10	5.3 Equipos para el control del ambiente	19
4. RESULTADOS	12	5.4 Funcionamiento del sistema	20
4.1 Fermentado	12	5.4.1 Control de temperatura y humedad relativa	20
4.2 Secado	13	5.4.2 Componentes del panel de control	20
4.2.1 Control de ambiente en prototipo	13	5.4.3 Operación del sistema	21
4.2.2 Humedad del grano de cacao	14	5.4.4 Programación de temperatura y humedad	22
4.2.3 Duración del periodo de secado y rendimiento	15	6. CAPACITACIÓN DE PRODUCTORES	32
4.3 Calidad del grano	15	7. ANÁLISIS ECONÓMICO	34
		8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	35
		BIBLIOGRAFÍA	37

INTRODUCCIÓN

El cacao nacional o nativo es un recurso importante y un medio de vida de las familias campesinas e indígenas que habitan en la región del norte del Departamento de La Paz. Se lo encuentra en forma silvestre en rodales dentro de extensas áreas de bosque húmedo, y también en forma de cultivos bajo sistemas agroforestales. Además de generar ingresos para las familias productoras y recolectoras, la cadena de cacao nacional permite revalorizar áreas naturales de bosque, lo que indirectamente contribuye a detener la deforestación y mantener hábitats de muchas especies vegetales y animales; los cultivos se constituyen en corredores de conectividad y amortiguamiento de áreas protegidas de interés para la conservación de la biodiversidad, como son el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Madidi y la Reserva de la Biósfera y Tierra Comunitaria de Origen Pilón Lajas.

Las características organolépticas de sabor y aroma del cacao nacional son cada vez más reconocidas en mercados especiales, lo que representa una oportunidad para las familias productoras y recolectoras; sin embargo, todavía hay mucho trabajo que realizar para alcanzar y mantener los parámetros de calidad que exigen estos mercados: La identificación y difusión de las variedades más promisorias, la implementación de Buenas Prácticas de Agricultura (BPA), la estandarización de los procesos en la post cosecha, la comercialización

y el empoderamiento de las organizaciones productivas y recolectoras, son aspectos de la cadena que requieren mucha atención y trabajo organizado.

En el marco del proyecto “Mejoramiento de calidad de grano seco de cacao nacional, a través del uso de energías renovables durante la post cosecha, para el beneficio de productores indígenas del norte paceño”, en el centro de acopio y beneficiado centralizado de la Asociación de Productores de Cacao Nativo Ecológico del Pueblo Leco de Larecaja (Chocoleco), ubicado en la Tierra Comunitaria de Origen Leco de Larecaja, en el municipio de Guanay, se implementaron dos actividades para responder a los problemas identificados en el proceso de la post cosecha: a) el monitoreo del indicador de temperatura de la masa de grano durante el proceso de fermentación, con el fin de identificar puntos clave que permitan a los operadores mejorar el proceso; y b) la instalación de un prototipo de secado de cacao en ambiente controlado, en el cual se evaluaron indicadores de humedad de grano y duración del secado, con el objetivo de identificar las mejores prácticas durante el proceso de secado, innovar la infraestructura existente y promover la calidad del grano de cacao nacional.

En esta cartilla presentamos los resultados de esta experiencia que esperamos sean de utilidad para la Asociación Chocoleco y otras asociaciones de la región.

POST COSECHA

La post cosecha está constituida por todos los procesos por los que atraviesa el cacao una vez cosechado. Se inicia con el desconchado y prosigue con el fermentado, el secado, el almacenado y el transporte del grano seco, hasta llegar al comprador final.

En el desconchado, la mazorca se abre o quiebra para retirar los granos. Se separan los granos sanos de los granos germinados, quebrados, enfermos y vacíos, y la guía o corazón de la mazorca.

Los granos frescos y sanos se colocan en el cajón para iniciar el proceso de fermentación. Este proceso tiene dos etapas: una anaeróbica que dura entre 48 y 72 horas, durante esta etapa se favorece la proliferación de levaduras que metabolizan los azúcares del mucílago y generan el etanol y dióxido de carbono. Además de las levaduras, se desarrollan las bacterias lácticas que producen el ácido láctico, a partir del etanol, en una reacción exotérmica que alcanza una temperatura alrededor de 45°C, bajo estas condiciones se bloquea la germinación y se mata al embrión (Enríquez, 2004). La segunda etapa se inicia con el volteo o remoción del grano, que incorpora oxígeno al ambiente y se llevan a cabo cambios bioquímicos precursores del aroma y sabor característicos del chocolate. La temperatura en esta etapa sube rápidamente hasta alcanzar valores alrededor de 50°C (Semiglia, 1979 citado por Palacios, 2008).

A partir de este punto, la temperatura va descendiendo a valores cercanos a 40°C, lo que indica que la acción microbiana ha disminuido y es el momento propicio de terminar la fermentación en la caja.

El sobrefermentado del cacao es un defecto serio en los mercados de calidad, ocurre cuando se prolongan los días de fermentación, la temperatura vuelve a incrementarse rápidamente, favoreciendo el desarrollo de bacterias aerobias termoresistentes, formadoras de esporas, que producen ácidos orgánicos que incrementan la acidez del grano y producen olores desagradables (Schwan et al, 2004).

Durante el secado continúan las reacciones iniciadas en la fermentación, se reduce el contenido de humedad del grano, desde un 60% a valores cercanos al 8%, con el fin de evitar el desarrollo de hongos y facilitar el almacenamiento y transporte del grano (Ortiz et al., 2000). El secado también permite eliminar la acidez y la astringencia de los granos, que inciden en su calidad (Rohan, 1964).

El ritmo de secado tiene una estrecha relación con el sabor y la calidad de los granos, si el secado es muy rápido se alteran los cambios internos y ocasionan sabores ácidos (Nosti, 1970). El secado no es un proceso continuo y uniforme. Al principio la velocidad de

secado permanece constante hasta que el grano alcanza un valor crítico, que se encuentra alrededor del 25% de humedad, este periodo corresponde a la pérdida de agua superficial; a partir de este punto, la velocidad de secado disminuye y corresponde a la eliminación del agua interna del grano (Foust, 1993 citado por Torres, 2013).

Las condiciones de almacenamiento y transporte son factores que pueden

mantener o reducir la calidad de grano alcanzado. Un almacén con buena ventilación, y el uso de pallets o tarimas, pueden evitar el humedecimiento de los granos y disminuir las probabilidades de desarrollo de moho y la presencia de insectos en el grano. Asimismo, durante el transporte, el grano debe estar protegido del agua, el polvo y de aquellos productos que le confieran olores extraños.



1

Objetivos

- ▶ Determinar la curva de la temperatura del grano de cacao como indicador de puntos críticos en el proceso de fermentación, considerando las condiciones del centro de acopio y beneficiado de cacao nacional de la Asociación Chocoleco.
- ▶ Determinar, en las condiciones de campo, las curvas de humedad del grano de cacao nacional bajo tratamientos de secado en ambiente controlado, para establecer una comparación con el secado tradicional.
- ▶ Identificar las mejores prácticas para obtener un cacao de calidad y generar información para la innovación de infraestructura de secado, que permita obtener un grano seco de cacao en menor tiempo y mejores condiciones de inocuidad, manteniendo la calidad organoléptica del mismo, para las condiciones del centro de acopio y beneficiado de cacao nacional de la Asociación Chocoleco.

2

Problemas identificados durante la post cosecha

El periodo de cosecha de cacao en el norte de La Paz abarca los meses de enero a abril, coincidiendo con la época de mayor precipitación del año. Estas condiciones inciden en la post cosecha, siendo críticos en los procesos de fermentado y secado del grano.

La fermentación del grano no es homogénea, algunos lotes salen bien fermentados, otros tienen un porcentaje elevado de granos pizarrosos y violetas o bien de granos sobrefermentados.

El proceso de secado al sol, por las condiciones ambientales, es muy prolongado y lleva hasta 8 días eliminar la humedad del cacao. Durante la noche, la temperatura baja y la humedad relativa del ambiente se incrementa, favoreciendo la proliferación de mohos y el riesgo de enmohecimiento del grano de cacao, aspecto que es considerado como un defecto importante en mercados especiales de cacao. Estas condiciones inciden para que el secado no sea homogéneo en todos los lotes, algunos se arrebatan y se secan demasiado rápido, provocando pérdidas a la asociación. Otros lotes no alcanzan el porcentaje de humedad que favorezca el almacenamiento y transporte adecuados.

3

Metodología

3.1

Fermentado

Se monitorearon cuatro lotes (5, 6, 8 y 10) de más 100 kg de grano fresco de cacao nacional cada uno durante un periodo de 8 días, con el fin de documentar y determinar la curva de temperatura de la masa de grano en el proceso de fermentación e identificar acciones que favorezcan el fermentado homogéneo del grano de cacao nacional. El periodo de prueba se desarrolló entre el 11 de marzo y el 27 de mayo de 2014.

Los granos seleccionados se fermentaron en cajones de madera de toco blanco de dos pulgadas de grosor y con dimensiones de 0,60x0,60x0,60m, con orificios en la base y colocados a 20 cm de altura del piso. El grano fresco fue colocado en

cajones y cubierto, desde el piso, con hojas de plátano. Cada cajón fue cubierto con plástico y cerrado con una tapa de polietileno para proteger los granos de la lluvia y evitar, al mismo tiempo, el ingreso del aire.



Se registraron, al inicio del proceso, la temperatura inicial de la masa del grano de cacao, la temperatura y humedad relativa del ambiente. No se destapó el cajón hasta las 48 horas de iniciado el proceso. A partir del segundo día se realizaron los volteos cada 24 horas, durante las horas de la mañana. Desde el segundo día se registraron datos, cuatro veces al día (04:00, 10:00, 16:00 y 22:00), de los siguientes indicadores: temperatura (°C) de la masa de grano y temperatura (°C) y humedad relativa (%HR) del ambiente.

3.2

Proceso de secado

Se implementó un prototipo de secado en un ambiente controlado, ubicado con dirección este-oeste, y con una dimensión de 5 metros de largo, por 1,6 metros de ancho y una altura máxima de 2,70 metros. El prototipo fue armado con perfiles de fierro y su estructura fue recubierta con policarbonato traslúcido para permitir el ingreso de los rayos solares y generar calor al interior. Se lo equipó con dos termoventiladores, dispuestos a cada extremo de la mesa, para mantener la temperatura durante la noche, y con cinco extractores de humedad para extraer el aire húmedo evaporado de los granos, ambos equipos accionados con energía eléctrica proveniente de la red pública. Para el control de la temperatura y humedad, se instalaron sensores de humedad y temperatura, los cuales desde un panel de control activan, de forma manual o automática, los termoventiladores y extractores de humedad cuando estos son requeridos. Las dos mesas de secado de 1 m de ancho por dos de largo, cada una, se construyeron con una estructura de aluminio y una plancha de acero inoxidable perforada.

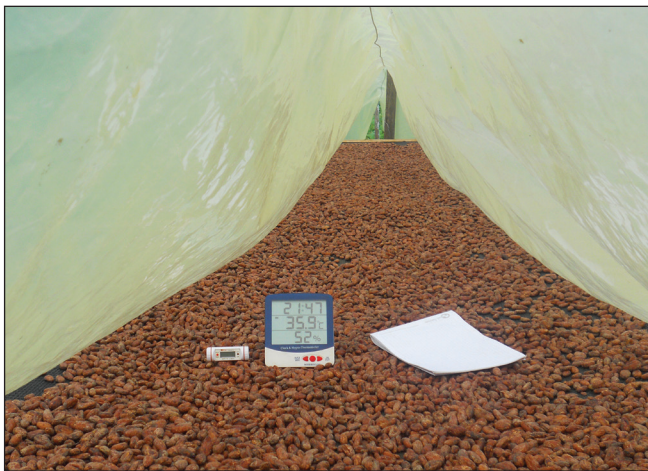
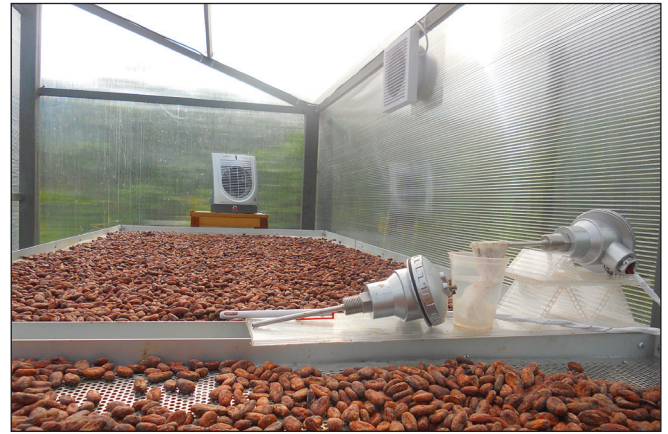
Luego de la implementación y pruebas realizadas, con el fin de hacer un uso más eficiente de la energía, se instalaron un panel solar, como fuente de energía para 10 ventiladores colocados a nivel de las mesas, y un sistema de retroalimentación de aire, que utiliza el aire húmedo y caliente proveniente del prototipo, a partir de los extractores, enviando el aire a través de una línea larga y una línea corta, conectadas con tubos PVC y un cuello de ganso, para condensar la humedad del aire caliente y retroalimentar al interior del prototipo, a través de una plancha de acero, ubicada en la parte inferior de las mesas, que direcciona el aire caliente hacia los granos.

El ambiente del prototipo fue programado para mantener una temperatura de $38 \pm 7,6^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de 40 %.

Las características del prototipo, su construcción, funcionamiento y programación, se describen en el punto 4.

La infraestructura que sirvió de testigo fueron las mesas tradicionales de secado solar tipo horno: la primera de presecado con estera y la segunda de secado con lecho de malla sarán. Ambas mesas estaban cubiertas con agrofilm a una altura de 40 cm.





Las dimensiones fueron de 1,5 m x 5 m para la mesa de secado y 2m x 5m para la mesa de presecado.

Se tomaron los datos de temperatura del grano desde el primer día hasta el final del secado, a las siguientes horas: 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 20:00, 00:00, 04:00, 07:00, 09:00. Los datos de humedad del grano se tomaron a partir del segundo día de secado, a las 00:00, 04:00, 08:00, 12:00, 16:00, 20:00 horas. Al mismo tiempo, se registraron la temperatura y humedad relativa del ambiente fuera y dentro del prototipo. La remoción del grano se realizó cada 2 horas, durante el día, y cada 4 horas, durante la noche.

Se implementaron tres tratamientos (T):

- ▶ El T1, realizado con el lote 6, consistió en introducir al prototipo el grano de cacao fermentado, sin realizar el presecado.
- ▶ El T2, realizado con el lote 10, consistió en un día de presecado en la mesa con estera antes de ingresar al prototipo.
- ▶ El T3 se realizó con el lote 8, y consistió en dos días de presecado antes de entrar al prototipo.
- ▶ El testigo fue el lote 5, con dos días de presecado y secado en la mesa tipo horno con malla sarán.

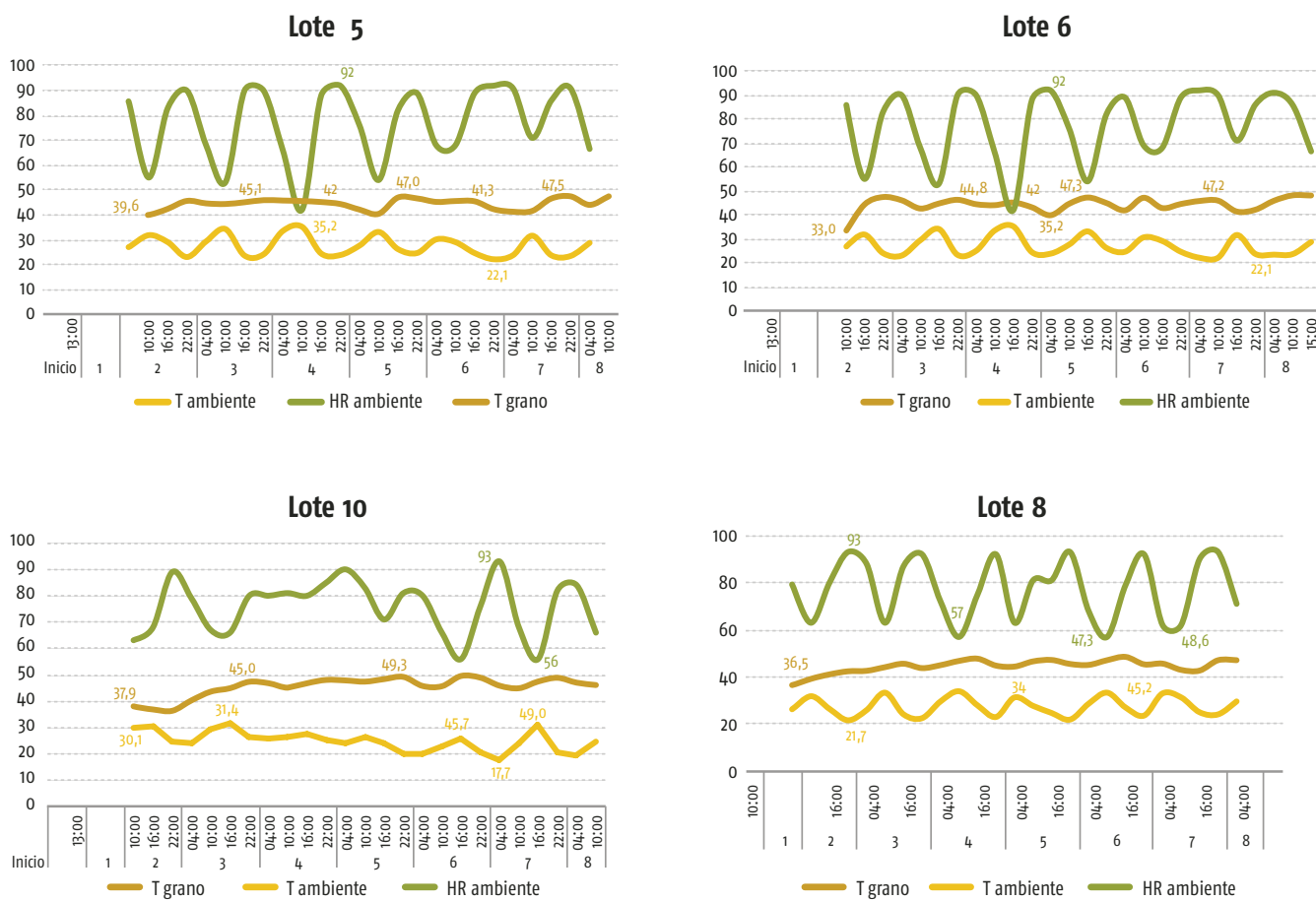
Resultados

4.1

Fermentado

En el gráfico 1 se presenta el comportamiento de la temperatura de la masa de cuatro lotes de granos de cacao nacional fermentados durante 8 días.

Gráfico 1. Temperatura (°C) de grano nacional durante el fermentado bajo diferentes condiciones de temperatura (°C) y humedad relativa del ambiente (%)



La máxima humedad relativa del ambiente en los lotes superó el 90%, mientras que la temperatura máxima fue de 35°C. El valor mínimo de humedad relativa fue de 42% y las temperaturas mínimas se registraron entre las 10:00 pm y 4:00 am, siendo la menor de 17,7 °C hacia el final del periodo de prueba en el mes de mayo (lote 10).

Todos los lotes alcanzaron los 45°C al tercer día, lo que indica que por acción del ácido láctico producido se detuvo la germinación y se produjo la muerte del embrión; en este momento se marca el inicio del volteo del grano para la oxigenación, que da

lugar a la fermentación aeróbica, durante la cual ocurren los cambios bioquímicos que luego proporcionarán el aroma y sabor al chocolate.

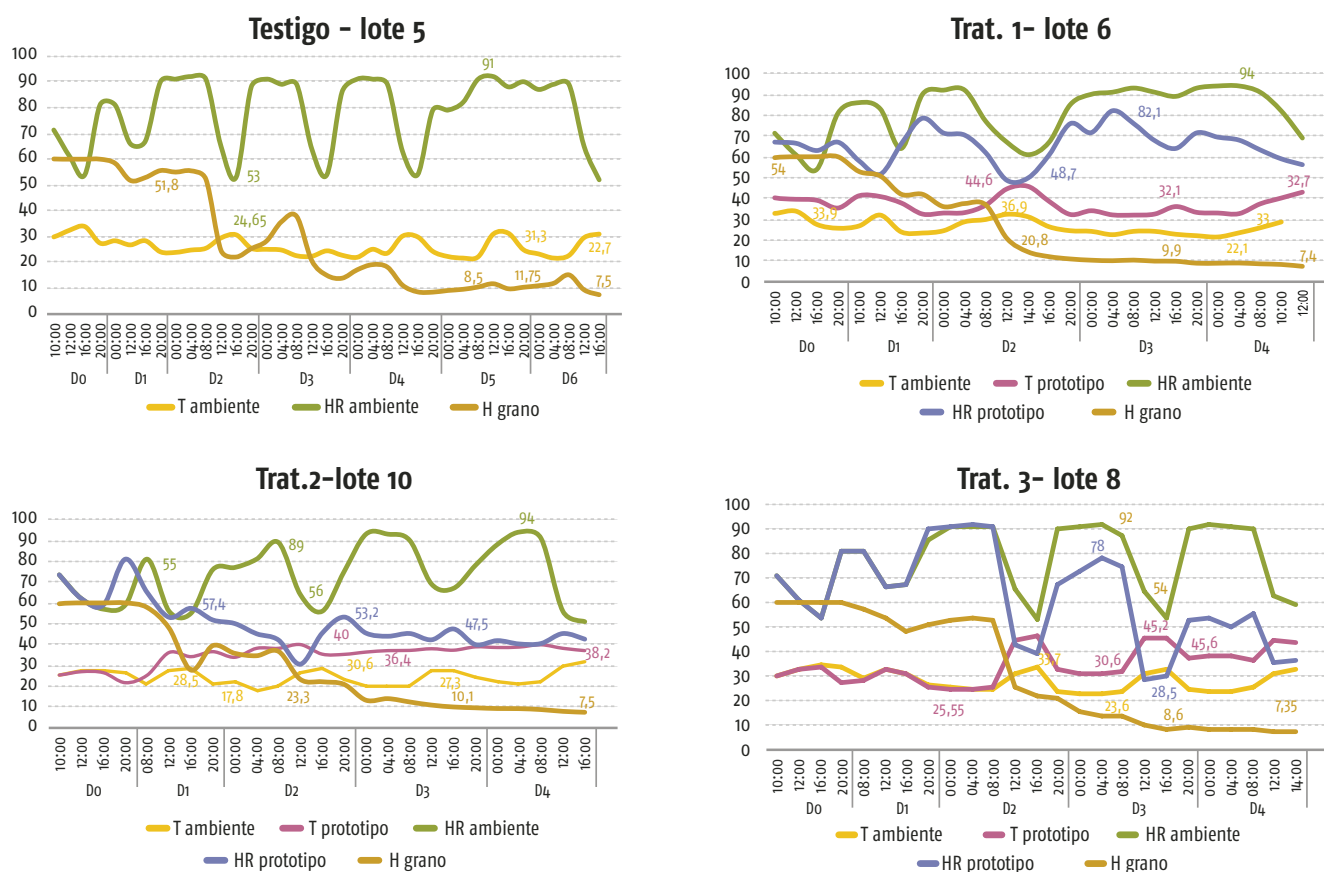
Durante los días 3, 4 y 5, la temperatura ascendió por la acción microbiana, hasta alcanzar valores cercanos a los 50°C, para luego descender a valores alrededor de 40°C, excepto el lote 10 que registró 45,7°C al final de la fermentación. Esto se debió a un descenso de la actividad microbiana, marcando el final de la fermentación, momento en el cual se retiró el grano del cajón fermentador. En todos los lotes este punto se alcanzó al sexto día del fermentado.

Después del sexto día, la temperatura volvió a subir por la acción de las bacterias aeróbicas termoresistentes, que aumentan la acidez en el grano y le confieren olores extraños característicos de los granos sobrefermentados.

4.2 Secado

4.2.1 Control de ambiente en prototipo

Gráfico 2. Curvas de temperatura (°C) y humedad relativa (%HR) en el ambiente y dentro del prototipo de secado y humedad (%) del grano bajo diferentes tratamientos



El secado tradicional (lote 5) fue realizado bajo condiciones de humedad relativa, con fluctuaciones entre 53 y 90%, y de temperatura entre 22,7 y 31,3°C. La curva de secado no fue homogénea, el grano absorbió humedad durante la noche y el porcentaje de humedad óptima (7,5%) se alcanzó al sexto día de secado. La humedad relativa del ambiente es el factor crítico que determinará un secado homogéneo y evitará la proliferación de moho en los granos.

Dentro del prototipo la temperatura fue mayor que la temperatura ambiental, lo cual favoreció el secado en menor tiempo. Los termoventiladores mantuvieron la temperatura durante la noche, sin embargo durante el día, en las horas de mayor calor (12:00–15:00), el control de temperatura se hizo dificultoso y requirió el uso de tres termoventiladores. La humedad relativa dentro el prototipo fue menor que la del ambiente, en correspondencia a la mayor temperatura que se generó al interior del prototipo.

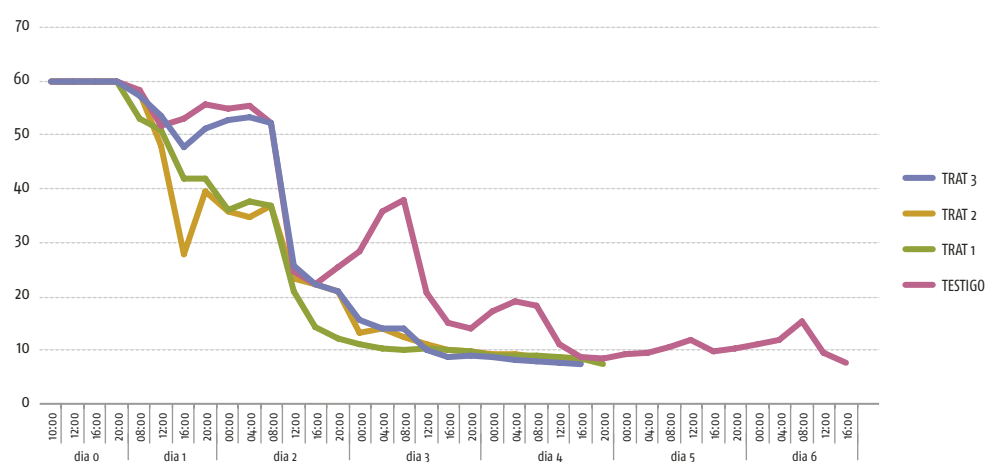
En el tratamiento 1 (sin presecado) el grano fue introducido al prototipo desde el primer día, como la gráfica 2 lo demuestra existieron problemas para controlar la temperatura dentro del prototipo, que llegó hasta los 44,6°C, debido probablemente a que los dos termoventiladores no lograron disminuir el exceso de calor. La humedad relativa dentro del prototipo fue un 12% menor que en el ambiente exterior, sin embargo presentaba muchas fluctuaciones por efecto de las variaciones de la temperatura. La humedad del grano al cuarto día fue de 7,4%.

En el tratamiento 2 (con un día de presecado) se activaron tres termoventiladores para el control de la temperatura. El día uno de la gráfica corresponde al presecado en condiciones ambientales fuera del prototipo. A partir del segundo día, la humedad se mantuvo en un rango entre 30,8 y 53,2% (un 53% menor a la humedad relativa del ambiente) y la temperatura estuvo entre los 36,4 y 40°C. Este podría constituirse en el tratamiento donde el ambiente del prototipo estuvo bajo control y se pudo establecer condiciones ideales de secado. La curva de humedad del grano fue más homogénea y alcanzó un 7,5% al final del cuarto día.

En el tratamiento 3 (dos días de presecado) se activaron dos termoventiladores, la humedad relativa dentro del prototipo estuvo entre los 28,5 y 78% y la temperatura entre los 30,6 y 45,2°C. Al cuarto día el grano estaba con un 7,36% de humedad.

4.2.2 Humedad del grano de cacao

Gráfico 3. Humedad (%) de cacao durante el secado dentro y fuera del prototipo



El grano de cacao al salir del cajón fermentador contenía un 60% de humedad, la mayor pérdida de humedad se produjo en los dos primeros días y correspondió al agua libre o superficial. Al final de este periodo, el grano alcanzó una humedad del 25%. Una vez alcanzado este punto crítico de humedad, la pérdida de agua fue más lenta y correspondió a la humedad interna del grano.

En los tratamientos 1 y 2 (sin presecado y con un día de presecado), la pérdida de humedad superficial fue muy brusca, posiblemente porque el grano fue sometido a temperaturas muy altas, lo cual se reflejó en una cantidad importante (>8%) de granos arrugados o arrebataados, afectando el sabor del grano como se verá más adelante. En el tratamiento 3 (con dos días de presecado) la pérdida de agua superficial fue realizada a temperatura ambiente durante el presecado, el grano no se arrebató y mantuvo su consistencia, por lo tanto inferimos que éste sería el mejor tratamiento.

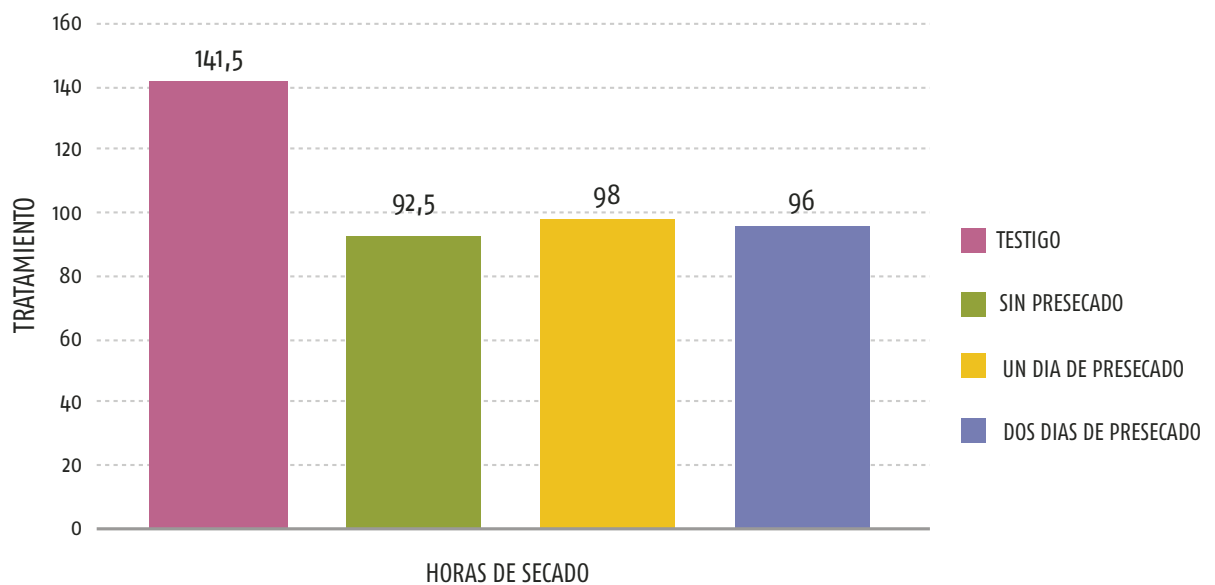
En condiciones de secado tradicional, la curva del testigo en el gráfico 3 nos muestra que una vez que se alcanza el punto crítico, el grano tiende a reabsorber humedad durante la noche por el incremento de la humedad en el ambiente y las bajas temperaturas, incrementando el riesgo de enmohecimiento de los granos.

Dentro del prototipo no existieron diferencias en la velocidad de pérdida de humedad interna entre los tratamientos, y las curvas de humedad del grano fueron más homogéneas.

4.2.3 Duración del periodo de secado y rendimiento

En todos los tratamientos dentro del prototipo, el grano de cacao logró alcanzar valores cercanos al 7% de humedad en 4 días, frente a los 6 días que se requirió para llegar al mismo contenido de humedad en condiciones de secado tradicional.

Grafico 4. Comparación del tiempo de secado del grano de cacao nacional en condiciones de secado tradicional y dentro del prototipo con diferentes tratamientos



Los granos de cacao secados en el prototipo tardaron en promedio 95,5 horas, 46 horas menos que el tiempo requerido (141,5 horas) bajo condiciones de secado tradicional.

En cuanto al rendimiento, los lotes secados en el prototipo tuvieron una relación de grano fresco a grano seco de 3,02:1, en promedio; mientras que para el lote testigo esta relación fue de 3,65:1.

4.2.4 Flujo de producto

En un periodo de producción de tres meses, con cosechas quincenales y un proceso de post cosecha consistente en seis días de fermentado, dos días de presecado en mesa, con estera cubierta de agrofilm, y dos días de secado en el prototipo, se podrían procesar un total de 24 lotes de 100 kg de grano fresco o 17,27 qq de grano seco. En contraste, durante el mismo periodo de cosecha y condiciones de post cosecha, utilizando la mesa tradicional se procesarían 12 lotes de 100 kg de grano fresco o 7.2 qq de grano de cacao seco, lo que representa una diferencia del 139% en favor del prototipo.

4.3

Calidad del grano

Las muestras de cacao de todos los lotes fueron enviadas al Laboratorio de Análisis y Servicios de Asesoramiento en Alimentos (LAYSAA) en la ciudad de Cochabamba, para realizar el análisis sensorial y de calidad de los granos. Los resultados se muestran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Resultado del análisis sensorial de cacao nacional

Lote / Tratamiento	% de granos fermentados	Resultados del panel sensorial
Lote 5 / Testigo (secado tradicional)	100	Levemente amargo, sabor con tendencia frutal con notas cítricas, se nota el sabor predominante del cacao.
Lote 6/ Tratamiento 1 (sin presecado)	99	Levemente amargo y astringente. Sabor a florado.
Lote 10/ Tratamiento 2 (con un día de presecado)	98	Levemente amargo y astringente. Sabor con tendencia a frutal. Se nota aun el contenido de ácidos y taninos.
Lote 8 / Tratamiento 3 (con dos días de presecado)	100	Levemente amargo. Sabor a florado. Se puede notar el sabor predominante del cacao.

Los cuatro lotes obtuvieron valores de granos fermentados que nos indican sobrefermentación, lo que se comprueba con el resultado sensorial de "levemente amargo". Adicionalmente, los lotes 6 y 10 tuvieron "sabor astringente", lo que podría estar influenciado por el presecado a altas temperaturas dentro del prototipo, creando una costra que impidió la pérdida de ácidos grasos volátiles y purinas. Esto ha sido corroborado por Jiménez (2000), que menciona que con el secado violento se interrumpe la hidrólisis enzimática de las antocianinas, generando granos púrpuras que le confieren un sabor astringente, a la vez que se endurece la testa del grano impidiendo la salida de ácidos volátiles que se concentran en el grano.

Los lotes 5 y 8 presentan un mejor perfil sensorial, atribuido posiblemente al periodo de presecado que tuvieron ambos lotes. Estos presentan un perfil de sabores frutales y florales característicos del cacao fino y de aroma.

Características del prototipo de secador con ambiente controlado

5.1

Construcción del prototipo

Durante la construcción de la estructura tipo invernadero, se tomaron en cuenta las siguientes condiciones:

Tipo de suelo

Se eligió un terreno que no permitiera el estancamiento de agua.

Topografía

Se seleccionó un lugar con pendiente, el área principal se orientó hacia el norte con la finalidad de captar de manera eficiente los rayos solares.

Radiación solar

El prototipo está construido de este a oeste para aprovechar al máximo la radiación solar.

5.1.1 Piso

El piso de cemento tuvo por objetivo aislar el módulo de la humedad proveniente del suelo, la altura de esta obra civil está a 15 cm sobre el nivel del suelo. Para la construcción del piso se siguieron los pasos siguientes:



A. Deshierbado y nivelado del terreno



B. Solado de la superficie



C. Excavación para montaje de anclaje



D. Anclaje de columna



E. Vaciado completo del concreto



F. Anclajes empotrados

5.1.2 Estructura

La estructura tipo invernadero fue construida con perfiles de hierro al carbono y pintada con pintura anticorrosiva. Las paredes y techos fueron recubiertos con hojas de policarbonato translúcido. Las uniones fueron fijadas con pernos de sujeción y selladas con silicona.



C. Armado de la estructura



D. Ensamblaje del policarbonato



C. Armado de la estructura



D. Ensamblaje del policarbonato



E. Ensamblado del techo



F. Ambiente cubierto completamente

5.1.3 Retroalimentación de aire caliente

Para optimizar la energía utilizada en el módulo de secado, se implementó un circuito de reingreso del aire calentado desde los extractores, teniendo una línea larga y una línea corta conectadas con tubos PVC y un cuello de ganso para condensar la humedad del aire caliente y retroalimentar el aire seco al interior del módulo.

Los sistemas de retroalimentación están conectados por debajo de la mesa, con la finalidad de enviar aire en sentidos opuestos, este aire es canalizado por una plancha instalada a lo largo de la mesa, cuya sección es un semicírculo. Además, incluyen paredes de planchas de poliestireno expandido (plastoformo) en ambos extremos de la mesa, con la finalidad de evitar que el aire se pierda por los extremos, logrando así la circulación dentro la sección de la plancha para facilitar que el aire atraviese la mesa de secado por sus orificios.



A. Sistema de reingreso de aire tratado - línea larga



B. Cuello de ganso



C. Sistema de reingreso de aire tratado - línea corta

5.2

Mesas de secado

Las mesas de secado se construyeron con planchas de acero inoxidable perforadas, con la finalidad de asegurar la inocuidad en el proceso de secado del grano de cacao. Tiene una capacidad de procesar 100 kg. La estructura de soporte de la mesa fue armada con perfiles de aluminio, debajo la mesa se colocó una plancha galvanizada, con el propósito de encauzar el aire caliente. Las dimensiones de las 2 mesas eran de 1m de ancho x 2 m de largo y 1m de alto.



A. Mesa de secado



B. Plancha de acero inoxidable



C. Plancha galvanizada

5.3

Equipos para el control del ambiente

Para mantener la temperatura y humedad constantes dentro del módulo, se instalaron 2 termoventiladores dispuestos en los extremos de las mesas, que funcionan con electricidad de la red.

Para regular la humedad relativa del ambiente durante el día, se instalaron cinco extractores de humedad, para extraer el aire húmedo evaporado de los granos, interconectados al sistema de retroalimentación.



Termoventiladores, extractores y ventiladores dentro el módulo

Adicionalmente, el prototipo cuenta con un sistema de ventilación activa, el mismo que envía aire sobre el lecho estático del grano de cacao. El sistema cuenta con 12 ventiladores pequeños (fan coolers) instalados a lo largo de la mesa de secado, que son accionados por un módulo fotovoltaico de 45 Wp. El sistema funciona de manera automática, conectado de manera directa al panel solar, al ser una carga pequeña no requiere corrientes elevadas de arranque y opera con baja corriente de 0,23 A y 12 V por ventilador.

5.4

Funcionamiento del sistema

5.4.1 Control de temperatura y humedad relativa dentro del prototipo

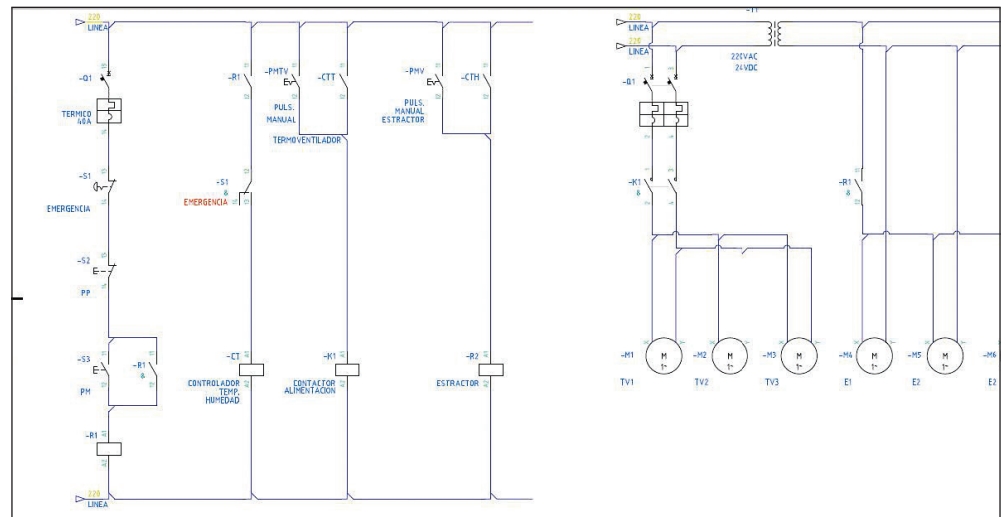
La temperatura y humedad son reguladas y controladas a través de un sistema automático de control, el mismo cuenta con 2 sensores, un sensor mide la humedad relativa y otro mide la temperatura dentro del prototipo, ambos están conectados a un controlador que acciona un ventilador que envía aire caliente o frío. Según la programación, se acciona el ventilador en su modo caliente para elevar la temperatura del módulo, así también envía una señal para que los extractores remuevan el aire húmedo.



A. Tablero de control



B. Sensores de temperatura y humedad



C. Circuito de mando

5.4.2 Componentes del panel de control

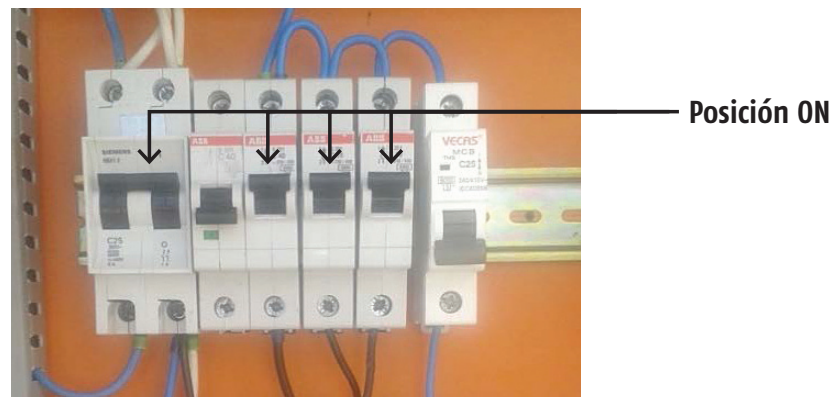


5.4.3 Operación del sistema

5.4.3.1 Modo automático

Para operar el sistema de un modo automático, se siguen los pasos siguientes:

Paso 1. Verificar que los interruptores termomagnéticos estén en posición ON (o), solo los que muestra la figura.



Paso 2. Pulsador de emergencia (1). Desenclavar girando a la izquierda, una vez desactivado los extractores se encenderán, lo cual comprueba la alimentación de 220 VAC al tablero de control.

Paso 3. Selector (3). Colocar el selector en "A" de modo automático.

Paso 4. Pulsador de marcha (4). Pulsar el botón verde, en ese instante se encenderá el controlador de temperatura y humedad.

El controlador empieza a monitorear la temperatura y la humedad del ambiente.

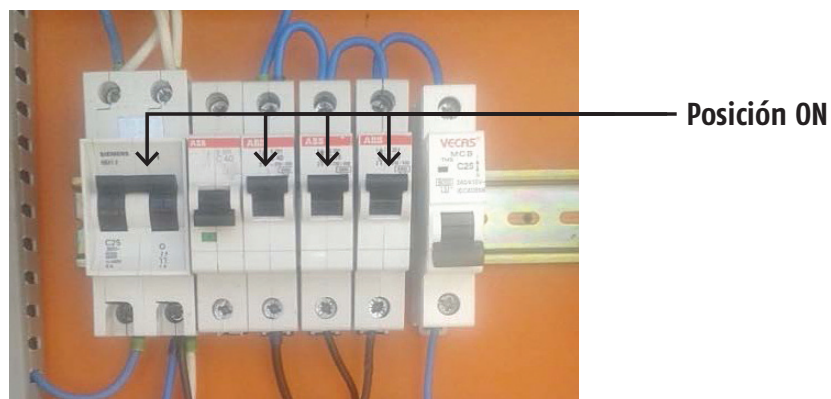
El sensor de temperatura monitorea la temperatura del ambiente. Si la temperatura sobrepasa el límite máximo se encenderá los termoventiladores en su modo frío, si está por debajo del rango establecido, se encenderán los termoventiladores en su modo caliente.

El sensor de humedad monitorea la humedad del ambiente, si la humedad se encuentra por encima del valor programado, se activan los extractores, y si está por debajo, los extractores permanecerán apagados.

5.4.3.2 Modo manual

Este modo permite forzar el encendido de los termoventiladores o extractores.

Paso 1. Verificar que los interruptores termomagnéticos estén en posición ON.



Paso 2. Pulsador de emergencia (1). Desenclavar girando a la izquierda, una vez desactivado, los extractores se encenderán, lo cual comprueba la alimentación de 220 VAC al tablero de control.

Paso 3. Selector (3). Colocar el selector en "M" de modo manual.

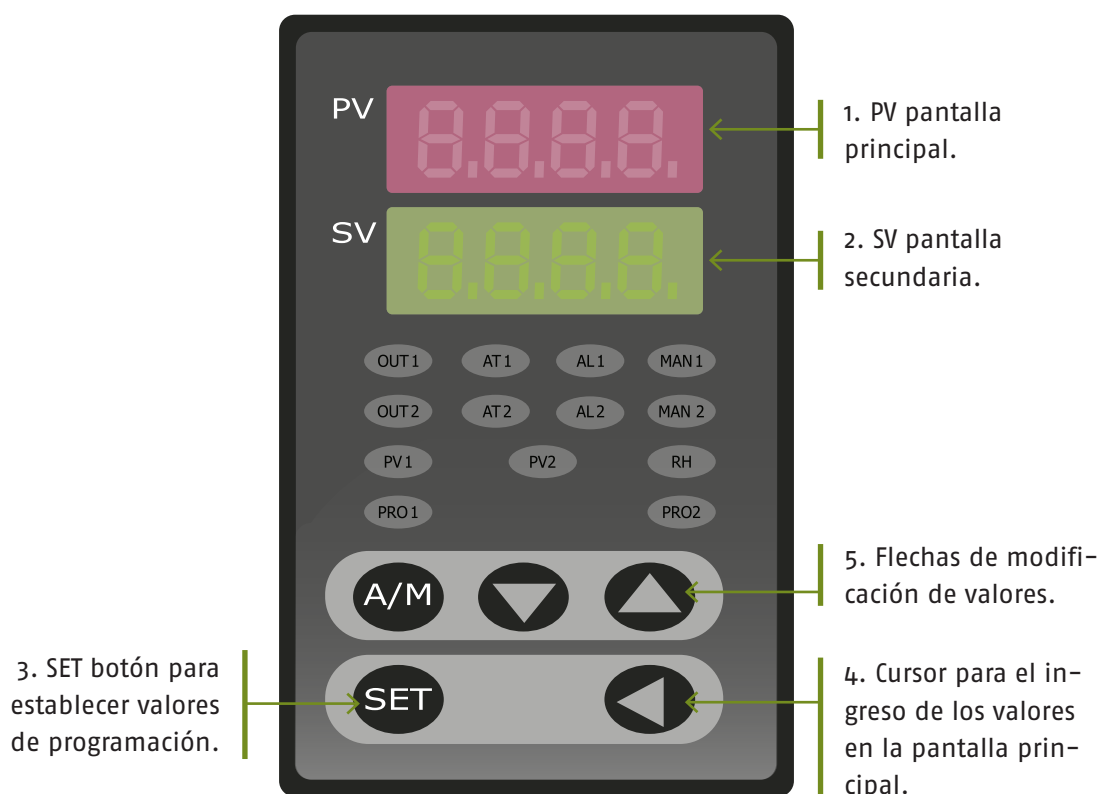
Paso 4. Activar o desactivar los termoventiladores con los pulsadores independientes ON/OFF; (6).

Paso 5. Activar o desactivar los extractores con los pulsadores independientes ON/OFF, (7) en el panel de control.

El Modo "0" del selector apaga el controlador, los termoventiladores y extractores.

5.4.4 Programación de temperatura y humedad

5.4.4.1 Componentes del controlador



5.4.4.2 Programación de la temperatura mínima

Paso 1. Presionar SET (3) hasta encontrar la sigla "AL1" encendida.

Paso 2. Ingresar presionando el cursor (4) hasta que parpadee el dígito requerido en la pantalla principal (1).

Paso 3. Con las flechas de modificación de valores (5), establecer el valor mínimo y presionar nuevamente SET (3) para confirmar.

La temperatura establecida corresponde al valor mínimo, es decir que cuando la temperatura ambiente del prototipo esté por debajo de este valor, los termostatos comenzarán a funcionar automáticamente.

5.4.4.3 Programación del rango de temperatura

Una vez configurado el valor mínimo de temperatura, para programar el rango, se seguirán los siguientes pasos:

Paso 1. Presionar SET (3) durante 5 segundos hasta que aparezca la letra "P" en la pantalla principal (1).

Paso 2. Con el botón SET (1) buscar en la pantalla principal (1) la sigla "HY1".

Paso 3. Ingresar presionando el cursor (4) hasta que parpadee el dígito requerido en la pantalla principal.

Paso 4. Con las flechas de modificación de valores (5), seleccionar el valor requerido para establecer el rango, y presionar SET (4).

Ejemplo: Si el valor mínimo de temperatura es de 35°C y es programado para que el valor máximo llegue a 40°C, se debe colocar 5 para establecer el rango 35-40°C.

En la pantalla principal aparecerá el valor actual de temperatura.

5.4.4.4 Programación de la humedad

Paso 1. Presionar SET (3) hasta que aparezca la sigla "LOP" en la pantalla principal (1).

Paso 2. Presionar el cursor (4) hasta que parpadee el dígito requerido en la pantalla principal.

Paso 3. Con las flechas de modificación de valores (5), cambiar el "VALOR 1" a "VALOR 2", en la pantalla principal (1) y presionar SET (3).

Paso 4. En la pantalla principal (1) aparecerá el valor de humedad relativa actual, y en la pantalla secundaria (2), el valor mínimo que está establecido, este último es el que se debe cambiar por el valor determinado.

Paso 5. Presionar el cursor (4) y buscar en la pantalla inferior la sigla "SV", hasta que empiece a parpadear. Con los botones de modificación de valores (5) establecer el valor mínimo de humedad para que funcionen los extractores.

Ejemplo: Si se requiere que los extractores empiecen a funcionar cuando el porcentaje de humedad relativa del ambiente sea de 40%, colocaremos ese valor de 40 en la pantalla. Cuando el % HR esté por debajo de este valor, los extractores dejarán de funcionar.

Paso 6. Una vez establecido el valor mínimo de humedad, presionamos SET (3) hasta que aparezca la sigla "LOP" en la pantalla principal (1).

Paso 7. Con las flechas de modificación de valores (5) cambiar pero esta vez del "VALOR 2" a "VALOR 1".

Paso 8. Presionar SET (3) durante cinco segundos para salir de la pantalla principal (1).

En la pantalla principal no aparecerán los valores de temperatura ni de humedad que acabamos de establecer, sino que aparecerán los valores de temperatura y humedad relativa actuales del prototipo, pero los valores establecidos anteriormente ya estarán guardados.

Capacitación a productores

Con el objetivo de transmitir conocimientos teóricos - prácticos que permitan a los participantes desarrollar sus capacidades para una buena operación y mantenimiento del módulo de secado implementado en la comunidad, se desarrollaron dos talleres en las instalaciones del centro de acopio y beneficiado de la asociación Chocolecos.

El primer taller se llevó a cabo el 29 de abril de 2014 con la participación de 26 productores (12 varones y 14 mujeres), de los cuales 13 eran personas mayores de 35 años y 13 menores de 35 años. Por iniciativa de los productores, se organizó el segundo taller con la participación de los hijos de productores, quienes serán los futuros operadores del secador de cacao.

El segundo taller se realizó en el 23 de agosto de 2014 y estuvo dirigido a jóvenes, hijos de productores, que además participaron activamente en la implementación de las mejoras al prototipo de secador. En este taller participaron 17 jóvenes entre 14 y 18 años de la Unidad Educativa de San José de Pelera, 11 hombres y 6 mujeres.

Los temas abordados en ambos talleres fueron:

- › Principio de funcionamiento del prototipo de secador.
- › Los componentes y funcionamiento
- › Encendido y apagado del sistema de control.
- › Mantenimiento del prototipo de secador.

Así también se ha realizado una retroalimentación al señor Omar Mejía como operador del módulo de secado, quien recibió una capacitación personalizada, en operación y mantenimiento del módulo de secado, así también la programación del controlador de temperatura y humedad.



A. Sesiones del primer taller



B. Sesiones del segundo taller



C. Sesiones del segundo taller

Análisis económico

El prototipo de secado es un modelo experimental que permitió generar información para mejorar las buenas prácticas en la post cosecha y establecer puntos críticos de control para la producción de cacao nacional de calidad. Por la escala en la que trabajamos, el prototipo de 8m² no es factible desde el punto de vista costo/beneficio.

El costo del prototipo de secado para esta experiencia fue de Bs. 25.220, cuyo detalle de materiales y equipos se encuentran en el cuadro 2. Entre los ítems más costosos se encuentra la mesa de secado, con plancha de acero inoxidable (30% del costo total), que podría ser sustituida por mesas de madera con lecho de malla sarán.

Cuadro 2. Costo (Bs.) de implementación de prototipo de secado

Ítem	Bs.
Estructura	11.575
Materiales	3.191
Policarbonato	4.565
Materiales de conexión	1.018
Panel solar	950
Tubos y codos	1.851
Equipos	2.212
Termoventiladores	750
Extractores de aire	1.030
Ventiladores de mesa	432
Mesa de secado	7.731
Materiales	1.326
Mano de obra	1.065
Plancha de acero inoxidable	5.340
Panel de control	3.702
Materiales y equipos	3.702
Total	25.220

Su implementación a nivel comercial requiere de ajustes en su dimensión para que sea rentable, así como incluir materiales de la zona, sin afectar la eficiencia en el secado.

La proyección del costo/beneficio de una nave de secado, a escala comercial, se podría basar en: a) el costo por m² del prototipo de Bs. 3.152,5 (USD 553) y b) la capacidad de procesamiento de grano seco de calidad de 800 kg/año/mesa.

Una nave de 56m² (14m x 4m) para albergar 6 mesas de secado, con un costo total de Bs. 176.540 (USD 25.365) y una capacidad de procesamiento de 4,8 toneladas de cacao seco/año, que podría generar ingresos netos de Bs. 40.000 (USD 5.830)/año, cubriendo el costo de la nave en 5 años.

Conclusiones y recomendaciones

La temperatura es un indicador fácil de medir y nos permite controlar el proceso de fermentado, principalmente en el inicio de la fase anaeróbica.

Se recomienda registrar la temperatura dos veces por día, la primera a las 10 de la mañana y la segunda lo más cercano a las 10 de la noche.

La temperatura del grano está condicionada por la temperatura y la humedad relativa del ambiente. El cajón fermentador debe estar protegido en un galpón techado, para evitar que el calor de la masa baje y los procesos bioquímicos se alteren.

El inicio del volteo o remoción del cacao se debe iniciar cuando la temperatura de la masa alcanza valores cercanos a los 45°C, esto ocurre hacia el tercer día bajo las condiciones ambientales del centro de acopio de la Asociación Chocoleco.

La fermentación debe detenerse una vez que la masa haya incrementado la temperatura hasta valores cercanos a 50°C (tercer, cuarto y parte del quinto día) y descienda nuevamente a los 40°C, esto ocurre entre el quinto y sexto día, bajo las condiciones ambientales de la Asociación Chocoleco.

El control de la temperatura para la finalización del proceso de fermentación no es muy fácil de determinar, por lo que se recomienda adicionalmente realizar pruebas físicas del grano.

El uso del prototipo está restringido a centros de beneficio de cacao centralizados en comunidades que cuenten con conexión a la red eléctrica promueve el uso productivo de la energía para optimizar el proceso, reduciendo el tiempo de procesamiento y logrando menos pérdidas.

El control del ambiente dentro del prototipo requiere al menos tres termoventiladores, lo cual representa un gasto energético de 75wats/hora, con un costo de 150 Bs./lote.

El sistema de recirculación de aire caliente para concentrar el calor demandará menos energía eléctrica para el funcionamiento de los termoventiladores. El sistema de ventilación con energía solar a nivel de las mesas permitirá bajar la temperatura más eficientemente durante el día, sin el uso de termoventiladores, con el correspondiente ahorro de energía eléctrica.

El presecado de dos días en condiciones de temperatura ambiental (alrededor de los 30°C) permite una pérdida homogénea de agua superficial y la volatilización de ácidos grasos y purinas, lo cual influye de manera positiva en el sabor final del grano. Una vez alcanzado el punto crítico, el secado puede ser realizado a temperaturas mayores y en menos tiempo.

El proceso de post cosecha ideal, desde el punto de vista técnico, de calidad de grano y flujo de producto, es entre 5 y 6 días de fermentado, iniciándose el volteo a los 45°C (entre el segundo y tercer día), dos días de presecado en las mesas con estera y dos días en el prototipo, retirando el grano a una humedad de 8%.

Bajo este sistema de post cosecha, la calidad de grano de cacao nacional puede ser mejorada sustancialmente en beneficio de los productores de la región.

El prototipo se ajusta para ser utilizado en el secado de frutas de la zona, por lo que podría tener un uso más eficiente durante el año.

El uso del secador de ambiente controlado podría ser rentable en una escala seis veces mayor al prototipo, considerando el potencial productivo de donde se instalaría.

Las ventajas del secador con ambiente controlado:

- › Inocuidad del producto.
- › La proliferación de mohos se reduce al mínimo con el control de la humedad relativa del ambiente.
- › Hay menos pérdida en la post cosecha, ya que la conversión es mejor que en condiciones tradicionales.
- › El periodo de secado puede ser reducido a dos días en comparación con el secado tradicional que tarda hasta 4 días.
- › El prototipo permite un flujo de producto dos veces mayor al secado en mesas tradicionales, en un mismo periodo.
- › La estructura es de larga duración, al menos 10 años.
- › No requiere mucha mano de obra, ya que un solo operador puede mantener el proceso controlado durante todo el periodo de cosecha.
- › La calidad de cacao puede ser mejorada sustancialmente y estandarizada para ingresar a mercados especiales que permitan la mejora de los ingresos de las familias productoras.

Desventajas

- › El costo de inversión es alto.
- › Requiere de entrenamiento previo para la manipulación del panel de control.
- › Su funcionamiento depende de la red eléctrica y está sujeto a cortes esporádicos.
- › El mantenimiento requiere entrenamiento en sistemas eléctricos.
- › Los equipos eléctricos, principalmente los termoventiladores, pueden dañarse con el sobreuso.

Bibliografía

- ENRÍQUEZ, G. 2004. Cacao orgánico: guía para productores ecuatorianos. INIAP. Manual N° 54 Quito, Ecuador. p. 360.
- JIMÉNEZ, J.C. 2000. Efectos de dos métodos de fermentación sobre la calidad de tres grupos de cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivados en la zona de Quevedo, Provincia de Los Ríos. Tesis Ing. Agr. Universidad Estatal de Bolívar. Guaranda- Ecuador
- ORTIZ, L., GRAZIANI, L., ROVEDAS L. 2009. Influencia de varios factores sobre características del grano de cacao fermentado y secado al sol. En: *Agronomía Tropical* 59(2).
- NOSTI, N. 1970. Cacao y café. Segunda edición. Editorial Revolucionaria. La Habana, Cuba.
- PALACIOS, A. 2008. Establecimiento de parámetros (físicos, químicos y organolépticos) para diferenciar y valorizar el cacao (*Theobroma cacao* L.) producido en dos zonas identificadas al norte y sur del litoral ecuatoriano. Tesis de Ing. Agr. Universidad Técnica de Manabí. Facultad de Ingeniería Agronómica. Manabí, Ecuador.
- RODRÍGUEZ, J. 2011. Estudio de compuestos volátiles de *Theobroma cacao* L., durante el proceso tradicional de fermentación, secado y tostado. Tesis Doctor en Ciencias de Alimentos. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México.
- SCHWAN, R.F., WHEALS, A.E. 2004. The microbiology of cocoa fermentation and its role in chocolate quality. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 44: 205-221
- SEMIGLIA, C. 1979. Estudio de varios métodos de fermentación en diferentes zonas cacaoteras del Ecuador. Tesis de Ing. Agr. Universidad Estatal de Guayaquil. Guayaquil – EC. 86 p.
- TORREZ, J. 2013. Diseño de un secador de cacao para la Parroquia El Paraíso del cantón Las Lajas de la Provincia del Oro. Tesis de grado. Ing. Alimentos. Universidad Técnica de Machala. Ecuador.
- ROHAN, T. 1964. El beneficio del cacao bruto destinado al mercado. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia. 223 p.





Mejoramiento de calidad de grano seco de cacao nacional a través del uso de energías renovables durante la post cosecha, para el beneficio de productores indígenas del norte paceño.

Proyecto ejecutado por:



Con el apoyo de:

