UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS

FACULTAD DE AGRONOMÍA

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

TRABAJO DIRIGIDO

EVALUACIÓN DE DIFERENTES MODELOS DE SECADORES SOLARES PARA GRANO DE CAFÉ (COFFEA ARÁBIGA) EN LA PROVINCIA CARANAVI

Presentado por:

JORGE HECTOR ROJAS ACEBEY

LA PAZ – BOLIVIA

2005

RESUMEN

En la comunidad de “Villa el Palmar” cantón Calama distante a 53 kilómetros del Municipio de Caranavi provincia Caranavi del departamento de La Paz, en instalaciones del Proyecto de “Apoyo a la cosecha y poscosecha de cafés especiales MOJSA” financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, se realizo el trabajo dirigido sobre evaluación de tres modelos de secadores solares para grano de café, secador solar activo, secador solar semi-activo y secador solar pasivo.

El objetivo es el de evaluar comparativamente la eficiencia, rendimiento y costos de los secadores solares en términos de disminución diaria de humedad, tiempo de secado y comportamiento del grano durante el proceso de secado.

Los resultados mostraron que el secador solar activo es el que presenta un mejor comportamiento en los parámetros de disminución diaria de humedad de 6 % en base húmeda (Bh) y un tiempo de 10 días de secado para las condiciones en las cuales se realizo el trabajo.

EVALUACIÓN DE DIFERENTES MODELOS DE SECADORES SOLARES PARA GRANO DE CAFÉ (*Coffea arábiga*) EN LA PROVINCIA CARANAVI

1 INTRODUCCION.

La necesidad de poder producir café (*Coffea arabiga var Typica)* de calidad, el cual es capaz de generar mayores ingresos económicos para el productor y el potencial de exportación, que se ven disminuidos de manera critica por un mal proceso post-cosecha dentro del cual la mayor dificultad se ve reflejada en el proceso de secado, lo que obliga a una evaluación de distintas alternativas de secado. En el presente trabajo se evaluó de manera practica tres modelos de secado ,tomando como referencia eficiencia, rendimiento y costo para cada modelo propuesto , con lo cual se espera poder dar una alternativa adecuada para el productor. La evaluación de los modelos se realizo en el Cantón de Calama sede del proyecto MOJSA, esta situado al norte del municipio de Caranavi, el tiempo de duración fue de 30 días, durante los meses de julio y agosto del 2000.

2 OBJETIVOS.

2.1 OBJETIVO GENERAL.

Evaluar la eficiencia, rendimiento y costo de tres modelos de secadores solares para grano de café

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Evaluar la disminución de humedad diaria y el tiempo promedio requerido para el secado de café hasta 12 % de humedad (base húmeda).
- Estudiar el comportamiento del grano durante el proceso de secado.
- Realizar una evaluación económica, de todo el proceso de secado.

3 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

3.1 ORIGEN

Según ANACAFE (1998), el cafeto es originario de Etiopía África. La especie arábica es indígena de la región que circunda el lago Tana , localizado en una latitud entre 12° y 16° latitud norte.

3.2 CLASIFICACIÓN

De acuerdo al CENTRO DE PREPARACION DE CAFÉ (1998), los arbustos que producen el fruto del café pertenecen al genero *coffea* , familia de las *rubiáceas* existen alrededor de cincuenta especies diferentes aunque sólo dos de ellas tienen importancia comercial: la *coffea* arábiga y la *coffea canephora,* la cual recibe el nombre vulgar de robusta.

FAMILIA : Rubiáceaes

GENERO : Coffea

ESPECIES : Coffea arábiga

Coffea canephora y cerca de cincuenta màs

La especie arábiga se desarrolla bien en terrenos planos e inclinados en altitudes entre 1000 y 2000 m.s.n.m. , mientras las robustas lo hacen bien en climas húmedos tropicales en altitudes desde el nivel del mar hasta los 600 m.

3.2.1 Composición química de la semilla

De acuerdo a estudios realizados por el CENTRO DE PREPARACION DE CAFÉ (1998), el café es una semilla de albumen córneo, en el cual se encuentran los cinco grupos de principios fundamentales que constituyen la materia viva: agua, materias minerales, glúcidos, lípidos y prótidos; también contiene ácidos orgánicos y clorogénicos, alcaloides y algunas vitaminas:

Agua: El café cosechado contiene entre 55 y 65 % de agua, por lo cual es necesario secarlo para conservar su calidad durante meses o años; además en los cafés húmedos ocurren lentas reacciones químicas que modifican su capacidad para elaborar productos sabrosos y aromáticos.

Minerales: La composición de las semillas de café varia según diferentes factores: temperatura alcanzada durante la torrefacción, duración del calentamiento, etc. El valor medio es de 3 a 4 % para el café verde. Los principales minerales son: potasio, sodio, calcio, magnesio, fósforo y azufre.

Proteínas: Los cafés verdes tienen de 11 a 15 % de nitrógeno total en forma de prótidos y alcaloides como la cafeína que no está libre sino en forma de sal soluble.

Existe una gran proporción de ácidos glutámico y aspártico, algunos aminoácidos azufrados como la cisteina y la metionina contenidos en las proteínas donde juegan un papel importante en la formación del aroma del café tostado.

Lípidos: Se encuentran en cantidad notable en la semilla (entre 14 y 18 % en los arábiga y de 9 a 12 % en los robusta) e influyen en la conservación de sus cualidades organolépticas; entre ellos se encuentran: ácidos grasos, glicéridos, fosfolipidos y materia insaponificable que representan cerca del 0.5 %.

Carbohidratos: Representan más de la mitad de la materia seca; contienen azúcares reductores (0.5 a 1.2 %), sacarosa (5.3 a 8.1 %), polisacaridos insolubles como hemicelulosa (21.9 a 23.1 %), celulosa (9.6 a 11.7 %) y lignina (1.1 a 3.2 %). (Su importancia radica en que proporcionan color y sabor a la bebida.)

Acidos y taninos: Los granos de café contienen diversos ácidos orgánicos sobre todo fenólicos, los cuales presentan caracteres de taninos.

Algunos taninos pueden ser clorogénicos que se encuentran en los granos como ácido clorogénico (4 a 8 %) en estado de clorogenato doble de cafeína y de potasio. Este compuesto se destruye en gran parte en el curso de la torrefacción (tostado del grano verde a elevadas temperaturas para que desarrolle las características aromáticas que permiten apreciar el café) liberándose el alcaloide. Se han identificado otros ácidos como: oxálico, málico, cítrico, tartárico y acético entre otros.

Cuadro 3.1 ***Composición química del café verde y tostado, como porcentaje en base seca***

COMPONENTE	CAFÉ VERDE (%)	CAFÉ TOSTADO (%)
Minerales Cafeína Trigonelina Lípidos Acidos clorogénicos Acidos alifáticos Oligosacáridos Polisacáridos totales Aminoácidos Proteínas	3.0 – 4.2 0.9 – 1.2 1.0 – 1.2 12.0 – 18.0 5.5 – 8.0 1.5 – 2.0 6.0 – 8.0 50.0 – 55.0 2.0 11.0 – 13.0	3.5 – 4.5 1.0 0.5 – 1.0 14.5 – 20.0 1.2 – 2.3 1.0 – 1.5 0 – 3.5 24.0 – 39.0 0 13.0 – 15.0

Fuente: ALMACAFE (1991)

3.3 BENEFICIO DEL CAFÉ

Para el CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998), el beneficio es el proceso al que se somete el café en cereza, para obtener el grano pergamino de trilla. El beneficio del café puede realizarse por vía húmeda o por vía seca.

3.3.1 Vía húmeda.

Se define como el procedimiento por medio del cual se obtienen los cafés lavados o suaves, debe aplicarse inmediatamente después de la cosecha y es la práctica anual en Colombia, México y Centroamérica; éste asegura la obtención de un producto de alta calidad.

3.3.2 Vía seca.

Es el proceso por medio del cual se producen los cafés denominados naturales o fuertes. Se aplica en Brasil principalmente. Acarrea menos trabajo y personal; ciertamente es más económico pero disminuye la calidad del café.

El proceso seguido es más sencillo que el de vía húmeda. Consiste en secar las cerezas sin desprenderlas de la pulpa, lo que permite que ocurra una reacción química que modifica el sabor (ya que no es removido el mucilago que cubre el pergamino).

El procesamiento se lleva a cabo mediante las siguientes operaciones :

-Lavado de las cerezas
-Secado (se extienden las cerezas al sol o se secan mecánicamente) y descascarado.

El secado tiene como fin reducir la humedad de los frutos hasta un 12 %. Se efectúa, con secadoras de aire caliente, por etapas, en aproximadamente una semana así mismo, se lleva a cabo el extendido al sol de los frutos en capas de cuatro a cinco centímetros de grosor. Revolviendo los frutos varias veces por día, el secado se efectúa en aproximadamente tres semanas.

El descascarado permite separar en una sola etapa las capas que envuelven los granos. Se efectúa de la misma manera que en el proceso húmedo.

Según PUERTA (1988), el proceso por vía seca consiste en el secado del grano de café cereza. La cáscara compuesta por la pulpa, el mucílago y el pergamino se retira por

medio de una máquina. Para secar el café en cereza se requiere más tiempo si se compara con el proceso de secado del café por vía húmeda. El color del café almendra beneficiado por vía seca es amarillo o café, en comparación con el grano de café procesado vía húmeda que es verde.

3.4 BENEFICIO HÚMEDO.

Para ANACAFE (1998), el beneficio húmedo del café comprende la recolección, el despulpado, la fermentación, el lavado y clasificación, el secado, el empaque y almacenamiento. Estos pasos tienen como objeto final dejar el producto como café pergamino seco de trilla.

Para PUERTA (1999), el proceso por vía húmeda comprende las siguientes etapas: recolección del café en cereza, despulpado, remoción del mucílago, lavado y secado hasta obtener café pergamino seco que luego se trilla para producir café almendra (café verde) para exportación. El proceso vía húmeda de café maduro sano y el control de las condiciones y equipos en cada etapa del beneficio permite obtener la mejor calidad de café.

A continuación se explican las diferentes operaciones del beneficio húmedo del café:

3.4.1 Recolección.

Según FIGUEROA y FISCHERWORRING (1998), las reglas básicas para la recolección son :

-Recoja únicamente los granos maduros que se desprenden con una ligera presión de los dedos, dejando los pedúnculos en las ramas (selección visual). Evite que junto con las cerezas vayan hojas, pedazos de palo, piedras o cualquier otro material. Si por alguna razón esto ocurre, limpie las cerezas antes de despulparlas.

- Haga las pasadas necesarias para evitar que los frutos se sequen en las ramas, ya que la máquina no los despulpa.

- Tenga cuidado de no dañar el cafeto, puesto que las heridas facilitan los ataques de plagas y enfermedades que perjudican la siguiente cosecha.

- Al esperar el traslado de la cosecha al beneficiadero, no deje el grano en costales o envases al sol. El calor, el amontonamiento y la poca ventilación favorecen la fermentación espontánea de la cereza, dando un café de inferioridad calidad.

- Despulpe el mismo día de la cosecha. Si por razones imprevistas no puede hacerlo, ponga las cerezas en una tina con agua limpia de manera que queden sumergidas.

- Dejar café en el suelo, constituye un medio de propagación de plagas, especialmente de la broca.

3.4.2 Despulpado.

El despulpado para el CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998), consiste en retirar del grano el epicarpio o pulpa, por medio de máquinas denominadas despulpadoras, las

cuales aprovechan la cualidad lubricante del mucílago; por presión sueltan los granos y mediante una corriente de agua se elimina la pulpa desprendida.

Es una operación delicada pues, si la semilla sufre daño, además de quedar susceptible al ataque microbiano, con la consecuente formación de grano mohoso y fermentado, se pueden originar defectos como el grano mordido, la guayaba y media cara.

Con un adecuado despulpe se obtiene una buena calidad física del grano y de máximo aprovechamiento; durante esta operación ocurre la primera transformación física del café, al convertirse de cereza a pergamino.

En está etapa del beneficio, las pérdidas se pueden presentar; principalmente por mal funcionamiento de las despulpadoras. Como consecuencia de ello, pueden aparecer los siguientes daños:

Granos mordidos.
Granos trillados.
Granos aplastados.
Granos parcialmente despulpados.

Una de las pérdidas más frecuentes y de mayor significación económica es la relacionada con el grano que va en la pulpa. La experiencia demuestra que las pérdidas por este concepto pueden ascender hasta un 2 % por cosecha.

De acuerdo a PUERTA (1998), en el despulpado se ocasiona también el defecto fermento, debido a períodos largos entre la cosecha y el despulpado y también. Por la falta de calibración de la máquina que puede originar la separación incompleta de la pulpa (granos guayaba).

3.4.3 Fermentación.

El tiempo de fermentación para FIGUEROA y FISCHERWORRING (1998), depende de las condiciones climáticas y puede variar entre 12 (clima caliente) y 36 (clima frío) horas. La sobré fermentación , por lo tanto, le dará un sabor amargo a la bebida y hará bajar su precio en el mercado.

Para el CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998), la fermentación consiste en una reacción anaerobia, en la que los microorganismos toman azúcares para producir alcoholes, ácidos y energía en forma de calor.

Cuadro Nº 3.2 ***Reacciones ocurridas durante la fermentación del café***

Fuente: ALMACAFE (1991)

Esta operación tiene por objeto remover el mucilago que cubre el pergamino y se lleva a cabo por

MICROORGANISMO	**COMPUESTO USADO**	**TIPO DE FERMENTACIÓN**	**PRODUCTOS PRINCIPALES**
Levaduras	Azúcares	Alcohólica Láctica	Alcohol etílico + CO2
Bacterias	Alcoholes	Acética	Acidos Acético

acción conjunta de las enzimas naturales del café y las enzimas de los microorganismos.

Se suceden cuatro tipos de fermentación: alcohólica, láctica, acética y butírica. No se debe permitir el desarrollo de la butírica porque produce los granos sobrefermentados. Si el café se sobrefermenta se mancha, pierde peso y se avinagra la almendra, resultando un café de mala calidad.

La fermentación se lleva a cabo durante un tiempo de 18 a 30 hrs, dependiendo de la temperatura ambiente, la madurez del café, el diseño de los tanques de fermentación, la calidad del agua y de la altura de la zona.

En el momento en que el café esta a punto de lavado debe detenerse la fermentación, de lo contrario, las bacterias continúan actuando y producen ácidos en concentraciones altas, en especial el butírico y propiónico, los cuales alteran el color del café, le transmiten olores desagradables y al preparar la bebida se manifiestan sabores y aromas indeseables.

3.4.3.1 Fermentación incompleta

Para el CENTRO DE PREPARACIÓN DEL CAFÉ (1998), una fermentación incompleta ocasiona los siguientes defectos:

-Se dificulta la separación de las diferentes calidades de café, al hacer el lavado en el canal.
-El secado es más demorado y por consiguiente más costoso.
-Al quedar mucílago cuando se lava el café especialmente en la ranura del grano, desarrollan hongos que dañan la almendra durante el almacenamiento.

3.4.3.2 Sobre fermentación

Una sobre fermentación ocasiona:

-El café sale con el pergamino sucio, razón por la cual puede ser rechazado en el mercado

-Café avinagrado, que va a dar finalmente una bebida de mala calidad.

-Perdida de peso en el café

3.4.4 Lavado

FIGUEROA y FISCHERWORRING (1998), recomiendan cuando el café está en el punto apropiado de fermentación se debe lavar inmediatamente con objeto de eliminar todo el mucílago de la superficie del pergamino. Toda demora es inconveniente, porque existen perdidas de peso del grano y de la calidad de la bebida, el pergamino se debilita y aumenta su cantidad de trilla durante el secamiento.

El punto de lavado o suspensión de la fermentación coincide con la formación de ácido acético, por lo cual su olor es a vinagre. Si la fermentación se prolonga se produce ácido propiónico y ácido butírico que dan sabores desagradables a la bebida.

Se pueden cuantificar pérdidas por los siguientes aspectos:

Café con olor a podrido, cuando se usan aguas sucias.

Café avinagrado

-Retraso en el secado y mayor pérdida de peso.

-Pergamino manchado (al iniciar el proceso de secado, continúa una fermentación secundaria que mancha el pergamino, causando mal olor y mal sabor a la bebida).

Para PUERTA (1999), el lavado se efectúa con el fin de eliminar del grano de café los productos de la fermentación que ocasionan sabor agrio a la bebida de café si no se retiran rápidamente. Se utiliza agua limpia para evitar la contaminación y el defecto sucio en la bebida de café.

3.4.5 Secado.

Según FIGUEROA y FISCHERWORRING (1998), el secado influye determinantemente en la calidad del café por lo cual debe realizarse cuidadosamente. Existen básicamente dos tipos de secado: natural o al sol y el artificial en silos. La mejor calidad, sin embargo, se obtienen secando el café al sol.

3.4.5.1 Secado al sol.

-El café es escurrido inmediatamente después de lavado, acto seguido se coloca a secar en tarimas, esteras o secadores de anjeo (bastidores de lienzo u otro material), esparciendo únicamente capas delgadas de grano para garantizar un secado uniforme y revolviendo el café varias veces al día.

-No se debe secar el café sobre piso de tierra, lonas o plásticos extendidos sobre el suelo, ya que el café se impregna de un olor a tierra, o se desarrollan mohos lo cual influye de forma negativa en su calidad y precio.

3.4.5.2 Secado mecánico.

-Consiste en utilizar una fuente calórica producida por hidrocarburos, leña , u otros materiales combustibles, donde a partir de intercambiadores de calor se inyecta aire caliente sobre la masa de café, la cual puede ser estática o en movimiento dependiendo del tipo de silo secador.

-Se recomienda para fincas con una producción superior a 25.000 Kg anuales y/o donde el secado natural se dificulta demasiado por la época de lluvia.

-Secadoras a leña o a cascarilla de café reducen considerablemente el tiempo de secado:

- secado natural: 5 a 10 días (76 horas de sol)
- secado artificial: 30 a 36 horas de secado continuo.

-La temperatura no debe sobrepasar los 60°C para que el grano no se cristalice. (CENICAFE recomienda no exceder de los 50°C)

-En el proceso de secado, la humedad del grano se reduce aproximadamente de un 56 % a un 11 ó 12 % después del lavado.

3.5 DEFECTOS DEL GRANO.

Para la FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS (1993), antes de estudiar los defectos del grano, es necesario plantear las siguientes definiciones:

- **Café pergamino :** Es el café verde o crudo, cubierto por el endocarpio (pergamino cascarilla), el cual protege al grano durante el almacenamiento. El pergamino tipo federación debe ser fresco.

- **Café almendra o verde :** Es el café al cual se le ha retirado la cáscara o pergamino, por medios mecánicos.

-**Pasilla:** Es todo grano de café que presente cualquier defecto.

- **Pasilla de clasificación manual o electrónica:** La constituyen granos de igual densidad a la del grano sano del lote y los cuales no se pueden extraer por medios mecánicos, es necesario hacerlo a mano o por medio de equipos electrónicos por selección de color.

- **Pasilla de clasificación mecánica:** Son los granos defectuosos, de menor densidad que la del café sano y se extraen por medios mecánicos que trabajan a base de aire.

La federación, con base en su experiencia, en los estudios que ha realizado y en las necesidades del mercado, ha establecido una lista de defectos del café almendra que debe ser seguida para obtener siempre la mejor calidad en taza. En la siguiente tabla se indican algunos aspectos de estos defectos.

Cuadro Nº 3.3 ***Origen de los principales defectos del café almendra***

CULTIVO, BENEFICIO Y TRILLA DEL CAFÉ	**DEFECTOS PRESENTES EN EL GRANO**
1. CULTIVO: a) Enfermedades b) Deficiencias nutricionales	Malformado, vano, picado por insectos y fruto parcial o totalmente seco Malformado, pequeño e inmaduro.
2. RECOLECCIÓN	Malformado, pequeño, decolorado, inmaduro, aplastado y materias extrañas.
3. DESPULPADO	Mordido
4. FERMENTACION	Manchado, vinagre y decolorado.
5. LAVADO	Vinagre y manchado.
6. SECADO	Negro, cardenillo, vinagre, cristalizado, decolorado, aplastado, flotador o balsudo, flojo y café sucio.
7. ALMACENAMIENTO	Vinagre, cardenillo, decolorado; y café: reposado y sucio
8. TRILLA	Partido, aplastado y astillado.

Fuente: FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS (1993).

3.6 SECADO.

MARQUES (1991), define el secado de granos como el método universal de adecuar los granos mediante la eliminación del agua hasta un nivel que prevenga el crecimiento de hongos y bacterias, de manera que se conserve el aspecto y la calidad nutritiva del grano como alimento, o su viabilidad como semilla. El nivel seguro de humedad para el almacenamiento de granos se encuentra entre el 10 y el 13 %, base húmeda para las

principales especies, dadas las condiciones medias de temperatura y humedad relativa en América Latina.

Para el CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998), el secado es la operación con la que se disminuye la humedad del grano hasta un 10 a 12 %, de tal forma que se pueda almacenar sin riesgo de adquirir mal olor o sabor.

El secado del café es la etapa del beneficio en donde se corre el mayor peligro de deterioro de la calidad del grano y es así como 8 de los 16 defectos del café se suceden en está etapa; por esta razón se debe realizar con especial cuidado.

3.6.1 Humedad del grano.

Para ROA M., *et.al.* (1999) La humedad es el factor individual de control más importante para la conservación adecuada de los granos. El valor del 12 % de humedad corresponde al máximo valor bajo el cual se puede almacenar el café en condiciones ambientales, durante varios meses sin deterioro. Por encima de este valor las actividades fisiológicas de postcosecha como la respiración, se realizan con alta intensidad y para esto el grano consume energía propia de su materia seca y se libera calor, lo cual se traduce en perdida de peso, malas condiciones de almacenamiento y perdida de la calidad del producto.

Según el CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998), el grano que se va a almacenar debe ser acondicionado para evitar su deterioro. El rango de contenido de humedad permitido para el grano de café está entre 10 y 12 %.

3.6.2 Humedad en base húmeda y base seca

Según DE DIOS (1996), se sabe que la medición de la humedad del grano se fija sobre la llamada "base húmeda", es decir, la cantidad de agua que tiene el grano en total, o sea, sobre su peso de materia seca mas agua. Es el dato que dan los humedímetros comunes usados en el comercio.

Pero en ciertas operaciones, sobre todo para trabajos científicos, es preferible usar la humedad en "base seca", que es la cantidad de agua que tiene el grano en relación solamente a la cantidad de materia seca. Esta humedad será siempre mayor que la anterior.

3.6.3 Relación entre humedad relativa y humedad del grano.

Para DE DIOS (1996), cuando un grano se encuentra durante un tiempo suficientemente prolongado en un ambiente con determinada humedad relativa y temperatura, adquiere un contenido de humedad en equilibrio con dicho ambiente, es decir, no absorbe ni pierde agua, mientras el ambiente, por supuesto, no varíe su humedad y temperatura.

Los granos que tienen un alto contenido de aceite, como soja y girasol, absorben menos agua que granos en los que predomina Un endosperma harinoso, como maíz y trigo, para un mismo ambiente. Absorben menos agua, pero la tienen más concentrada en un menor volumen de grano, pues el aceite y el agua no se mezclan. Por este motivo, esos granos oleaginosos deben ser conservados en los almacenamientos a menores contenidos de humedad.

Para el CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998), graficando los valores del contenido de humedad de equilibrio del grano y los de la humedad relativa del aire para diferentes temperaturas, se obtienen los diagramas conocidos como *curvas de equilibrio* que son diferentes para cada producto.

Con un gráfico de curvas de equilibrio, se puede predecir si el grano gana o pierde agua cuando hay cambios en las condiciones del aire y estimar el contenido de humedad de equilibrio que alcanza el grano bajo ciertas condiciones (temperatura y humedad).

Cuando hay cambios en las condiciones de almacenamiento, el grano es afectado en el contenido de agua buscando el equilibrio con las condiciones ambientales:

- Si el cambio es una disminución de la temperatura generalmente va acompañado por un aumento de la humedad relativa y el producto almacenado absorbe agua para alcanzar el equilibrio; estas condiciones favorecen el deterioro del grano, debido a que el incremento de la humedad hace que los microorganismos dispongan de más agua, favoreciéndose de esta manera su desarrollo.

- Si hay un aumento de temperatura se presenta además una disminución de la humedad relativa y el grano pierde agua para alcanzar el equilibrio; en este caso no hay riesgos de deterioro del grano, pero si puede llegar a presentarse secado del grano con los consabidos efectos económicos.

Para MARQUES (1991), en el secado y almacenamiento, el concepto más importante es el contenido de humedad de equilibrio. Así se denomina al intercambio reciproco de humedad entre materiales higroscópicos, tales como los granos, y el aire que los rodea.

3.6.4 Merma y pérdida de peso

Para DE DIOS (1996), la merma de secado se define como la reducción de una cantidad de grano en peso por acción de la extracción de humedad, mientras que una perdida de secado sería cuando se seca excesivamente, por debajo de una base admitida, problema que conocemos por "sobresecado", ya sea por fallas en el uso de la secadora.

3.6.5 Pérdidas de secado y sobresecado

De acuerdo al CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998), la temperatura del aire no debe sobrepasar los 50°C. Las perdidas económicas en el secado tienen como causa común el sobresecado que sufre el producto, a partir de un contenido de humedad del 12 %, que es la norma establecida.

Otras fallas no cuantificadas económicamente, que pueden presentarse en el secado y que causan deterioro en el pergamino, almendra y bebida son :

- Secado insuficiente (humedad final mayor al 12%).
- Secado disparejo.

-Contaminación del café.

-Café blanqueado.

-Grano manchado.

-Pergamino sucio.

Si la temperatura de secado sobrepasa el límite establecido, el grano se puede cristalizar, decolorar, blanquear, manchar o negrear, especialmente cuando se rehumedece.

3.7 ASPECTOS GENERALES DEL SECADO.

Según MARQUES (1991), la importancia del aire como agente de secado para granos de café hace necesario hacer una referencia a la psicrometría que se define como aquella rama de la física íntimamente ligada a las propiedades termodinámicas de la mezcla de aire seco y vapor de agua revisten gran interes en la etapa de post-cosecha de productos agrícolas, por el efecto que tiene la humedad del aire atmosférico sobre el contenido de humedad de los productos.

En el secado a bajas temperaturas en particular la tasa de secado depende de la capacidad del aire para evaporar la humedad (potencial de secado), la cual es determinada por las condiciones psicrométricas del aire temperatura y humedad relativa.

3.7.1 Fenómeno de Sorción.

Según MARQUES (1991), el agua contenida en los granos se presenta en distintas formas, en función de la naturaleza de las ligazones químicas que existen entre los componentes de la materia seca y las moléculas de agua, lo que determina los diferentes niveles de hidratación del producto.

Una parte del agua está estrechamente vinculada con la sustancia adsorbente. Se compone de una capa monomolecular ligada a determinados agrupamientos moleculares fuertemente polarizados, tales como los hidroxilos (-OH). Puede estar combinada con la sustancia por medio de ligazones químicas o sea, es parte integrante de una sustancia dada .

También se encuentra en los granos una cantidad de agua contenida en una capa polimolecular que se fija sobre la aludida capa monomolecular . Las distintas capas monomoleculares que componen la capa polimolecular están ligadas a la materia por medio de ligazones electromagnéticas y forman agua pseudoligada no solvente, sin papel biológico y fuertemente adsorbida.

Los granos contienen además agua liquida bajo tensión osmótica. Se trata de agua solvente que retienen diferentes sustancias en las células del material biológico; aparece débilmente adsorbida. Cumple un papel biológico y puede permitir las reacciones químicas (enzimáticas), además del desarrollo de hongos se elimina, en gran parte, con el secado.

Cierta cantidad de agua se puede mantener libremente en los espacios correspondientes a los poros de los granos, es decir, se mantiene débilmente en el sistema gracias a fuerzas capitales. Esta cantidad de agua se conoce como agua de impregnación o agua libre, las paredes celulares la retienen mecánicamente en el grano. La presencia de agua libre en el grano lo inhabilita para el almacenamiento, puesto que puede favorecer el desarrollo de hongos y bacterias. Este tipo de agua se evapora fácilmente en el secado.

El termino general “sorción” se usa para denotar esta interacción agua-sustancia adsorbente. Los términos generales adsorción y desorción se usan especialmente para denotar el proceso de ganar o perder agua por medio de sorción.

3.8 SISTEMA DE SECADO.

3.8.1 Secado natural

Según MARQUES (1991), se entiende por secado natural aquél en que el movimiento del aire de secado se debe a la acción de los vientos, y la energía para evaporar la humedad proviene de la capacidad de secado del aire y de la incidencia directa de la energía solar. Para reducir el tiempo de secado es común construir patios de secado o secadores simples que aprovechan la acción del viento y la energía solar .

Existen algunas estructuras simples para el secado natural de granos, cuyo uso ha sido comprobado en algunas regiones de América Latina . Su utilización depende, en general del clima del lugar y tienen en común que son simples y fáciles de construir; su costo es bajo y los materiales de construcción se encuentran fácilmente en la localidad.

3.8.2 Secado a baja temperatura.

Para MARQUES (1991), el secado a bajas temperaturas es el método artificial de secado que utiliza aire natural o ligeramente caliente (1 a 5 °C arriba de la temperatura ambiente). Generalmente, este proceso se realiza en silos secadores-almacenadores, donde el producto permanece almacenado después del secado.

El secado a bajas temperaturas es similar al secado natural en el campo. El producto pierde humedad hasta que se establece el equilibrio entre la humedad del aire y la humedad del grano. Como este proceso es lento, al final casi toda la masa de granos queda en equilibrio térmico e Hidroscópico con las condiciones psicrométricas del

ambiente. La diferencia entre los dos tipos de secado lo constituye la forma de mover el aire: en el secado a bajas temperaturas, el aire es forzado a pasar por la masa de granos por medio de un ventilador, mientras que en el campo, el secado se realiza por la acción del viento.

Para DE DIOS (1996), este tipo de secado se realiza en silos secadores, equipos que generalmente están formados por un silo metálico apropiado para estos fines. Se utiliza sólo el aire natural, o levemente calentado. El procedimiento es relativamente simple, económico y mantiene una buena calidad de grano, pero se deben cumplir una serie de requisitos, que pueden enumerarse como sigue:

-La humedad inicial del grano no debiera ser superior a 20%.

-El caudal de aireación debe ser bastante elevado; cuanto mayor sea el caudal, mayor es la velocidad del frente de secado, pero debe tenerse presente que ese mayor caudal requiere un motor más potente.

-Son preferibles para esta tarea los silos de fondo plano perforado, porque la aireación es así mucho más efectiva.

-Cuando se ha llegado a un 14,5 - 15% de humedad de grano en gran parte del silo, la aireación puede limitarse a los períodos en que la humedad relativa sea menor al 70%.

-Aconsejable soplar o insuflar el aire de abajo hacia arriba y viceversa, en lugar de aspiraren un solo sentido. Es más efectiva la aireación de esa forma, tiene la ventaja de no remover la masa de café.

-Si fuera posible, es oportuno llenar el silo sólo hasta la mitad, pues ello facultará obtener un caudal doble de aire por unidad de volumen comparado con un silo totalmente lleno. Por esto un llenado bien controlado del silo puede ser una herramienta adecuada para mejorar el proceso. Cuanto menor sea la altura del grano, mayor será el caudal y más rápido el secado.

-En definitiva, el secado a baja temperatura es muy eficiente térmicamente. En un sistema bien manejado el consumo específico puede ser reducido hasta un valor cercano al calor de vaporización del agua (unas 600 kcal/kg de agua).

-Este método de secado a baja temperatura tiene algunos inconvenientes, que conviene explicitar:

a. El secado es lento, sobre todo cuando las condiciones atmosféricas son desfavorables.

b. Se requiere una suficiente cantidad de silos equipados, en particular cuando los volúmenes a secar son abundantes.

c. Se necesita un buen control periódico del estado del grano, sobre todo en la parte superior.

d. Se produce una mayor pérdida de materia seca que con el secado a baja temperatura. La razón es que al ser bastante largo el período de secado se

mantiene y acelera el proceso de respiración de los granos, por lo que se sigue consumiendo materia seca, pero la mercadería resultante es de mejor calidad.

De acuerdo a VALDECIR (1991), se denominan procedimientos de secado a bajas temperaturas aquellos que usan aire a temperatura ambiente o calentado en 3 a 5 °C, como medio de transporte de humedad y energía . En estos procedimientos se emplean bajos flujos específicos de aire (2.0 – 5.0 m3/min). Los bajos flujos de aire, junto con las condiciones de esté, hacen que los procedimientos de secado a bajas temperaturas sean típicamente lentos y tarden días o semanas en alcanzar la humedad deseada del producto.

3.9 SECADO DE GRANOS.

3.9.1 Necesidad de secado.

Para VALDECIR (1991), al comienzo de la etapa de madurez fisiológica, los granos presentan además del contenido máximo de materia seca, un elevado porcentaje de agua. El mayor inconveniente de la cosecha de productos húmedos es la necesidad de reducir su contenido de humedad a niveles seguros para su almacenamiento, siendo un proceso que exige un gran consumo de energía.

3.9.2 Efecto de altas temperaturas durante el secado

Según CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1993), elevar la temperatura a más de 50 °C con el objeto de intensificar el proceso de secado desnaturaliza las proteínas, el grano se puede cristalizar, decolorar, blanquear y se produce una muerte biológica del

grano, lo que influye directamente en la calidad final del grano, por tanto un secado solar del grano garantiza una mayor calidad final del grano, disminuyendo notablemente los riesgos de sobresecado , secado disparejo que se darían , normalmente realizando un secado mecánico del grano de café.

3.9.3 Deficiencias de secado.

De acuerdo a ZAPP (1999), uno de los problemas de calidad más grandes que se han identificado en el café boliviano, es aquel relacionado con un semi-secado en la zona de producción y luego un secado forzado en condiciones adversas para el grano de café de temperatura, presión y humedad relativa en La Paz; bajo estas condiciones el café “se arrebata” o “se blanquea”, es decir se deseca superficialmente generando un proceso destructivo de autosellado denominado en secado de granos como “case hardening”.

3.9.4 Peligros de un mal secado

La presencia de aflotoxinas (toxinas producidas por hongos ej. *Aspergillus flavus*), ocratoxinas (toxina fúngica que a veces se encuentra en los alimentos almacenados y que proviene del *Penicillium viridicatum*) debido a un proceso deficiente de secado (humedad mayor al 12 %) y almacenado hace que la calidad del grano disminuya notablemente incluso llegando a superar los índices permitidos de aflotoxinas que no debe sobrepasar de 0.5 partes por billón, llegando a constituirse en un riesgo para el consumidor.

De acuerdo a PACIN (1998), fueron detectados más de 500 micotoxinas producidas por diversas especies de hongos. Se han detectado diversas patologías en el hombre y los animales asociadas con la ingesta de alimentos contaminados por estas toxinas, la mayor

importancia sanitaria y económica de las micotoxinas destaco en particular las aflotoxinas, ocratoxinas.

3.9.4.1 Aflotoxinas.

Estas micotoxinas son producidas por el *Aspergillus flavus* y *A. Parasiticus*, pueden aparecer tanto durante el cultivo como en el almacenamiento. Las aflotoxinas actúan sobre las membranas celulares inhibiendo el ADN y la síntesis de ARN y la incorporación de amino ácidos y fosfolípidos, por lo tanto alteran el metabolismo de los lípidos. Es la sustancia biológica con mayor potencia carcinogenética; es mutagénetica e inmunosupresora.

3.9.4.2 Ocratoxina A.

Esta micotoxina es producida por numerosas especies de los generos *Aspergillus* y *Penicillium*, como *P. Viridicatum, P.verrucosum, A.ochraceus.* la ocratoxina A altera la homeostasis del calcio a través de la disrupción de la actividad de la bomba de calcio ATP-dependiente, en el retículo endoplasmatico de la corteza renal. Se ha demostrado la acción embriotóxica y se sospecha que sea carcinogénetica a nivel renal.

A similitud de otras micotoxinas, ocasiona inmunosupresión ya que inhibe la síntesis de inmuglobulinas y la producción de anticuerpos, favoreciendo infecciones secundarias

3.10 DEFECTOS DE GRANO PRODUCIDOS POR MAL SECADO.

La FEDERACIÓN DE CAFETEROS COLOMBIA (1993), cita los siguientes defectos por proceso deficiente de secado:

Negro total o parcial.

Grano con coloración del pardo al negro. Encogido, arrugado, cara plana hundida hendidura muy abierta. Causas:

-Falta de agua durante desarrollo del fruto.
-Fermentaciones prolongadas.
-Cerezas recogidas del suelo.
-Malos secados o rehumedecimientos

Cardenillo.

Es café atacado por hongos debido a su almacenamiento cuando el producto esta húmedo. El cardenillo es consecuencia de fermentación descontrolada o prolongada antes del lavado. También puede ser consecuencia de prolongadas interrupciones durante el secado. El hongo va destruyendo el grano por las partes más blandas, produciendo polvillo amarillo o amarillo rojiza.

Grano vinagre o parcialmente vinagre.

Se entiende como tal todo grano de café en almendra que presenta un color que va desde una tonalidad crema, hasta carmelita oscuro.

Se origina por sobre fermentación en el beneficio o almacenar húmedo el café y se caracteriza por tener olor a vinagre.

Grano cristalizado.

Es todo grano de café almendra de color gris azuloso, producido por exceso de temperatura en el proceso de secamiento. El grano es quebradizo. Aunque la Federación lo clasifica como defectuoso no lo castiga en la compra.

Grano decolorado.

Es todo grano de café que ha sufrido alteración en su color natural y se vuelve generalmente de color blanco, amarillo, gris oscuro o con vetas blancas y que se distingue del color de los granos sanos. La decoloración es causada por distintas irregularidades en el beneficio, especialmente por el mal secamiento. Se clasifica, de acuerdo con el color que presente, según los siguientes conceptos:

Veteado: Grano decolorado a causa de que se humedece después del secado inicial. Presenta vetas blancas.

Reposado: Grano decolorado por efecto de un almacenamiento prolongado o en condiciones adversas al mismo. Presenta colores que van desde el blanqueado, el crema
o amarillo, hasta el carmelito.

Sobresecado o quemado: Es un grano de café de color ámbar o ligeramente amarillento, producido por dejar el producto secando más del tiempo necesario.

Aplastado.

Grano marchito. Causas: Mal ajuste de la despulpadora. Inmadurez de la cereza. Pisar el café durante el proceso de secado. Trilla de café húmedo

Flojo.

Grande de color gris oscuro blando. Causas Falta
de secado.

4 MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1 MATERIALES

El trabajo dirigido se realizo en la comunidad de “Villa el Palmar” cantón Calama distante a 53 kilometros del Municipio de Caranavi provincia Caranavi del departamento de La Paz, en instalaciones del Proyecto de “Apoyo a la cosecha y poscosecha de cafés especiales MOJSA” financiado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD

4.1.1 Variedad

La variedad que se utilizó en la realización del trabajo de investigación es conocida como **Typica** Según ANACAFE (1998), en el campo también se le conoce como Arábigo. Esta variedad tiene una silueta de forma cónica, como un arbusto de porte alto, de 3.5 a 4 metros de altura. Algunos mercados muestran interés por este café, catalogándolo como cafés especiales.

4.1.2 Secadores Solares.

Secador Solar Activo (Tratamiento 1)

Por las características de funcionamiento y construcción este se encuentra catalogado como secador de baja temperatura. se denomina secado a bajas temperaturas aquellos que usan aire a temperatura ambiente o calentado en 3 a 5 °C.

Dimensiones Básicas

De acuerdo a ZAPP (1999), la densidad aparente del café seco es del orden de 380 Kg/m3 de tal manera que un equipo capaz de contener hasta una tonelada de café debería tener una capacidad del orden de los 2.5 m3. Si el secado de café demanda una presión en el aire de secado del orden de una pulgada de agua dentro del silo, para asegurar el flujo a través de una capa de café de 22 cms, el area de secado debería ser de unos 10 a 11 m2 . El área del colector solar para generar un millón de BTUs diarios bajo las condiciones de Calama se logran con 150 m2 de superficie aislada y cubierta.

Características del Secador Solar activo

Está constituido por un cuerpo de forma paralepipedo rectangular de 3.6 x 3.6 mts. de lado, con dos cámaras:

a) Un plenum inferior de 70 cms. de altura que distribuyen el aire de manera uniforme bajo el café, cubierto por una malla acerada y galvanizada que soporta el grano.
b) Una segunda cámara sobre el piso de malla que sirve para contener el café y que permite, por su altura el ingreso de un operario.

Para una capa de café de 20 cms., demanda un área de 13m^2 (3.6m x 3.6 m) lo cual determina el tamaño del silo de la siguiente manera:

Área activa del piso del silo = 13 m^2 Altura del plenum inferior = 0.7 m Altura de la cámara de secado = 1.90 m (1.7m + 0.2 m de café)

Equipo mecánico. se encuentra conformado por: a) La cámara de distribución de aire la cual recibe el aire caliente del ventilador y lo dirige a voluntad y con mínima turbulencia al plenum inferior o al plenum superior por medio de dos juegos de alabes directores y una compuerta de direccionamiento. El acceso del aire se realiza a través de un difusor que reduce la velocidad a 2 m/seg. b) El ventilador, con características: radial, 18.6“de diámetro, 3000 CFM, 600 rpm, rotor curvado hacia delante.

c) El motor de 4 tiempos a gasolina de 3 HP, 3600 rpm con un consumo aproximado de 1 litro de combustible por hora.

El colector solar.

El colector solar es elemento más importante de todo sistema para el uso directo de la energía solar, el cual transforma la radiación solar en energía para calentar el aire.

El funcionamiento básico del colector solar, que se emplea para pequeños aumentos de la temperatura del aire, consiste en recibir la radiación solar que incide en la superficie externa del colector, hecha de material transparente, generalmente vidrio o plástico. La radiación solar que atraviesa la película transparente del colector incide en una superficie interna, que se denomina absorbedora , y aumenta su temperatura. El flujo de aire calentado por contacto con esa superficie se aprovecha para el secado.

La forma del colector es de triangulo obtuso de 136°, de las siguientes características:

a) Área: de 150 m^2 en dos naves de 3.53 mts de ancho por 22 mts de largo.
b) Cubierta: continua triangular entre cables de acero a partir de agrofilm de 200 micrones de polietileno de baja densidad. c) Estructura: postes y estacas de madera para dar soporte a los cables con una altura máxima de 70 cms.
d) Superficie de captación: “Colchones” de polietileno negro (negro de humo como material de conversión de la radiación electromagnética) de 130 micrones. Con una capacidad de colectar 1000000 BTU/día, La energía disponible se estima conservativamente en 150 BTU/pie2-hora.

Secador solar semiactivo (Tratamiento 2).

Este modelo de secador pasivo, fuera de aprovechar el potencial de secado del aire natural, la energía solar proporcionada por un colector y una superficie de refracción (calamina) que actúa como un espejo dirigiendo los rayos solares hacia la masa de café promueve el calentamiento del aire, aumentando ese potencial y favoreciendo el movimiento del aire por convección natural.

Esta constituido por:

a) Un colector solar indirecto como es el agrofilm de 200 micrones, y que cumple la función de protección contra precipitaciones pluviales.
b) Un refractor solar formado por tres hojas de calamina que actúa como espejo calentando la masa de café. Que además sirve como tapa del secador durante la noche.
c) Una cámara de secado de 5.10 m^2, que alberga la masa de café sobre una superficie de malla plástica, con una capacidad de secado de 100 lbs de café pergamino seco.

Secador solar pasivo (Tratamiento 3)

El movimiento del aire se realiza por acción de los vientos y en que la evaporación de la humedad se deriva del potencial de secado del aire y de la influencia directa de la energía solar. Este tipo de secador consiste en una bandeja de secado de 2.55 m^2, que tiene una base de malla plástica con la capacidad de secar 50 lbs de café pergamino. Donde la masa de café esta expuesta directamente a los rayos solares.

4.1.3 Material de campo

Los materiales que se utilizaran para la realización del trabajo son :

- Sensores de temperatura
- Sensores de humedad

-Sensor de temperatura bulbo húmedo

- Secador activo
- Secador semiactivo
- Secador pasivo

-Balanzas

-Rastrillos agitadores de café.

-Humedimetro (Geole 400).

-Computadora, escáner e impresora.

-Cámara fotográfica digital y de revelado.

4.2 METODOLOGÍA.

El trabajo de investigación se evalúa la respuesta de tres modelos de secadores para grano de café para las condiciones ambientales del Cantón Calama en la provincia Caranavi.

La cantidad inicial para el proceso de secado fue de 600 lbs de café mote (52 % de H°) repartido entre los tres modelos de secadores solares, con 200 lbs de café mote para cada uno de los modelos propuestos..

Diariamente, y cada 2 horas a partir de las 8:00 hasta las 18:00, se realizó la toma de datos de temperatura, humedad relativa y bulbo húmedo, con una diferencia en tiempo de 5 minutos de la toma de datos entre cada modelo de secador solar. Al final de cada periodo de secado diario se hizo una medición del porcentaje de humedad del grano de café en base húmeda para tal efecto se utilizo el humedímetro Geole 400. Durante el tiempo que duró el secado y cada 2 horas se hizo una remoción de la masa de café con el rastrillo removedor tipo federación para evitar un secado disparejo, pero sólo en los modelos de secador pasivo y secador natural, ya que por su diseño el secador de baja temperatura no necesita de una remoción de la masa de café.

4.2.1 Tratamientos Propuestos :

T1= Secador solar activo T2= Secador solar semiactivo. T3= Secador solar pasivo.

4.2.2 Parámetros de Evaluación.

-Disminución diaria del porcentaje de humedad (%Bh) del grano de café.

-Tiempo y volumen de secado para cada modelo propuesto.

-Comportamiento del grano de café durante el proceso.

-Evaluación económica para cada modelo propuesto.

5. Resultados y discusión:

5.1.Disminución diaria del porcentaje de humedad.

Por medio del secado del café se disminuye el contenido de agua del grano, en el estudio realizado se obtuvieron los siguientes resultados en la disminución diaria del porcentaje de humedad del grano de café (% en base húmeda).

Cuadro 5.1 Disminución diaria del porcentaje de Humedad.

1	52	52	52
2	38.3	38.5	38.3
3	36.2	38.1	39.8
4	34.2	35.6	34.9
5	27	28.8	32.3
6	22.5	28.5	29.8
7	17.7	24.15	27
8	14.4	20.5	24.7
9	12.7	18.85	22.1
10	12.4	17	19.3
11	12	14.7	16.5
12		13.1	13.8
13		15.2	14.4
14		19.6	18.1
15		17.6	17.5
16		15.9	15.3
17		13.6	13.2
18		12.1	12.7
19		13.1	12.7
20		12.6	12.8
21		12.4	12.2
22		13	12
23		12	

El café pergamino húmedo tiene un contenido de humedad, generalmente del 52 % y se considera un producto perecedero. El contenido de humedad del café es un atributo de su calidad física. Las normas vigentes para la comercialización del café en pergamino, establecen que su contenido de humedad debe estar comprendido en el rango de 10 al 12 % de humedad.

5.1.1Análisis de Varianza (ANVA) para la disminución diaria del porcentaje de humedad (log+10).

Cuadro 5.2 Análisis de varianza para la disminución diaria del porcentaje de humedad (% Bh).

Ns

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Fc	Pr > F
Tratamientos	2	0.418	0.209	1.82	0.1734
Error	46	5.281	0.115		
Total	48	5.699			

C.V. 13.33 ns= No significativo.

Complementariamente al análisis de varianza se realizo una comparación de las medias de la disminución diaria del porcentaje de humedad, a través de la prueba de Duncan (α = 0.05). Con los siguientes resultados.

Cuadro 5.3 Comparación de medias Duncan

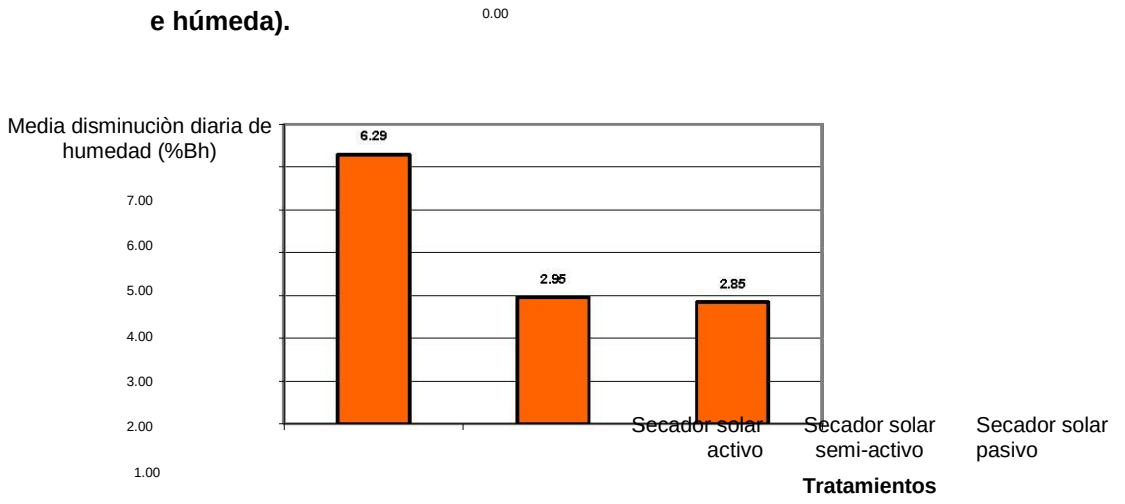
Dunc	Me

A 6.29 Secador solar activo ***A 2.95*** Secador solar semi – activo ***A 2.85*** Secador solar pasivo

Grafico 5.1

Disminución diaria del % de humedad(%Bh)

Disminución de humedad (% base húmeda).



De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 5.2) y a la prueba de comparación de medias Duncan, (Cuadro 5.3) para el parámetro disminución diaria del porcentaje de humedad (%Bh). No se han detectado diferencias estadísticas.

El grafico 5.1 detalla que en el parámetro de la disminución diaria del porcentaje de humedad (%Bh) en grano de café, obtuvo para el secador solar activo 6.29 % (Bh), secador solar semiactivo 2.95 % (Bh) y secador pasivo 2.85 % (Bh), de disminución de la humedad del grano de café por día de secado.

El mayor promedio de disminución diaria de humedad para grano de café de 6.29 % BH del secador solar activo incide directamente en la reducción del tiempo de secado, lo que demuestra la mayor eficiencia en términos de perdida de humedad y reducción en el tiempo de secado del secador solar activo, en relación al secador solar pasivo y secador solar semi-activo.

5.2.Tiempo de secado.

En el grafico 5.2 se observa las curvas de secado obtenidas de la evaluación de los tratamientos, considerando la variable de disminución del contenido de humedad versus tiempo de secado en días.

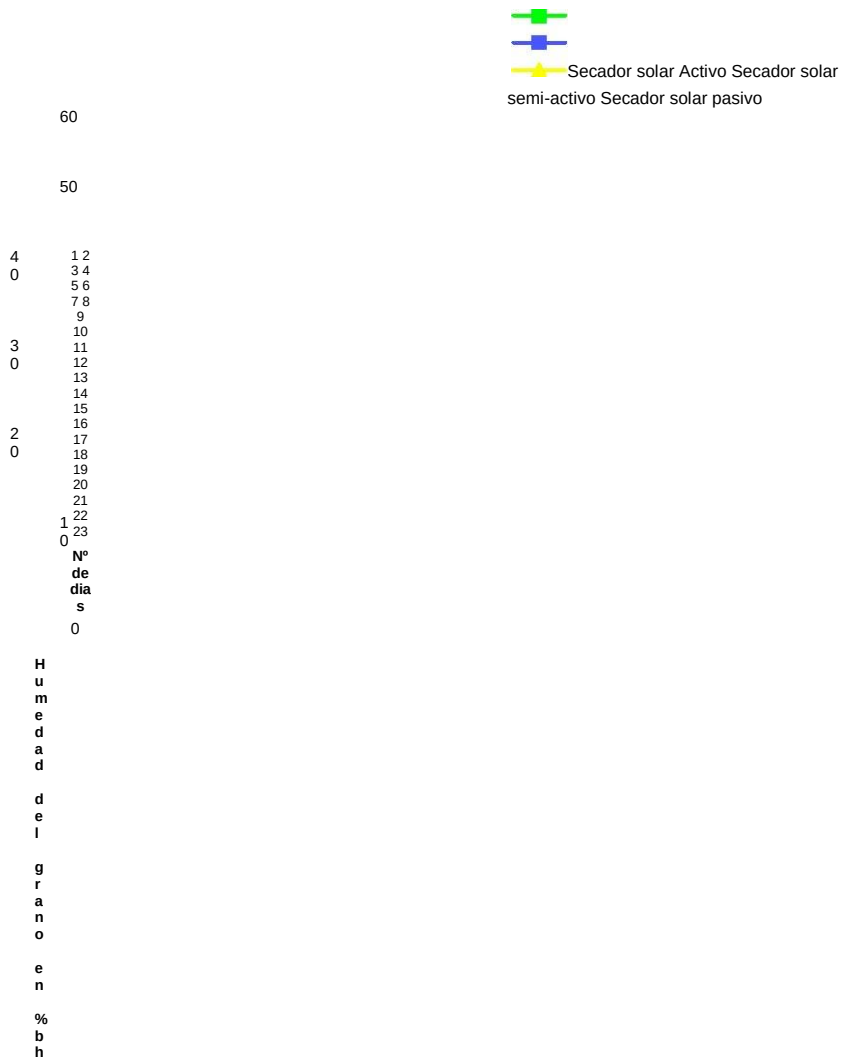
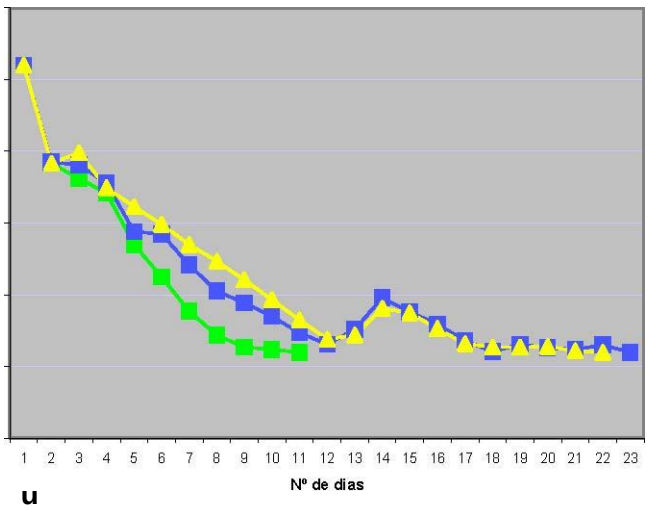


Grafico 5.2 Disminución humedad del grano.



Se puede observar que , la disminución de humedad del grano durante el primer y segundo día

de secado es igual en los tres tratamientos de un 52 % de humedad (%Bh) del grano a un 38.3 % de humedad (Bh) , posteriormente la perdida de humedad del grano de café es mucho menor.

Durante el proceso de secado, se pudo observar y evaluar, el comportamiento del grano de café, diferenciando dos etapas durante el proceso de secado.

Primera etapa: Una disminución rápida del contenido de humedad del grano hasta un 38 % en base húmeda, en los tres modelos de secadores evaluados, en un periodo de dos dias de secado.

Según **Trejos R.*et al*** (1990) el café recién lavado posee contenidos de humedad superiores a los contenidos de equilibrio correspondientes a las condiciones ambientales del aire. De esta forma existe la tendencia natural a que los granos se sequen, aunque lentamente. Si los mismos granos se colocan dentro de un secador, en donde la temperatura esta por encima de la temperatura ambiente, el contenido de humedad de equilibrio correspondiente será mucho menor y la tasa de secado aumentara notablemente.

Segunda etapa: El proceso de secado de un contenido de 38 a 12 % en base húmeda la tasa de secado es mas baja, haciéndose más notorias las diferencias en el proceso de secado entre los tres modelos de secadores evaluados, para el secador solar activo este segunda etapa hasta finalización de secado duro 8 días, para el secador solar pasivo fue de 20 días y para el secador solar semi-activo fue de 21 días hasta lograr un 12 % de contenido de humedad (Bh).

Al respecto Roa (1999) indica los fenómenos de transferencia de energía y de humedad en el secado solar son muy complejos; son numerosas las variables que influyen en el proceso: la radiación solar, que varia ampliamente durante el día y de día a día, la temperatura, la humedad y la velocidad del aire que también varían; el contenido de humedad del grano que va disminuyendo (pero que puede aumentar en la noche)

gradualmente; el tipo de piso sobre el cual descansa el grano; el espesor de la capa de grano; el procedimiento y la periodicidad utilizada para revolver los granos.

5.3. Capacidad de Secado.

La capacidad de secado de una secadora es uno de los principales parámetros de comparación entre secadoras , que esta dada en función a kilos de agua evaporada por punto (Kgpto/Hora). En el cuadro 5.3 se puede observar los datos comparativos para cada uno de los secadores

Cuadro 5.4 Cuadro Comparativo de la capacidad de secado por secador solar.

			Tipo de secador solar		
Id.	Parámetros	Unidad	Secador Activo	Secador Semi Activo	Secador Pasivo
1	Tratamiento		T1	T2	T3
2	Peso de Cafè (CPHº)	Kgs	1785	94	94
3	Tiempo de Secado en Hrs.	Hrs	40	92	88
4	Humedad inicial (%bh)	% bh	52	52	52
5	Humedad final (%bh)	% bh	12	12	12
6	**Capacidad de Secado**	**Kg/hr.**	44.63	1.02	1.068
7	**Capacidad de Secado de 28 -12 % Bh. Kg-punto/hr**		714.1	16.3	17.0

solares para grano de café.

La capacidad de secado para cada uno de los secadores solares se calculo con base en el tiempo requerido para la eliminación de agua del grano a partir de la segunda etapa de secado es decir con un contenido de agua del 28 al 12 % de humedad (Bh), por ser este el proceso donde se da la menor tasa de secado. (Ver datos Anexo Cuadros 1.1 – 1.2 – 1.3).

Se observa una capacidad de secado de 714.1 kilos por punto por hora par el secador solar activo que en comparación a los 16.3 y 17.0 kilos por punto por hora, para el secador semi-activo y secador solar pasivo respectivamente, se debe a la mayor capacidad de secado del secador solar activo (1785 Kgs de CPHº) y el menor tiempo de secado (10 días) de este respecto a los otros dos secadores.

5.4. Eficiencia de Secado.

Es la relación entre las kcal mínimas necesarias para evaporar el agua de una masa determinada de granos, se realizo un análisis de varianza para el secador solar activo, semi-activo y pasivo, con los resultados obtenidos para este parámetro (Ver datos Cuadros 1.1 – 1.2 – 1.3 Anexo).

5.4.1. Análisis de Varianza (ANVA) para la eficiencia de secado en términos de Kcal/Kg de agua evaporada de granos de café.

Cuadro 5.5 ANVA de eficiencia de secado en términos de Kcal/Kg de agua evaporada de granos de café.

ns diferencia no significativa

Fuente de Variaciòn	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr > F
Tratamientos	2	1.23	0.61	0.48	0.62Ns
Error	41	52.27	1.27		
Total	43	53.50			

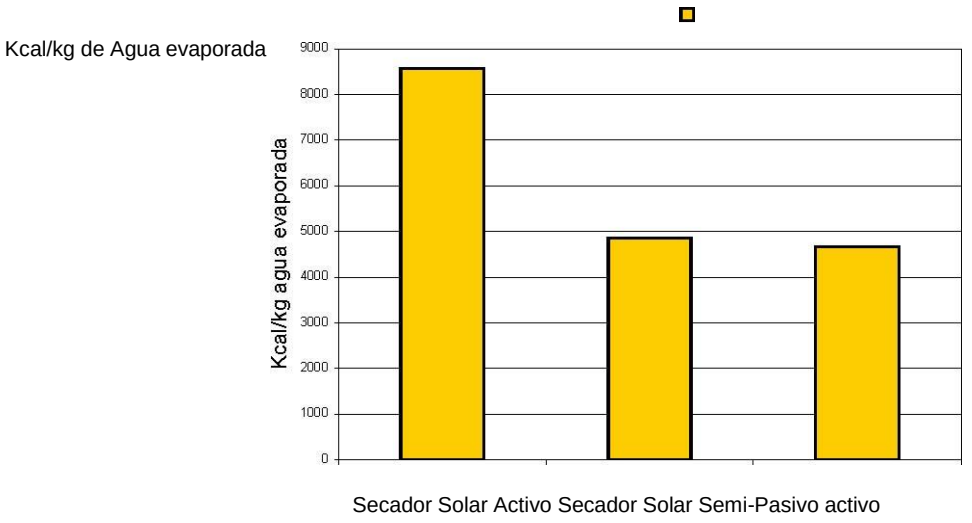
Complementariamente al análisis de varianza se realizo una comparación de las medias de la energía en kcal/kg de agua evaporada de los granos de cafè, a través de la prueba de Duncan (α = 0.05). Con los siguientes resultados.

Cuadro 5.6.

A	8570	T3	Secador Solar Pasivo
A	4853	T1	Secador Solar Activo
A	4666	T2	Secador Solar Semi-activo

Comparación de medias Duncan.

Grafico 5.3 eficiencia de secado en términos de Kcal/Kg de agua evaporada en granos de café.



De acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 5.5) y a la prueba de comparación de medias Duncan, (Cuadro 5.6) para el parámetro de eficiencia de secado en términos de kcal/kg de agua evaporada para grano de café. No se ha encontrado diferencias estadísticas.

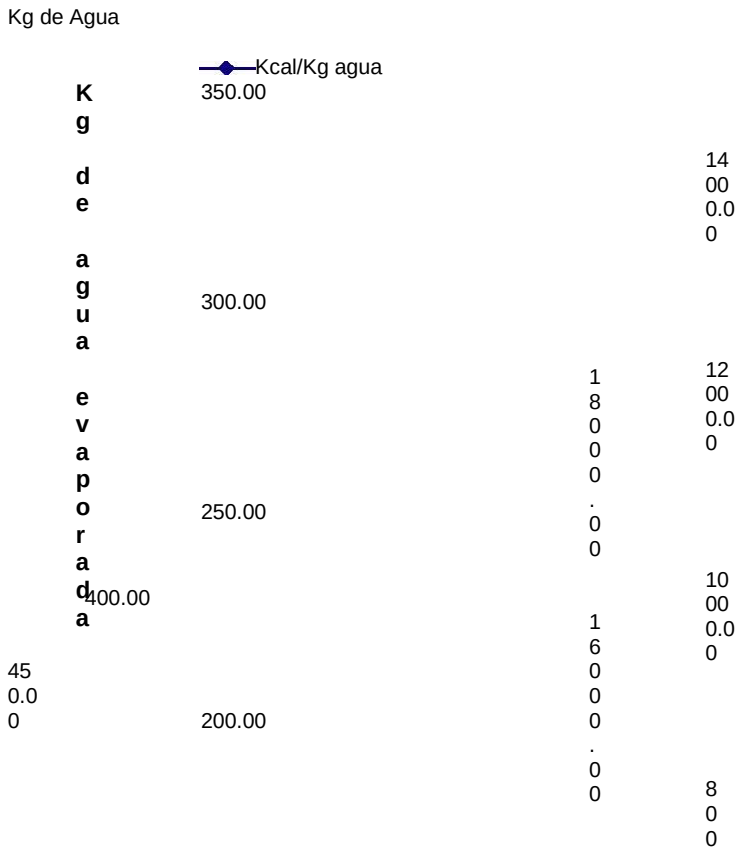
El grafico 5.3 detalla que en el parámetro de eficiencia de secado en términos de kcal/kg de agua evaporada para grano de café, obtuvo para el secador solar activo 4853 kcal/kg

de agua evaporada, secador solar semiactivo 4666 kcal/kg de agua evaporada y secador pasivo 8570 kcal/kg agua evaporada para grano de café.

No se detectan diferencias estadísticas, en la cantidad de kilo calorías necesarias para evaporar un kilo de agua para grano de café. El secador solar activo es el que demuestra una eficiencia mayor utilizando un promedio 4853 Kcal/Kg debido a que realiza el proceso de secado en un periodo de tiempo de 10 días, con un capacidad de secado mucho mayor (1785 kgs) que el secador solar semi-activo (94 Kgs) y el secador solar pasivo (94 kgs).

De acuerdo a las siguientes graficas, se puede observar el comportamiento de los secadores solares, en función a Kilo calorias consumidas por kilos de agua evaporada de los granos de café.

Grafico 5.4 Secador solar activo Kcal consumidas por kg de agua evaporada



678
910

Nº de dìas

0
.
0
0

15
0.0
0

6
0
0
0
0
.
0
0

10
0.0
0

4
0
0
0
0
.
0
0

5
0.
0
0

2
0
0
0
0
.
0
0

0
.
0
0

0
.
0
0

Kcal/kg agua

12
34
5

Grafico 5.5 Secador solar semiactivo Kcal consumida s por kg de agua evaporada

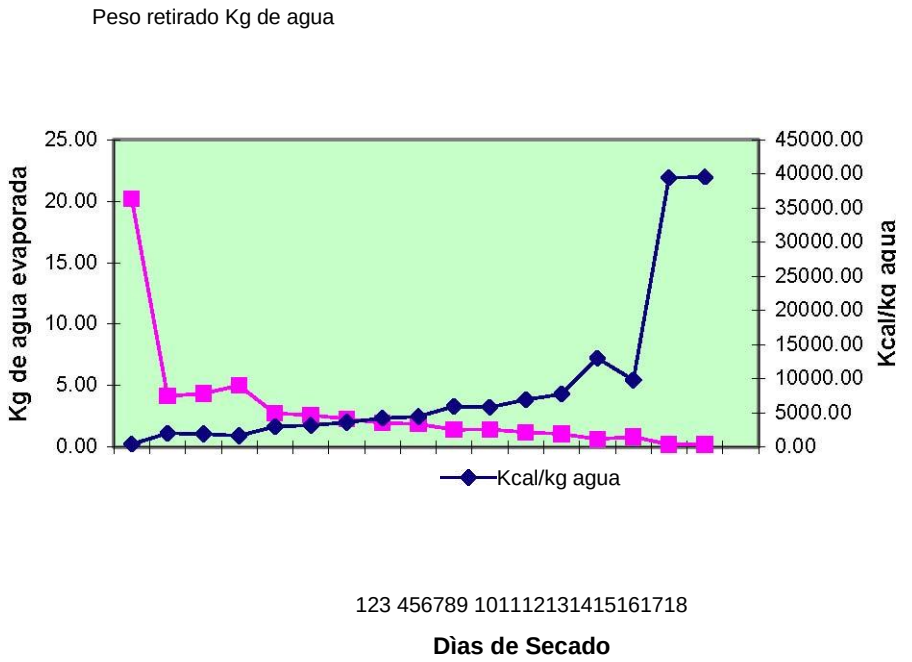
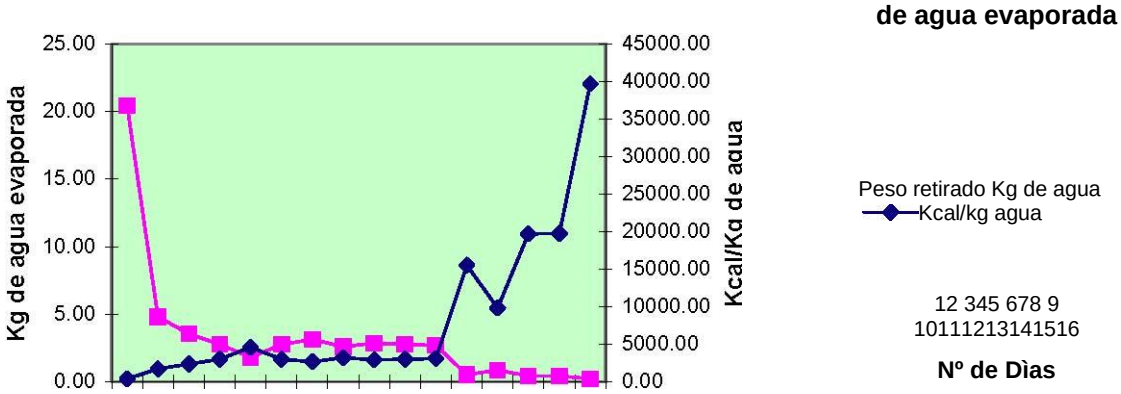


Grafico 5.6 Secador solar pasivo Kcal consumidas por kg de agua evaporada



En los gráficos se observa que la relación entre consumo de energía en kilo calorias aumenta cuando el grano tiene menor contenido de humedad, esto debido a que la difusión de la humedad interna del grano tiende a ser mas y lenta y la forma de aumentarla es incrementando su temperatura.

De acuerdo a **Trejos R.*et al*** (1990) la energía necesaria para secar café pergamino a un contenido de humedad del 12 % base húmeda, es aproximadamente un 28 % superior a la energía necesaria para evaporar la misma cantidad de agua libre a la misma temperatura. Por otro lado cuando el café pergamino presenta un contenido de humedad igual o mayor que el 22% en base húmeda, la energía necesaria para secarlo es aproximadamente igual a la que requiere para su evaporación el agua libre, a la misma temperatura.

6. ANÁLISIS ECONÓMICO.

Se realizo un análisis económico de Beneficio/Costo para cada uno de los modelos de secadores solares de café, tomando en cuenta el costo de secado por quintal de café, y el ingreso para el productor por venta de café seco.

		Secador Solar Activo	Secador Solar Semi-activo	Secador Solar Pasivo
	2. COSTOS VARIABLES			
1. COSTOS FIJOS	Mano de obra	0.27	1.3	1.3
	Combustible	1.18		
	Costo de producciòn/qq de café	15.3	15.3	15.3
	Total costos	18.41	18.10	17.14
Depreciación secadores				1.66
		1.5 0.54		
	BENEFICIOS			
	Total ingresos	60	60	60

Cuadro 6.1 Análisis de Beneficio / costo para Secadores Solares de Café.

Ingresos venta cafè seco 60 60 60

B/C 3.26 3.31 3.50

En el análisis económico se puede observar que la relación beneficio costo B/C para los tres modelos de secador solar de café es rentable, y el que presenta un mayor valor es el secador solar pasivo 3.54, en relación con el secador solar activo con un 3.26 y secador solar semi-activo 3.46.

Si bien la relación beneficio costo B/C, es la mejor en el caso del secador solar pasivo, se debe tomar en cuenta que este secador solar demora el secado de café a un total de 22 días durante todo el proces, frente a un secador solar activo que realiza todo el proceso de secado a solo 10 días.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

7.1 Conclusiones.

Al evaluar y comparar los parámetros de disminución diaria de humedad del grano y el tiempo requerido para el secado del grano de café, entre los diferentes modelos de secadores solares de café, se establece que el secador solar activo presenta en promedio una disminución diaria de 6.29 % de humedad del grano en base húmeda (Bh), lo que lleva a que el tiempo de secado tenga una duración de no mas de 10 días, frente al tiempo requerido por el secador solar pasivo de 22 días con un promedio de disminución diaria de humedad del 2.85 % (Bh) y de 23 días del secador solar semi-activo con un promedio de 2.95 % (Bh) en la disminución diaria de humedad del grano de café, por lo cual se demuestra una mayor eficiencia en términos de tasa y tiempo de secado del secador solar activo.

De acuerdo al comportamiento técnico observado y comparado en los diferentes modelos de secadores solares se establece que la presencia de colectores solares que cumplen con la función de calentar el aire de secado y complementado con un sistema que asegure el movimiento continuo del aire de secado a través de la mas de café, asegura un secado continuo y mucho mas rápido que un secado natural. Se debe tomar en cuenta que para las condiciones del cantón Calama que durante las horas finales de la tarde se registra una humedad relativa en el orden de 70 a 80%, es necesario proteger el grano de café y no dejarlo expuesto a las condiciones climáticas externas de esta manera se evita el rehumedecimiento del grano. El secador solar activo por su diseño presenta un cámara que contiene la masa de café que durante este periodo de alta humedad relativa del ambiente protege a la masa de café de un posible rehumedecimiento, lo que no ocurre con el secadores solar semi-activo y solar pasivo.

En relación al comportamiento del grano de café durante el proceso de secado se observaron 3 etapas de importancia:

Primera etapa: del 52 % base humedad (mote) al 38 % base húmeda, etapa en la cual existe una tasa alta de secado. **Segunda etapa**: del 22 % al 12 % base húmeda (café pergamino seco), donde el requerimiento de energía es superior en un 28% a la utilizada en la primera etapa, para evaporar la misma cantidad de agua a la misma temperatura. **Tercera etapa:** del 22 % bh a café pergamino seco 12 % bh tiende a realizar un proceso de rehidratación, debido a la alta higroscopicidad del grano de café.

Con base en el análisis económico beneficio costo realizado para los tres modelos de secadores solares, indica que al realizar el proceso de secado, se da un valor agregado al producto final.

De acuerdo a las especificaciones del modelo de secador solar activo, es el que se adecua a producciones del orden de 700 a 720 qq de café Pergamino seco anuales.

7.2 Recomendaciones.

Para las condiciones sociales y económicas del cantón Calama de la provincia Caranavi, se recomienda el uso de un sistema combinado de secado el cual comprende dos etapas.

Primero: un proceso de secado de 52% bh (café mote) a 35 % bh (café seco de agua), con un sistema de secado solar pasivo.

Segundo: Completar el proceso de secado de 35 % bh a 12 % bh (café pergamino seco), en un sistema de secado solar activo, por la mayor energía que se requiere en la segunda etapa de secado.

Para el uso adecuado del modelo de secador solar activo se recomienda, formar asociaciones de productores de 19 a 20 personas, para compensar la inversión necesaria del equipo y no sub-utilizar el secador solar.

8. BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.

ALMACAFÉ (1991) ”Curso De Calidad Y Conservación De Café” Ed.CENICAFE , Colombia pp 23-29.

ASOCIACION NACIONAL DEL CAFÉ (ANACAFE) 1998. “Manual de caficultura” .Ed. ANACAFE , Guatemala. pp 9-133.

CASTELLON R.A. 1992 “El cultivo del café en Santa Cruz manual de recomendaciones” Ed. CIAT., pp. Santa Cruz – Bolivia. 45 -78 .

CENTRO DE PREPARACION DE CAFÉ 1998 “Café generalidades de su proceso” Ed. ESCALA , Santa fé de Bogota – Colombia. pp 17 – 90.

DE DIOS C. A. 1996“Tecnologia post-cosecha” Ed. OFICINA REGIONAL DE LA F.A.O. PARA AMERICA LATINA, Buenos aires – Argentina, pp 5-46.

FEDERACION DE CAFETEROS COLOMBIA 1993 “ Tabla de defectos” Ed. CENICAFÉ Colombia

FIGUEROA R.y FISCHERSWORRING B. 1998, “Café organico “ Ed. TALLERES DE NOVELLA PUBLIGRAF, Lima – Perú, pp 100 – 120.

MALAVOLTA E., YAMADA T., GUIDOLIN J.1983 “Nutricao e adubacao do caffeiro” Ed. INSTITUTOS DA POTASSA (EUA-SUICA), Brasil. pp 32 – 221.

MARQUES JOSE (1991) “Principios de secado de granos psicrometria higroscopia” Ed. OFICINA REGIONAL DE LA FAO PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE”, Santiago – Chile, pp 1-10.

OCHSE J.J. , SOULE M.J. y DIJKMAN M.J. 1980 “Cultivo y mejoramiento de plantas tropicales y subtropicales” Ed. LIMUSA, México,pp 873-911.

PACIN A. (1998) “ Importancia Sanitaria y económica de las micotoxinas en los granos poscosechados, para consumo animal y humano”, Ed. COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES UNIVERSIDAD NACIONAL DE LUJAN, Buenos Aires – Argentina pp 33-42

PUERTA Q. G.I. 1996 “Evaluación de la calidad del café colombiano procesado por vía seca” Ed. CENICAFÉ, Chinchina – Colombia pp 85 – 90.

PUERTA Q. G.I. 1988 “La calidad del café verde: Composiciòn, proceso y analisis. Ed. CENICAFÉ, Chinchina – Colombia. pp 12 – 20.

PUERTA Q. G.I. 1999 “Influencia del proceso de beneficio en la calidad del cafè” Ed. CENICAFÈ , Chinchina – Colombia, pp 30 – 35.

ROA M.G, OLIVEROS C.E., ALVAREZ J., RAMÍREZ C.A., PUERTA G.I. 1999 “Beneficio Ecológico del Café” Ed. CENICAFÉ , Chinchina-Colombia pp 146-200.

ROA M.G. 2000 “Utilice la energía solar para secar correctamente el café” Ed. CENICAFÉ , Caldas-Colombia pp 1-4.

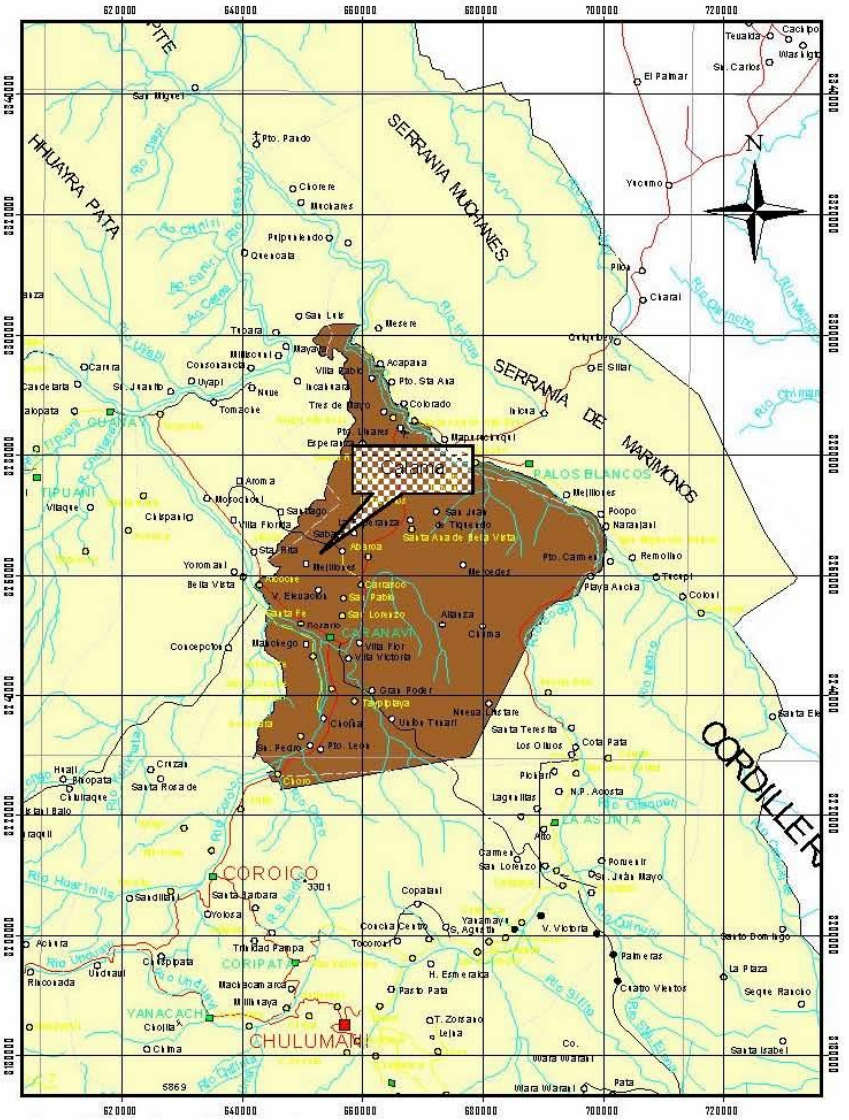
TREJOS R.R. 1989 “Humedad de equilibrio y calor latente de vaporización del café pergamino y del café verde” Ed. CENICAFE, Caldas-Colombia pp 5-14.

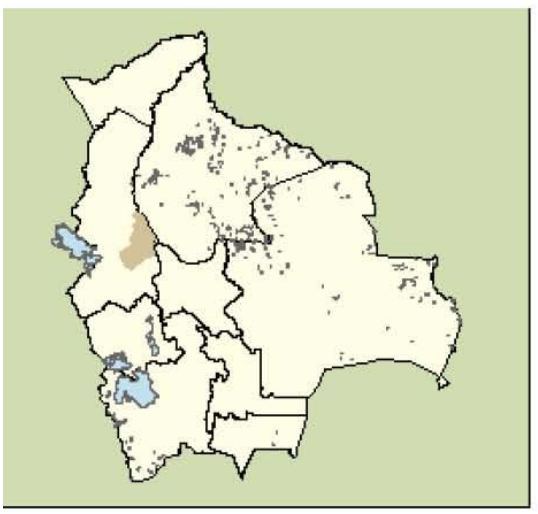
VALDECIR A.D. 1991 “Secado de granos: natural, solar y a bajas temperaturas” Ed. CENTRO NACIONAL DE TREINAMENTO EM ARMAZENAGEM – CENTREINAR , SAO PAOLO – BRASIL, pp 10 – 15.

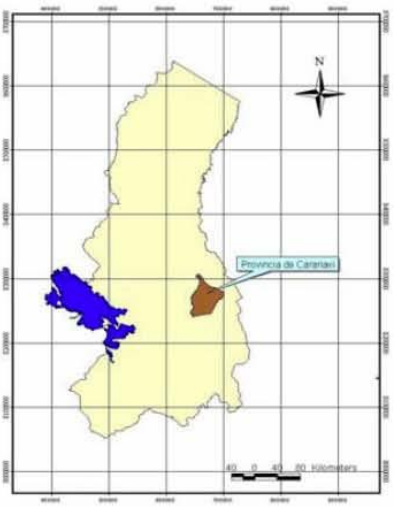
VIDAL J. “Curso de botanica” Ed. BRUÑO , Lima – Perú pp 433 .

ANEXO 1 Mapa de ubicación – Cantón Calama

Provincia Caranavi – Departamento La Paz







Id | **Nº de dìa** | **N**

Cuadro 1.2
Secador Solar Activo
(Tratamiento 1)

Los Secadores Solar es Evaluados

Cuadro 1.1 Parametros Generales de Los Secadores

Id.	Parametros
1	Tratamiento
2	Energia colectada.
3	Area de Colecciòn solar

D

atos

ANEXO 2 DATOS GENERALES DE LOS MODELOS DE SECADORES SOLARES EVALUADOS

4 Cantidad de Energia BTU/hr 245328.00 8231.40 8231.40 5 Horas de Colecciòn Hrs 4 4 4 6 Enegia dìa BTU/4Hrs 981312 32925.6 32925.6 Energia 7 colectada/dìa Kcal 247290.624 8297.2512 8297.2512 8 Capacidad Kgs. 1785 92 92

1 Dia 1 52 52 52.00 52.00 38 13.7 22.20 396.35 623.93 2 Dia 2 38.6 38 38.30 38.30 36 2.1 3.29 58.75 4208.92 3 Dia 3 36.4 36 36.20 36.20 34 2 3.04 54.26 4557.91 4 Dia 4 34 34.4 34.20 34.20 27 7.2 9.36 176.05 1404.62 5 Dia 5 27 27 27.00 27.00 23 4.5 5.81 103.65 2385.94 6 Dia 6 22 23 22.50 22.50 18 4.8 5.83 104.11 2375.35 7 Dia

7 17.4
18
17.70
17.70
14 3.3
3.86
68.81
3593.60
8 Dia 8
14.6
14.2
14.40
14.40
13 1.7
1.95
34.76
7114.34
9 Dia 9
13 12.4
12.70
12.70
12 0.7
0.80
14.20
17416.2
3 10 Dia
10 12 12
12.00

Cuadro 1.3 Secador Solar Semi-activo (Tratamiento 2)

1	Dìa 1	52	52	52	52	38.5	13.5	21.95
2	Dìa 2	38	39	38.5	38.5	38.1	0.4	0.65
3	Dìa 3	38	38.2	38.1	38.1	35.6	2.5	3.88
4	Dìa 4	36	35.2	35.6	35.6	28.5	7.1	9.93
5	Dìa 5	28	29	28.5	28.5	28.5	0	0.00
6	Dìa 6	27	30	28.5	28.5	28.5	0	0.00
7	Dìa 7	23	25.3	24.15	28.5	24.15	4.35	5.74
8	Dìa 8	19	22	20.5	24.15	20.5	3.65	4.59
9	Dìa 9	17.2	20.5	18.85	20.5	18.85	1.65	2.03
10	Dìa 10	17	17	17	18.85	17	1.85	2.23
11	Dìa 11	14.4	15	14.7	17	14.7	2.3	2.70
12	Dìa 12	12.8	13.4	13.1	14.7	13.1	1.6	1.84
13	Dìa 13	15	15.4	15.2	15.2	19.6	-4.4	-5.47
14	Dìa 14	18.6	20.6	19.6	19.6	17.6	2	2.43
15	Dìa 15	17	18.2	17.6	17.6	15.9	1.7	2.02
16	Dìa 16	16.2	15.6	15.9	15.9	13.6	2.3	2.66
17	Dìa 17	13.6	13.6	13.6	13.6	12.1	1.5	1.71
18	Dìa 18	12.2	12	12.1	12.1	13.1	-1	-1.15
19	Dìa 19	13	13.2	13.1	13.1	12.6	0.5	0.57
20	Dìa 20	12.4	12.8	12.6	12.6	12.4	0.2	0.23
21	Dìa 21	12.4	12.4	12.4	12.4	13	-0.6	-0.69
22	Dìa 22	13	13	13	13	12	1	1.14

Cuadro 1.4 Secador Solar Pasivo (Tratamiento 3)

Id	Nº Día día							
1	Dìa 1	52	52	52.00	52.00	38	13.7	22.20
2	Dìa 2	38.2	38.4	38.30	38.30	38	0.4	0.64
3	Dìa 3	38	37.8	37.90	37.90	35	3	4.61
4	Dìa 4	34.2	35.6	34.90	34.90	32	2.6	3.84
5	Dìa 5	32	32.6	32.30	32.30	30	2.1	3.01
6	Dìa 6	29.8	30.6	30.20	30.20	27	3.2	4.38
7	Dìa 7	26	28	27.00	27.00	24	3.3	4.33
8	Dìa 8	23.4	24	23.70	23.70	23	0.6	0.78
9	Dìa 9	22.6	23.6	23.10	23.10	19	3.8	4.71
10	Dìa 10	19.6	19	19.30	19.30	17	2.8	3.35
11	Dìa 11	17	16	16.50	16.50	14	2.7	3.13
12	Dìa 12	13.6	14	13.80	13.80	15	-0.9	-1.06
13	Dìa 13	15.4	14	14.70	14.70	18	-3.4	-4.15
14	Dìa 14	18	18.2	18.10	18.10	18	0.6	0.73
15	Dìa 15	18	17	17.50	17.50	15	2.2	2.60
16	Dìa 16	14.6	16	15.30	15.30	13	2.1	2.42
17	Dìa 17	13.4	13	13.20	13.20	13	0.5	0.57
18	Dìa 18	12.8	12.6	12.70	12.70	12	0.3	0.34
19	Dìa 19	12	12.8	12.40	12.40	12	0.2	0.23
20	Dìa 20	12.4	12	12.20	12.20	12	0	0.00

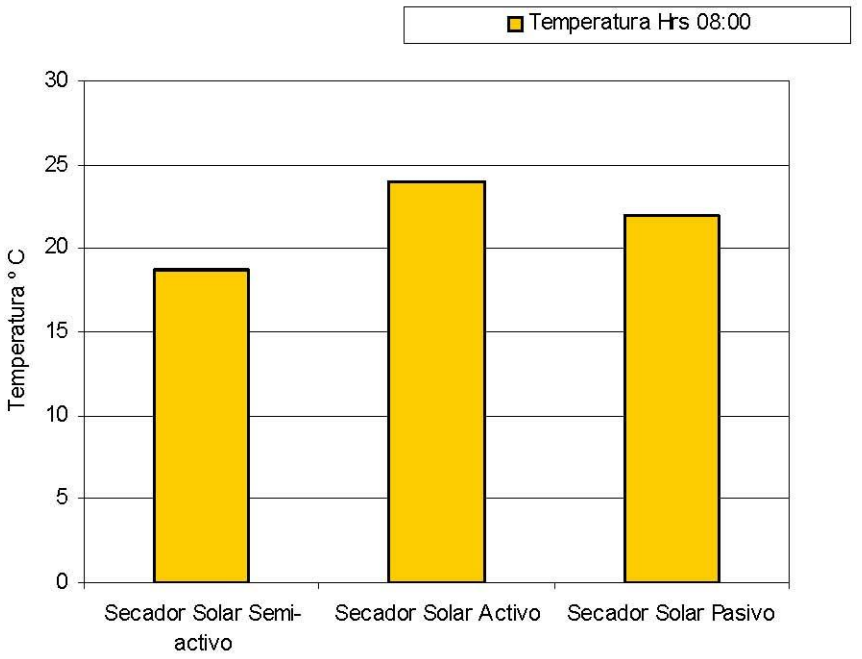
ANEXO 3 ANALISIS DE VARIANZA PARA TEMPERATURA DEL AIRE DE SECADO.

ns: no significativo

Cuadro 2.1 ANVA y Duncan de Temperatura para Hrs 8.00

Fuente de Variaciòn	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr > F
Secador Solar	2	11.99	5.99	1	0.3745 ns
Error	52	311.34	5.99		
Total	54	323.33			

A	18.68	T2	Secador Solar Semi-activo
A	17.75	T1	Secador Solar Activo
A	17.73	T3	Secador Solar Pasivo

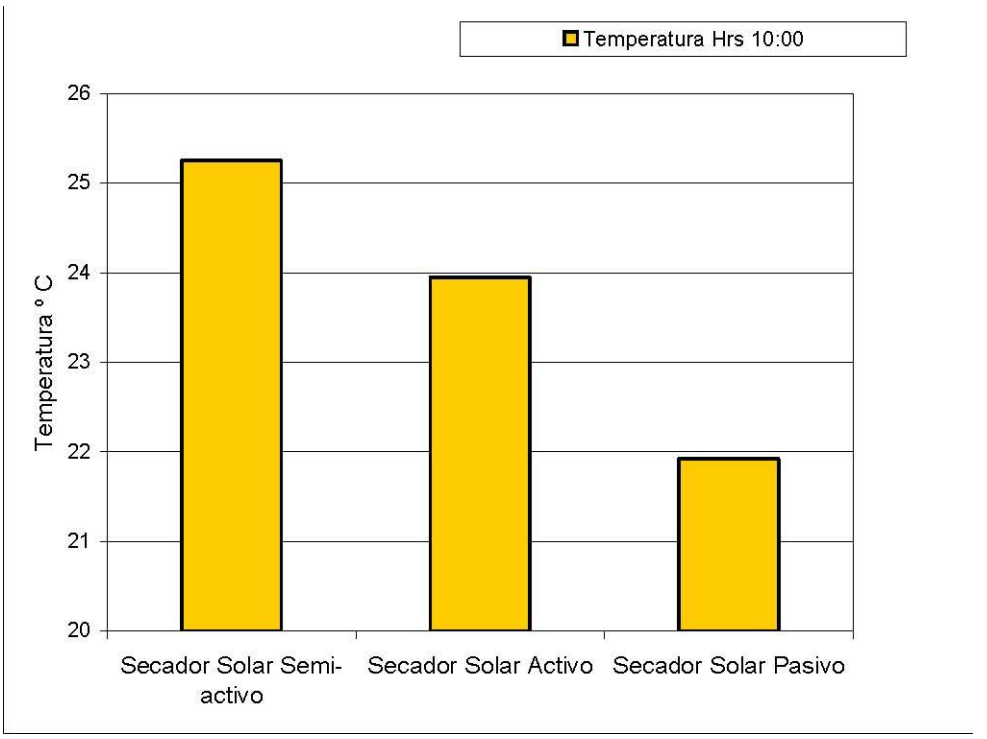


Cuadro 2.2 ANVA y Duncan de Temperatura para Hrs 10.00

* Diferencia significativa ns: no significativo

Fuente de Variaciòn	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr > F
Secador Solar	2	0.19	0.09	4.19	0.0206*
Error	52	1.18	0.02		
Total	54	1.37			

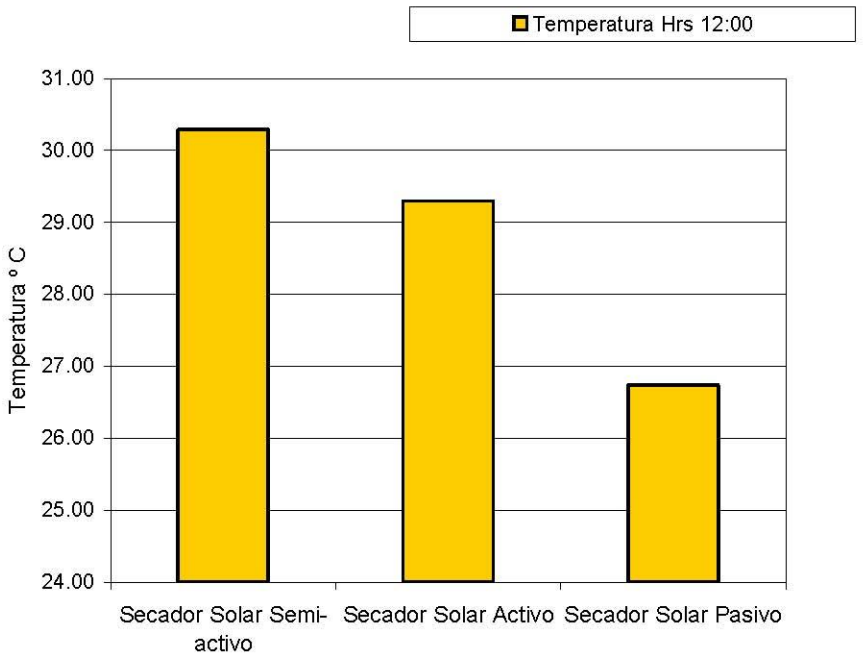
A	25.25	T2	Secador Solar Semi-activo
BA	23.95	T1	Secador Solar Activo
B	21.92	T3	Secador Solar Pasivo



Cuadro 2.3 ANVA y Duncan de Temperatura para Hrs 12.00

Fuente de Variaciòn	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr > F
Secador Solar	2	146.59	73.29	3.09	0.0541 ns
Error	52	1235.04	23.75		
Total	54	1381.63			

A	30.29	T2	Secador Solar Semi-activo
A	29.30	T1	Secador Solar Activo
A	26.74	T3	Secador Solar Pasivo

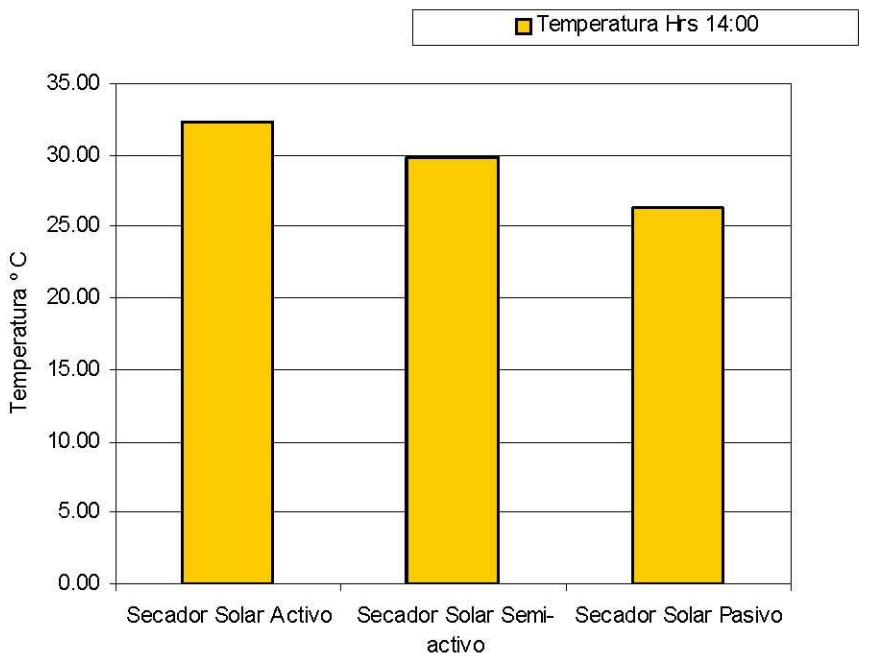


- Diferencia significativa
- Diferencia significativa
- Diferencia significativa

Cuadro 2.4 ANVA y Duncan de Temperatura para Hrs 14.00

Fuente de Variaciòn	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr > F
Secador Solar	2	286.77	143.38	5.49	0.0069*
Error	52	1359.30	26.14		
Total	54	1646.07			

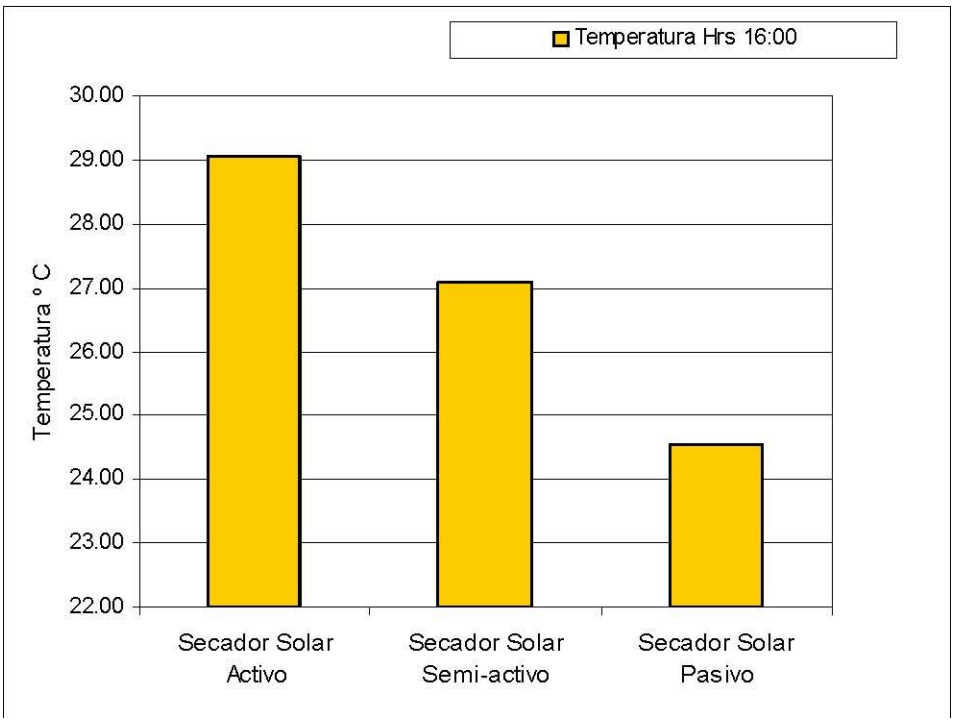
A	32.37	T1	Secador Solar Activo
BA	29.77	T2	Secador Solar Semi-activo
B	26.30	T3	Secador Solar Pasivo



Cuadro 2.5 ANVA y Duncan de Temperatura para Hrs 16.00

Fuente de Variaciòn	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr > F
Secador Solar	2	157.87	78.93	5.7	0.0058*
Error	52	720.09	13.84		
Total	54	877.96			

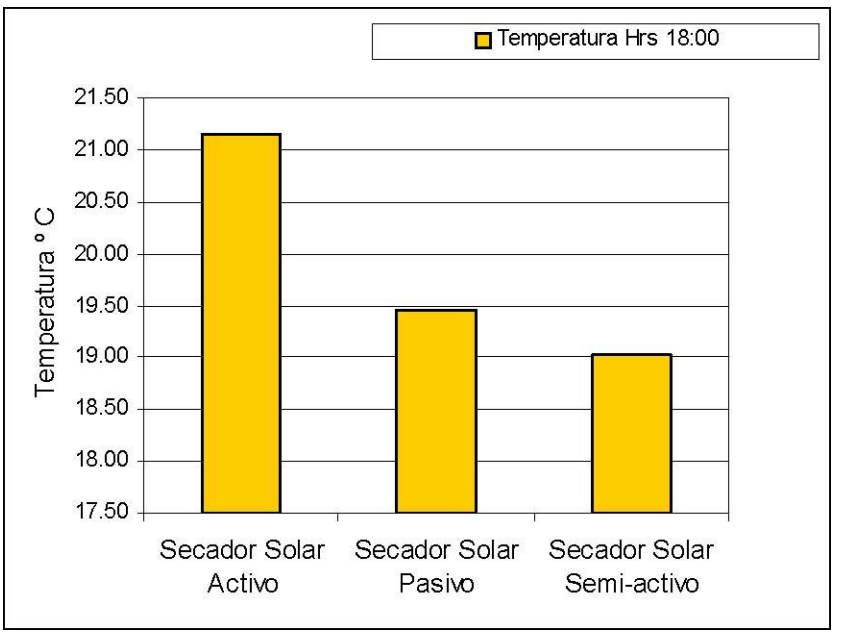
A	29.07	T1	Secador Solar Activo
BA	27.07	T2	Secador Solar Semi-activo
B	24.54	T3	Secador Solar Pasivo



Cuadro 2.6 ANVA y Duncan de Temperatura para Hrs 18.00

Fuente de Variaciòn	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F	Pr > F
Secador Solar	2	32.05	16.02	3.5	0.0376*
Error	52	238.45	4.58		
Total	54	270.51			

A	21.16	T1	Secador Solar Activo
B	19.45	T3	Secador Solar Pasivo
B	19.03	T2	Secador Solar Semi-activo



CUADRO 3.3 CUADRO RESUMEN COSTOS DE PRODUCCIÒN POR QUINTAL DE CAFÈ

ANEXO 4

Ingresos		Valor Unitario (Usd)
Ventas de café Seco por quintal		60

Egresos		Valor por qq de café seco en Usd
Dos deschumes al año (jornales)	48,00	10,43	2.27
Costos de recolección (latas)		7.5
Prebeneficio (jornales)		4.08
Herramientas varias		0.25
Transportes varios		1.2
Costos de producción por qq de café seco en Usd		**15.29**

Costo de con			12,00
Vida útil (año			2,00
Capacidad (qq de CPS)	**22,00**	**1,00**	**0,50**
Tiempo de secado en días	10,00	23,00	22,00
Días de cosecha al año	120,00	120,00	120,00
Total de días útiles	240,00	240,00	240,00
Total de turnos de secado al año	24,00	10,43	10,91
Capacidad de			**2,73**
Capacidad de			5,45
Manipuleo de			0,50
Total de jornales	48,00	10,43	5,45
Gasolina (litro			0,00
Total consumo			0,00
Costo de Jorn			16,36
Costo de gasc			0,00

ENTO 3

CUADRO 3.2 DATOS GENERALES DE COSTOS

CUADRO 3.1

DATOS

GENERALES DE COSTOS PARA SECADORES SOLARES DE CAFÉ.

Promedio de producción qq CPS/Ha	**15.00**
Promedio de Has. De café por productor	3.00
Total de producción anual por persona (qq de CPS)	45.00
Conversión a qq de café mote (56% de humedad)	83.33
Precio de venta café húmedo al 56% ($us/qq)	15.00
Precio de venta café seco al 12% ($us/qq)	60.00
Ingreso bruto por venta de café húmedo	1250.00
Ingreso bruto por venta de café seco	2700.00
Diferencia de ingreso	1450.00
Ingreso adicional por qq de CPS ($us)	32.22
Capacidad anual de secado del silo (qq de CPS)	720.00
Capacidad anual de secado del secador espejo (qq de CPS)	5.22
Capacidad anual de secado de la bandeja (qq de CPS)	2.73
Cantidad de secadores espejo para igualar al silo	138
Cantidad de bandejas para igualar al silo	264
Secadores espejo necesarios por persona	9
Bandejas necesarias por persona	17
Personas asociadas para construir un silo	16

Cuadro 4.3 Secador Solar Pasivo

Cuadro 4.2 Secador Solar Semi Activo

Id	Tratamiento	Temperatura por Horas 8:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	Humedad Relativa 8:00	10:00	12:00	14:00	16:00
1	T3	8.00	10.00	12.00	14.00	16.00	18.00	80.00	60.00	64.00	45.00	54.00
2	T3	17.00	24.00	27.10	24.80	27.40	14.23	70.00	53.00	36.00	32.00	52.00
3	T2	16.80	27.00	28.70	30.50	27.30	18.70	80.00%	54.00%	36.00%	28.00%	37.00%
4	T2	17.50	26.00	32.10	34.70	34.00	23.00	86.00	47.00	39.00	40.00	32.00
5	T2	17.00	25.80	34.10	36.30	31.80	21.70	74.00%	56.00%	40.00%	32.00%	34.00%
6	T2	16.50	27.30	29.50	28.25	24.40	20.30	84.00	68.00%	40.00%	42.00%	48.00%
7	T2	16.76	22.50	31.30	31.40	22.60	20.70	87.00	60.00%	43.00%	36.00%	45.00%
8	T2	16.85	19.50	34.50	28.30	27.50	18.30	91.00%	46.00%	28.00%	35.00%	52.00%
9	T2	16.69	20.50	23.00	29.20	32.70	31.50	93.00	60.00%	50.00%	43.00%	40.00%
10	T2	16.50	18.60	35.10	29.15	27.60	17.40	85.00%	79.00%	25.00%	42.00%	58.00%
11	T2	16.66	19.30	24.90	26.50	29.80	19.00	96.00%	60.00%	63.00%	50.00%	55.00%
12	T2	16.00	19.00	28.20	23.10	24.10	18.00	86.00	75.00%	44.00%	42.00%	67.00%
13	T2	17.00	19.80	29.80	29.00	33.00	19.00	77.00%	70.00%	35.00%	37.00%	50.00%
14	T2	21.60	22.10	23.70	29.00	35.00	20.10	91.00%	73.00%	54.00%	51.00%	50.00%
15	T2	24.50	26.10	26.70	29.60	24.60	20.60	60.00	71.00	55.00	40.00	52.00
16	T2	20.00	26.80	30.50	22.80	24.00	19.10	62.00%	58.00%	44.00%	48.00%	53.00%
17	T1	20.66	24.40	30.70	33.00	25.60	22.70	77.00	58.00	33.00	37.00	60.00
18	T1	19.00	27.60	36.90	34.30	26.20	19.70	%	47.00%	27.00%	23.00%	44.00%
19	T1	21.21	20.40	27.80	25.60	30.70	21.20	73.00	84.00	41.00	57.00	42.00
20	T1	21.00	25.80	31.70	36.00	25.10	21.60	%	50.00%	38.00%	39.00%	60.00
21	T1	21.44	24.30	31	31.1	28.6	21.5	75.00	57	40	36	44
22	T1	17.00	21.60	22.70	26.00	31.80	20.9	%	80.00%	53.00%	45.00%	48.00%
23	T1	20.33	19.70	19.9	20	25	18.5	65.00	73	79	80	59
24	T1	15.00	36.10	34.80	35.50	31.20	21.1	%	17.00%	30.00%	22.00%	30.00%
25	T1	17.12	19.60	19.7	16.6	16.3	14.2	86.00	68	63	67	72
26	T1	14.00	22.10	19.70	23.10	23.10	18.80	%	64.00%	76.00%	66.00%	61.00%
27	T1	16.00	20.40	22.4	21.6	18.9	14.50	80.00	57	51	58	70
28	T1	14.30	19.10	21.70	17.20	18.30	14.50	%	70.00%	61.00%	66.00%	62.00%
29	T1		19.60	24.10	20.80	18.10	14.20	85.00	59.00%	32.00%	52.00%	60.00
30	T1							%				

ANEXO 5 DATOS GENERALES TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE DE SECADO.

ANEXO 6 EL CULTIVO DEL CAFÈ

1. Origen.

Según ANACAFE (1998) el cafeto es originario de Etiopía Africa. La especie arábica es indígena de la región que circunda el lago Tana , localizado en una latitud entre 12° y 16° latitud norte.

De acuerdo al CENTRO DE PREPARACION DE CAFÉ (1998) los arbustos que producen el fruto del café pertenecen al genero *coffea* , familia de las *rubiáceas* existen alrededor de cincuenta especies diferentes aunque sólo dos de ellas tienen importancia comercial: la *coffea* arábiga y la *coffea canephora,* la cual recibe el nombre vulgar de robusta.

FAMILIA : Rubiáceaes
GENERO : Coffea
ESPECIES : Coffea arábiga
Coffea canephora y
cerca de cincuenta más

La especie arábiga se desarrolla bien en terrenos planos e inclinados en altitudes entre 1000 y 2000 m.s.n.m. , mientras las robustas lo hacen bien en climas húmedos tropicales en altitudes desde el nivel del mar hasta los 600 m.

2. Descripción del cultivo.

Raíz

De acuerdo a ANACAFE (1998) el sistema radical está formado por una raíz principal llamada pivotante; Raíces axiales o de sostén; Raíces laterales y raíces absorbentes o raícillas. La pivotante o “clavo” profundiza de 50 a 60 cm , y juntamente con las raíces axiales realiza la función de sostén o anclaje de la planta . El 80 – 90 % de las raíces pequeñas son responsables de la absorción del agua y los nutrientes , éstas se encuentran en los primeros 30 cm de profundidad. La raíz también puede almacenar reservas en forma de almidón y azúcares solubles.

Tallo

Según el CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998)el tallo es de constitución semileñosa , cuando la planta alcanza su pleno desarrollo es un árbol en forma de arbusto y con varios troncos, en estado silvestre crece hasta 10 m. Y se acostumbra a bajarlo hasta una altura de 2,2 m. podándolo constantemente.

Para ANACAFE (1998) en el campo la planta tiene un crecimiento acelerado en los primeros 5 o P6 años, que luego será más lento. El crecimiento en altura se marca en los primeros tres años, después habrá un mayor desarrollo de ramas secundarias y terciarias, donde va a concentrarse una producción creciente hasta concluir su primer ciclo de producción comercial.

Hoja

Según ANACAFE (1998) las hojas son oblongas, elípticas, con la base y el ápice agudos, de textura lisa, fina, los brotes u hojas nuevas terminales son de color bronceado (Variedad typica).

De acuerdo al CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998) sus hojas son duraderas y se ubican sobre las ramas en forma opuesta de par en par, son de peciolo corto entre ovaladas y lanceoladas , su tamaño varia de 15 a 20 cm. de largo por 4 a 6 cm. de ancho.

Flor

Para VIDAL (1990) las flores son blancas de perfume ajazminado, agrupadas en la axila de los pares de hojas en cimas de 2 o 3 constituyendo verticilos de 8 a 15 flores. Cada flor está sujeta por un corto pedúnculo y un cáliz compuesto de 5 pequeñas brácteas (pétalos) que recubren el ovario, la inflorescencia toma el color blanco apenas poco antes de abrirse y se marchita muy rápido, con frecuencia en un lapso de horas.

Para ANACAFE (1998) las flores individuales son completas, hermafroditas y autofértiles . Los cafetos de todas las variedades de Coffea arábiga tienen un alto porcentaje de autofecundación estimado en 91 – 96 %. Con una polinización cruzada que no excede del 9 %. Esto es favorecido porque antes de abrirse la flor, algunas anteras ya han liberado polen internamente.

Fruto

Según el CENTRO DE PREPARACION DE CAFÉ (1998) el fruto maduro tiene una piel roja que rodea la pulpa, entre carnosa y de color amarillo claro. Allí se encuentran las semillas, es decir, los granos de café con sus lados convexos hacia fuera y los planos dispuestos el uno contra el otro. Una cáscara delgada de color amarillo pálido, el pergamino, rodea ligeramente a cada uno de los dos granos de café; a la cáscara apergaminada está adherida una capa gomosa, delgada y resistente. La semilla está recubierta por una membrana plateada fina.

3. ECOLOGIA DEL CULTIVO

Temperatura.

El efecto de éste factor está íntimamente relacionado con la producción y desarrollo del cafeto y CASTELLON (1992) cita que las temperaturas medias óptimas oscilan entre 22°C y 26°C, sin que las oscilaciones sean muy marcadas. De un modo general por lo visto, la temperatura óptima para el cafeto varía según las especies, siendo de 20°C a 25°C la más recomendada, con extremos de 15°C a 30°C.

MALAVOLTA *et.al.* (1983) para café arábigo se admite una temperatura media anual entre 19°C a 21°C como ideal y entre 18°C a 22°C como apta. Consecuentemente temperaturas más altas o más bajas reducen la producción.

ANACAFE (1998) considera que la temperatura media para el cultivo de café varia de 17 – 23 °C, menores temperaturas causan quemaduras en los brotes nuevos y mayor presencia de *Phoma costarricencis.*

Precipitación.

De acuerdo a CASTELLON (1992) es importante, tener en cuenta dos factores que van aparejados: la precipitación anual, total y su reparto mensual. En general el cafeto tiene un amplio rango de tolerancia a la precipitación; crece bien con 1200 a 1800 y aún 2000 mm anuales. Por debajo de los 1000 mm de precipitación anual – aún bien repartidos el cultivo del café es riesgoso y la producción muy fluctuante, por tanto, resulta marginal. La distribución estacional de las lluvias, especialmente de aquellas que siguen a la estación seca tiene una gran influencia sobre la floración, la fecundación y la fructificación.

Mientras que para ANACAFE (1998) La precipitación pluvial requerida va de 1000 a 3000 mm/año precipitaciones menores limitan el crecimiento, provocan defoliación y baja producción. Una mayor cantidad de precipitación conduce a una incidencia mayor de enfermedades fungosas.

Humedad relativa

De acuerdo a ANACAFE (1998) una humedad relativa adecuada para el desarrollo del cultivo del café esta en un rango de 65 a 85 %, una mayor humedad provocaría una alta incidencia de enfermedades fungosas .

El CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ(1998) recomienda una humedad relativa con una variación de 70 a 85 %

Luminosidad.

Para CASTELLON (1992) la cantidad de luz que recibe el café determina en parte la capacidad de producción de la planta. Al hacer referencia a la luminosidad, es necesario tener en cuenta el papel de la sombra en el cafetal. En cuanto a la cantidad necesaria de sombra, aún en la actualidad hay contraposición de criterios por sus efectos en el cafeto. Es corriente observar una defoliación marcada en cafetales que tengan un sombreo pobre, por su parte la sombra excesiva, que sólo permite una escasa iluminación influye grandemente en la producción de los cafetales.

El CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998) recomienda una nubosidad y brillo solar de 280 hrs/mes (zonas cálidas, meses secos) ; 70 hrs/mes (tiempo lluvioso, zonas altas frías).

Altitud.

La altitud en la que el café alcanza un mayor desarrollo se encuentra entre 500 a 1500 m.s.n.m. según ANACAFE (1998). Una altitud menor, baja la calidad de la taza e incrementa los costos de producción y una mayor altitud provoca poco desarrollo vegetativo.

Vientos.

De acuerdo a el CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998) se recomienda una velocidad de vientos que varia de 5 a 7 Km./hr

ANACAFE (1998) no recomienda el viento a velocidades mayores de 30 Km./hr se considera un factor perjudicial, por su efecto desecante y los daños mecánicos que provoca en los cafetos y en los árboles de sombra

MALAVOLTA *et.al*. (1983) sugiere que es necesario entender al suelo como el medio ambiente del sistema radicular donde la disponibilidad de nutrientes y de agua esta gobernada por las condiciones físicas (textura , estructura y porosidad) y las características químicas (fertilidad del suelo) determinan la distribución y extensión del sistema radicular el cual a su vez ayuda el desarrollo de la parte aérea de la planta.

CASTELLON (1992) propone que suelos más adecuados son aquellos que contienen alto porcentaje de materia orgánica o tierra vegetal, arcilla, arena y limo. A estos suelos se los acostumbra a llamar franco arcillosos, franco arenosos o limoso. Una característica importante del suelo es que debe ser moderadamente permeable, no susceptible al encharcamiento de agua y con una buena capacidad de retener humedad en épocas de sequía.

De acuerdo a OCHSE *et.al.* (1980) el café prospera en un suelo profundo, bien drenado, que no sea ni demasiado ligero ni demasiado pesado. Los limos volcánicos son ideales.

MALAVOLTA *et.al.* (1983) Propone una profundidad efectiva del suelo para café esta alrededor 1.20 cm. Que tenga una textura franco arcillosa, con no más del 15 % de piedras o cascajo y posea una estructura granular o subgranular, con una buena retención de agua.

Para este mismo parámetro el CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998) sugiere los mejores suelos para el cultivo del café son los francos de estructura granular, de color negro, donde hay buena aireación y permeabilidad moderada; en esos suelos las raíces pueden penetrar con facilidad y disponen de buena calidad de aire y de agua. El cafeto exige buen drenaje, tanto interno como externo, razón por la cual no

prospera en suelos pesados y de topografía plana. Exige además suelos profundos, ya que las raíces penetran hasta un metro y medio en la capa vegetal.

Reacción del suelo (pH).

Según OCHSE (1980) la reacción del suelo debe ser más bien ácida. Una variación del pH de 4.2 – 5.1 se considera lo mejor para el café arábigo en Brasil y para café robusta en el Africa Oriental.

MALAVOLTA *et.al.* (1983) admite que el café se desenvuelve bien solo con un pH entre 5.0 a 6.5.

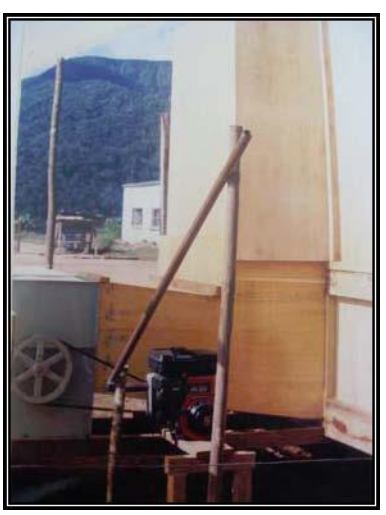
Para el CENTRO DE PREPARACIÓN DE CAFÉ (1998) las propiedades químicas que debe tener un buen suelo para el cultivo del cafeto son la acidez, medida como pH, la fertilidad , representada por un buen balance de nutrientes y el contenido de materia orgánica. La acidez debe ser mediana (pH entre 5.0 y 6.0) y su contenido de materia orgánica debe ser del 8 al 12 %.

Construcción Secador Solar Activo

Vista del Secador Solar Activo

ANEXO 7
SOLARES

Secador Solar Activo
Activo



FOTOGRAFIAS SECADORES

Motor para el funcionamiento
del Ventilador Centrifugo
Colectores Solares Secador Solar

Secador Solar Semi-Activo

Seleccionado de café en Guinda

Sede del proyecto MOJSA Calama

Secador Solar Semi-Activo

□..... ....

.....

Secador Solar Pasivo Bandeja de Secado