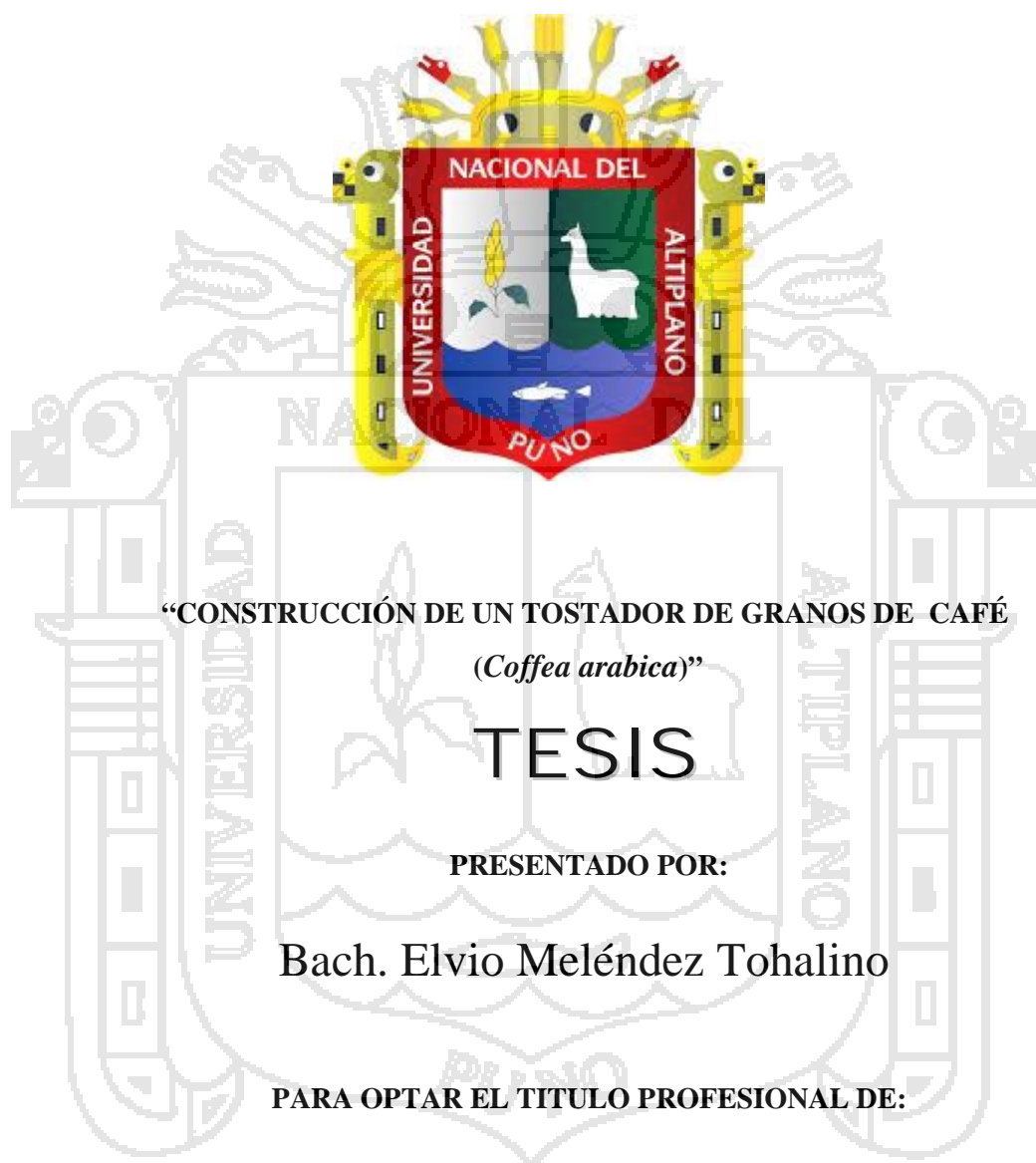


# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



“CONSTRUCCIÓN DE UN TOSTADOR DE GRANOS DE CAFÉ  
(*Coffea arabica*)”

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach. Elvio Meléndez Tohalino

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

PUNO PERU

2009

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**“CONSTRUCCIÓN DE UN TOSTADOR DE GRANOS DE CAFÉ  
(Coffea arabica)”**

PRESENTADO A LA DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN DE LA FACULTAD DE CIENCIAS  
AGRARIAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO - PUNO PARA OPTAR  
EL TÍTULO DE:

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

PRESENTADO POR:

Bach. Elvio Meléndez Tohalino

APROBADO POR:

PRESIDENTE DE JURADO: .....

Ing. M.Sc. Luis A. Jiménez Monrroy

PRIMER MIEMBRO: .....

Ing. M.Sc. Lizandro G. Fernández Castro

SEGUNDO MIEMBRO: .....

Ing. Edgar Gallegos Rojas

DIRECTOR DE TESIS: .....

Ing. M.Sc. Alejandro Coloma Paxi

ASESOR DE TESIS: .....

Ing. M.Sc. Thomas Ancco Vizcarra

PUNO

PERU

Área: Ingeniería y tecnología

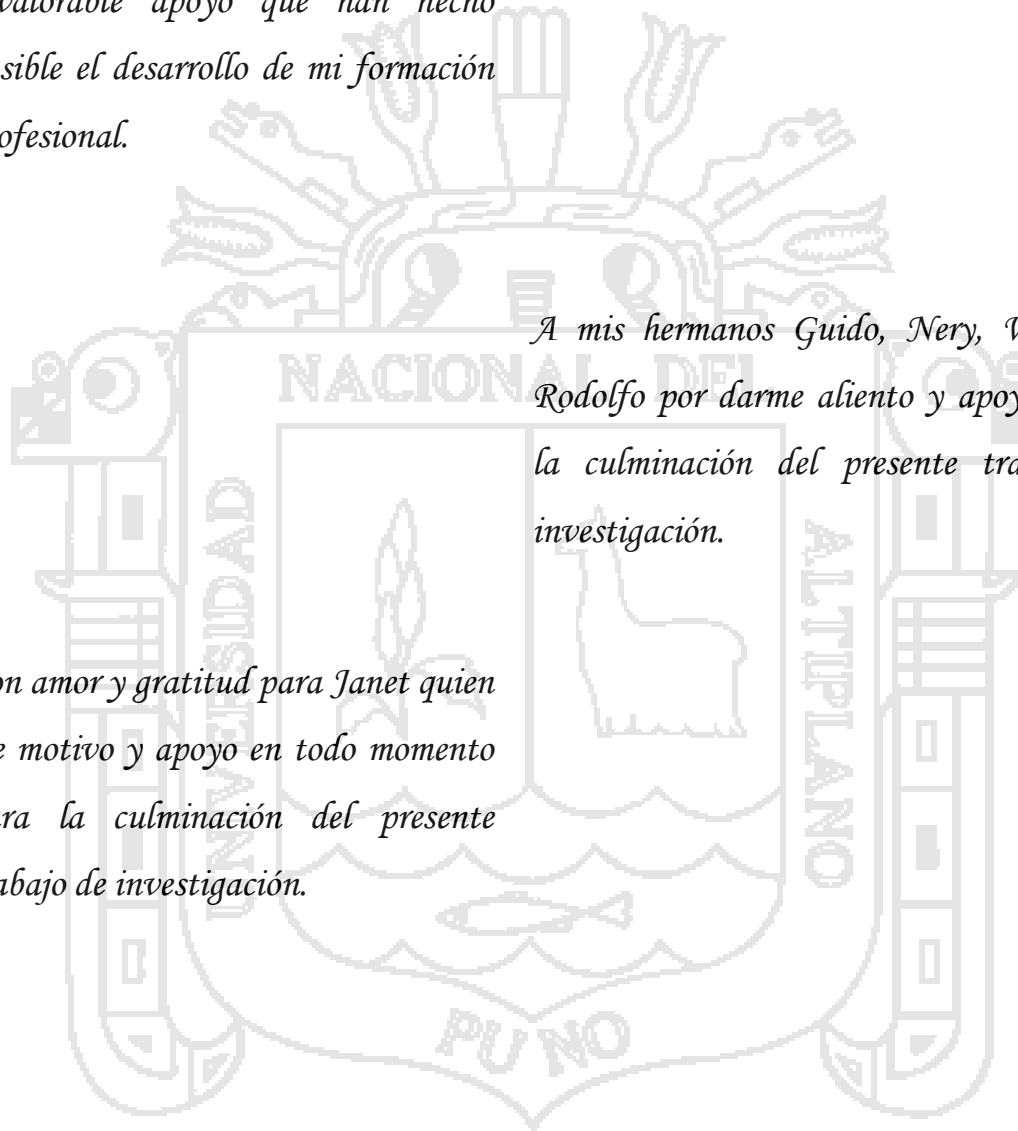
Tema: Desarrollo de procesos y productos agroindustriales sostenibles y eficientes

## DEDICATORIA

*A mis queridos padres SANTIAGO y LIDIA por su incondicional e invaluable apoyo que han hecho posible el desarrollo de mi formación profesional.*

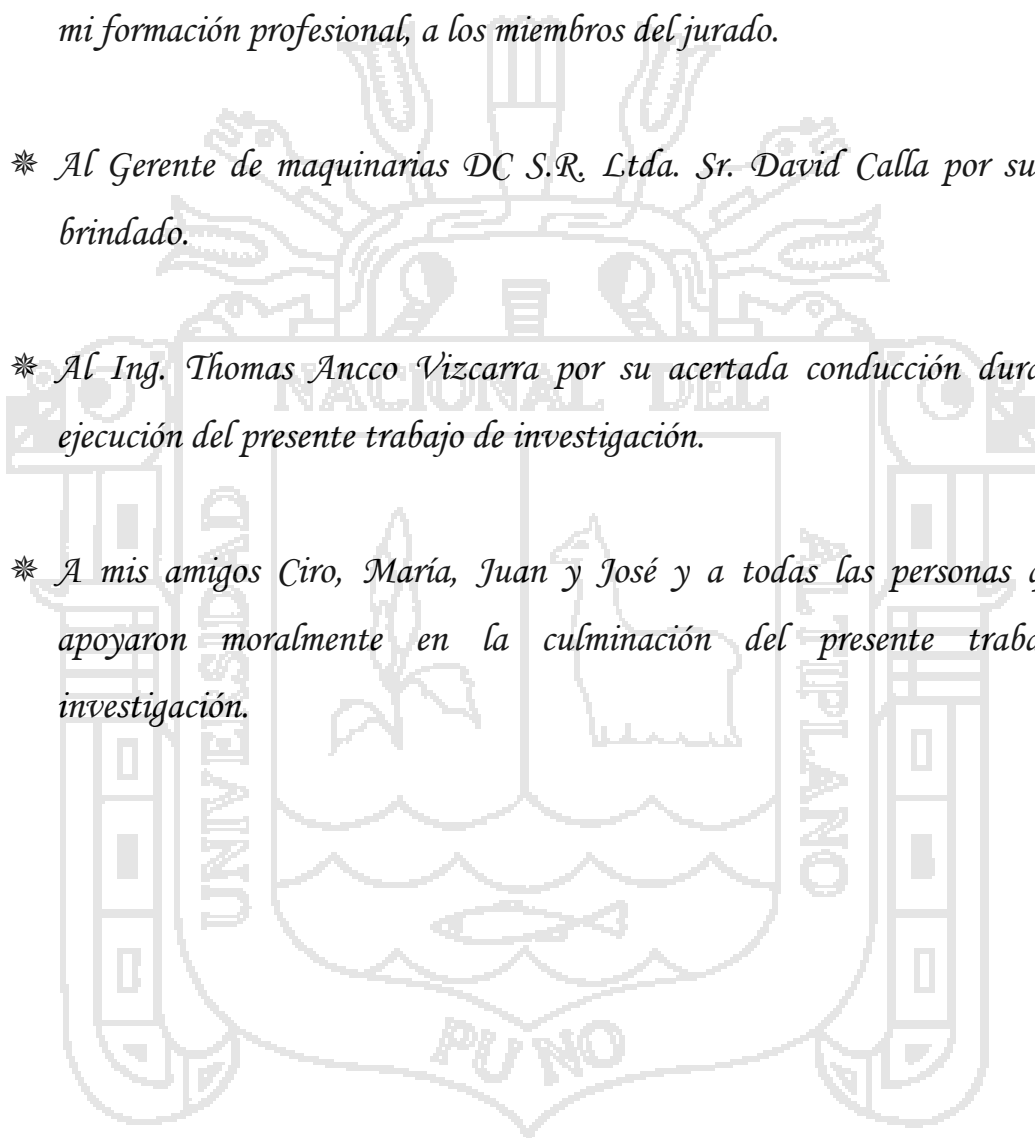
*A mis hermanos Guido, Nery, Walter y Rodolfo por darme aliento y apoyarme en la culminación del presente trabajo de investigación.*

*Con amor y gratitud para Janet quien me motivo y apoyo en todo momento para la culminación del presente trabajo de investigación.*



## AGRADECIMIENTO

- \* *A la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Agrarias, Carrera Profesional de Ingeniería Agroindustrial; a su plana docente y administrativa quienes me otorgaron sus sabias enseñanzas, colaborando con mi formación profesional, a los miembros del jurado.*
- \* *Al Gerente de maquinarias DC S.R. Ltda. Sr. David Calla por su apoyo brindado.*
- \* *Al Ing. Thomas Ancco Vizcarra por su acertada conducción durante la ejecución del presente trabajo de investigación.*
- \* *A mis amigos Ciro, María, Juan y José y a todas las personas que me apoyaron moralmente en la culminación del presente trabajo de investigación.*

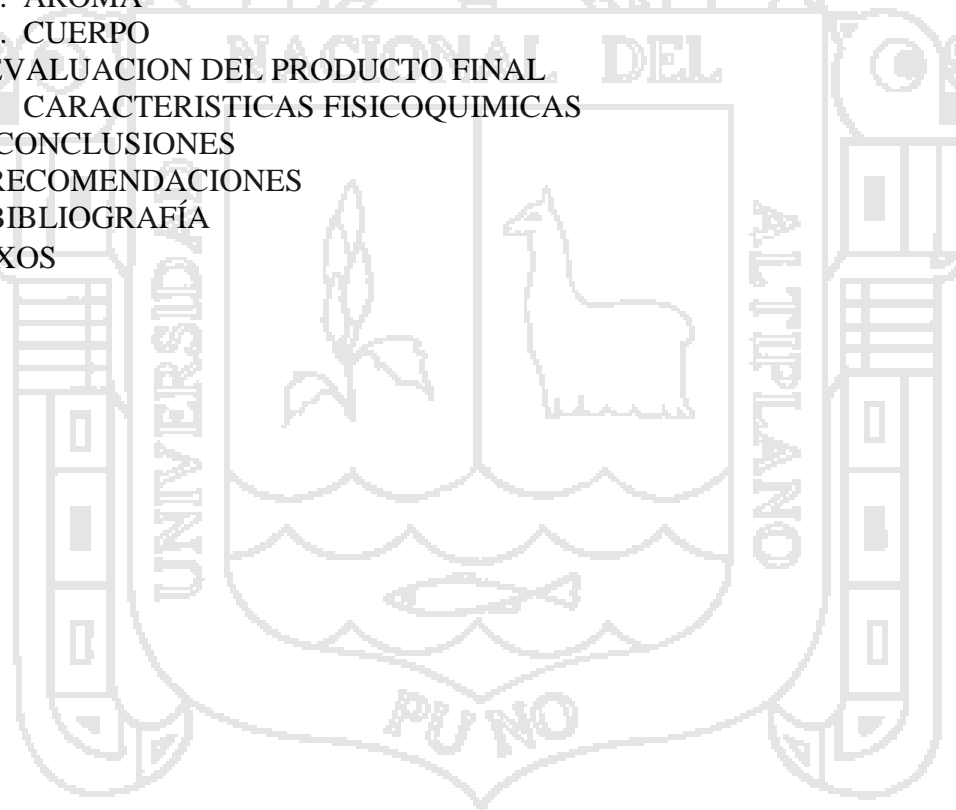


## INDICE GENERAL

RESUMEN	1
I. INTRODUCCION	1
II. REVISION DE BIBLIOGRAFICA	2
2.1. EL CAFÉ	2
2.1.1. ORIGEN DEL CAFÉ	2
2.1.2. ECOLOGIA Y ADAPTACION	2
2.1.3. VARIEDADES DE CAFÉ	3
2.1.4. PRODUCCION DE CAFÉ EN EL PERU	3
2.1.5. ESTRUCTURA DEL GRANO DE CAFÉ	5
2.1.6. COMPOSICION QUIMICA DEL CAFÉ	6
2.1.7. PROCESO DEL CAFÉ TOSTADO	8
2.1.7.1. TOSTADO DEL CAFÉ	8
2.1.7.2. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL TOSTADO DE CAFÉ	9
2.1.7.3. EFECTO DEL TOSTADO EN EL AROMA Y SABOR DEL CAFÉ	12
2.1.7.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AROMA DEL CAFÉ TOSTADO	14
2.1.7.5. COMPUESTOS VOLÁTILES DEL CAFÉ TOSTADO	18
2.1.8. GRADO DE MOLIDO DEL CAFÉ	26
2.1.9. CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS DEL CAFÉ	27
2.1.9.1. AROMA DEL CAFÉ	28
2.1.9.2. SABOR DEL CAFÉ	28
2.1.9.3. CUERPO DEL CAFÉ	29
2.1.9.4. DEFECTOS EN LA TAZA	29
2.1.10. DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS TECNOLÓGICOS	30
2.2. CONSIDERACIONES GENERALES DE INGENIERIA PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO	34
2.2.1. TRANSMISION DE CALOR	34
2.2.1.1. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	35
2.3. MECANISMOS DE LA TRANSFERENCIA DE MATERIA	38
2.3.1. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	38
2.3.1.1. TRANSFERENCIA DE MATERIA Y CALOR EN EL GRANO DE CAFÉ	38
2.3.1.2. TRANSFERENCIA DE MATERIA EN EL GRANO DE CAFÉ	39
2.3.1.3. TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL GRANO DE CAFE	40
2.4. FUNDAMENTOS TECNOLOGICOS DE LOS MATERIALES	41
2.4.1. ACEROS INOXIDABLES	41
2.4.2. FAMILIAS DE ACEROS	42
2.4.3. ACEROS INOXIDABLES USADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA	44
III. MATERIALES Y METODOS	46
3.1. LUGAR DE EJECUCION	46
3.2. MATERIALES	46
3.2.1. MATERIA PRIMA	46
3.2.2. INSTRUMENTOS DE CONTROL DEL EQUIPO	46
3.2.3. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	47
3.2.4. MATERIALES PARA LAS PRUEBAS DE TOSTADO DE CAFE	48
3.3. PROCESO DE BENEFICIO E INDUSTRIALIZACION DE CAFÉ	48



3.4.METOLOGIA EXPERIMENTAL	50
3.4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL TOSTADO Y EVALUACION SENSORIAL DEL CAFÉ	50
3.4.2. METOLOGIA PARA EL ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS DE LA EVALUACION DEL EQUIPO TOSTADOR EN EL TOSTADO DE GRANOS DE CAFÉ	52
3.4.3. METOLOGIA PARA EL ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS DE LA EVALUACION SENSORIAL DE GRANOS MOLIDO Y PERCOLADO DE CAFE	53
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
4.1.CARACTERISTICAS DEL EQUIPO TOSTADOR CONTRUIDO	55
4.2.EVALUACION DEL EQUIPO PARA LA DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE TOSTADO	56
4.2.1. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE TOSTADO	56
4.2.2. ANALISIS SENSORIAL DEL PRODUCTO CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO	59
4.3.1. ACIDEZ	59
4.3.2. AROMA	59
4.3.3. CUERPO	60
4.4. EVALUACION DEL PRODUCTO FINAL	62
4.4.1 CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS	62
V. CONCLUSIONES	64
VI. RECOMENDACIONES	65
VII. BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	70



## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Producción Nacional de café en el 2006.	04
Cuadro 2. Composición química porcentual (%) del café verde y tostado, en base seca	06
Cuadro 3. Composición por 100 gramos de porción comestible	07
Cuadro 4. Composición de aminoácidos por 100 gr. de porción comestible	08
Cuadro 5. Grupo de compuestos volátiles identificados en el café tostado	20
Cuadro 6. Impresiones del olor de algunas familias de compuestos odorantes constituyentes del café tostado y molido	21
Cuadro 7. Factores que inciden en la calidad del café	31
Cuadro 8. Propiedades de los aceros inoxidables	45
Cuadro 9. Características del tambor de tostado	55
Cuadro10. Prueba de comparaciones múltiples de DUNCAN para el rendimiento diferentes temperaturas y tiempo de tostado del café al 95% de intervalo de confianza.	57
Cuadro11. Prueba de Comparaciones múltiples de DUNCAN para el taceo del cuerpo del café temperaturas y tiempo de tostado	60
Cuadro 12. Composición proximal de café tostado ( <i>Coffea arabica</i> )	63

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Corte longitudinal de una cereza de café	05
Figura 2. Estructura y partes del grano de café	05
Figura 3. Sección de una esfera en la cual la transferencia de materia se realiza por difusión y la transferencia de calor por conducción.	40
Figura 4. Transferencia de calor en la operación unitaria de tostado de granos de café	41
Figura 5. Diagrama de flujo para el tostado de café.	48
Figura 6. Diseño experimental para el tostado de café	50
Figura 7. Proceso de evaluación de café	51
Figura 8. Rendimiento obtenido en el tostado de café por efecto de la temperatura y tiempo de tostado.	58
Figura 9. Porcentaje de quemados obtenido en el tostado de café por efecto de la temperatura y tiempo de tostado.	58
Figura 10. Porcentaje de crudos obtenido en el tostado de café por efecto de la temperatura y tiempo de tostado	59
Figura 11. Evolución del taceo del cuerpo del café tostado, molido y percolado en función de la temperatura y tiempo.	61
Figura 12. Evolución del taceo del cuerpo del café tostado, molido y percolado en función a la acidez y aroma	61



## RESUMEN

El presente trabajo de tesis “Construcción de un tostador de granos de café (*coffea arabica*)” se realizó en las ciudades de Puno y Juliaca, en Maquinarias D.C. E.I.R. Ltda. Las pruebas de tostado y evaluaciones sensoriales se realizaron en la Universidad Nacional de Altiplano Puno – Perú; el problema del presente trabajo de investigación es el deficiente conocimiento en procesos de tostado de granos así como el café que se viene practicando en forma artesanal con una tecnología no convencional. El objetivo fue construir un equipo tostador, evaluar mediante el tostado de granos y describir las características con factores en estudio: Temperaturas de 180 °C, y 220 °C; Tiempos de tostado 5 min, y 7 min. Se construyó el equipo tostador de granos de café con tambor horizontal de 0.22 m de diámetro y 0.21 m de longitud con una capacidad de 0.200 Kg. la misma que tiene como fuente de energía gas propano la cual es suministrada por un selenoide, las revoluciones por minuto (RPM) del Tambor es de 32 rpm, adicionalmente cuenta con un controlador indicador de temperatura y un motor eléctrico de 0.3 Hp para el movimiento del tambor. Durante la evaluación del equipo se sometieron los granos de café procedente del valle del Alto Inambari de la variedad arabica a altas temperaturas con las que se definió los parámetros de operación de tostado, se utilizó el diseño completamente al azar (DCA), se utilizó la escala hedónica para la evaluación de las características sensoriales del café tostado mediante la prueba de la taza, los datos obtenidos se evaluaron mediante el ANVA, y prueba de comparaciones múltiples de DUNCAN. Los resultados evidenciaron que a temperatura de 180°C y tiempo de 7 minutos el producto se tuesta con mejor calidad organoléptica obteniéndose 92% de granos tostados, correspondiendo el mejor tratamiento, con mejor aceptación en acidez, aroma y cuerpo. Asimismo se evidenció que la temperatura influye en el rendimiento y calidad del café tostado y sobre las propiedades organolépticas de acidez, aroma y cuerpo.

## I. INTRODUCCION

Puno, cuenta con una biodiversidad de regiones y recursos naturales, las cuales no están siendo aprovechados eficientemente por la agroindustria, donde el valor agregado es de sumo interés debido a que refleja en la alta rentabilidad y mayor oportunidad de competir frente a productos catalogados comercialmente como productos de consumo masivo, y todo ello por sus propiedades funcionales que hacen que incremente su demanda en el sector cafetalero.

La agroindustria cafetalera es fuente de generación de valor agregado de la materia prima en una variedad de productos con la finalidad de incrementar y diversificar las presentaciones y como consecuencia se incrementa el valor económico del producto, por lo que el proceso de tostado es una operación intermedia en el proceso de industrialización del café, en donde intervienen directamente las propiedades termo físicas influyendo así directamente en el diseño de cualquier proceso térmico ya que están involucradas en la transferencia de masa y energía térmica, y tienen una estrecha relación con la estructura celular y química de los materiales; el proceso de tostado esta determinado por el sabor deseado, ya que durante este proceso la calidad del producto puede ser controlada al medir en línea la temperatura de los granos de café. La temperatura se considera una variable adecuada para controlar el proceso, debido a que determina la intensidad de las reacciones físicas y químicas, que transforman al producto y le confiere la calidad del café tostado.

El presente trabajo de investigación esta orientada al desarrollo tecnológico puesto que contribuye en la optimización en el proceso de tostado de café, así de esta manera mejora el desarrollo agroindustrial.

Los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación fueron:

- Describir las características del Equipo construido y Evaluar el tostador construido con el tostado de granos de café.
- Determinar los parámetros tecnológicos de Temperatura y Tiempo de procesamiento de granos de café.
- Evaluar y comparar las características de Aroma, Acidez y Cuerpo como parámetros de producto del tostado de granos de café.

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1. EL CAFÉ

#### 2.1.1. ORIGEN DEL CAFÉ

Nosti, (1963), Smith, (1985) Mundo del café, (2004) y Pide Café (2003), indican que el café se descubrió en Abisinia, hoy Etiopia, donde existen plantas silvestres, se extendió a Arabia, posteriormente a través de los Holandeses hacia Java y Europa, según la leyenda en Arabia se han masticado granos y hojas en forma cruda. Pero los etíopes desarrollaron métodos más sabrosos para acceder a la cafeína y escaldaron hojas y cerezas en agua hervida; El café se importó a la isla de Reunión o Borbón directamente de Arabia llamada hoy en día Café arabica variedad Borbón. Más tarde fue llevada a las Indias Occidentales, de allí a Centro y Suramérica.

#### 2.1.2. ECOLOGIA Y ADAPTACION

El café se cultiva en regiones templadas, la temperatura y la altura determinan la calidad del café peruano. La temperatura de crecimiento oscilan entre 13 y 26°C, siendo la condiciones óptimas para el cultivo del café a temperaturas media mensual entre 18 y 22°C con máxima de 25 y mínima de 16°C, sin peligro de heladas, con precipitación entre 1500 y 2000 mm/año, con lluvias bien distribuidas y menos de dos meses de época seca (menos de 50 mm de lluvia/mes).

El café necesita suelos francos con pH de 5.0 - 6.0, suelos que presenta el intermedio entre arenoso y arcilloso, de estructura granular en donde hay una buena aireación y permeabilidad moderada Cenicafe, (1996).

Figuroa *et al.*, (2001), indican que la textura, profundidad y drenaje del suelo son de importancia, el café preferentemente requiere suelos de color pardo rojo o anaranjado, ligeramente ácido, rico en nutrientes, particularmente en K y rico en materia orgánica, la aireación debe tener un espacio poroso en un 60%.

### **2.1.3. VARIETADES DE CAFÉ**

Aliaga (1984), reporta las variedades y cultivares más importantes de café en el país siendo estas:

**Typica:** Es el más cultivado en el mundo, en el Perú también en la cuenca del Huallaga, por su calidad apreciada en el mercado internacional, se caracteriza por su gran polimorfismo, rusticidad, tallos y ramas flexibles que facilitan la cosecha.

**Caturra Roja y Caturra Amarilla:** Son de porte bajo, follaje denso, buena producción y calidad de taza. Se introdujo del Brasil donde se generó por mutación del "Borbón". Se diferencia por la coloración del fruto a la maduración, rojo y amarillo respectivamente. Puede adaptarse al cultivo intensivo a pleno sol (con buenas prácticas culturales: abonamiento, riego y deshierbo), pero no soporta condiciones adversas; al ser cultivado bajo sombra, exige buen manejo y buen control sanitario.

### **2.1.4. PRODUCCION DE CAFÉ EN EL PERU**

JNC, (2005), El Perú, con 3.5% de la producción mundial ocupó en el año 2004 el séptimo lugar entre los países exportadores de café, y fue el primer exportador de café orgánico en el mundo (OIC, 2005). El Perú produce exclusivamente café arábico (*Coffea arabica*), que se comercializa bajo la categoría "Otros Suaves". Cabe resaltar, que a nivel regional la importancia es mucho mayor: es el principal cultivo lícito de la Selva Alta, la principal fuente de ingresos y el mayor generador de empleos en esta región. En el Perú

Predomina en un 70% los cultivares Typica y Bourbon, seguidos de Caturras, Paches y Catimor. Los cafetales se manejan en un 90% bajo sombra. Tradicionalmente, en el Perú los caficultores mantienen una tendencia hacia la diversificación de su producción; en parte es originado por la siembra del café en asociación con frutales como plátano, naranjo y palto que sirven como árboles de sombra. Según la zona, los caficultores siembran también caña de azúcar y cultivos agrícolas de primera necesidad, como yuca, maíz y frijoles, los cuales se pueden ver en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Producción Nacional de café en el 2006.

Región	Hectáreas Cosechadas	Producción (Toneladas)	Rendimiento (Kg/Ha)
Amazonas	31,734	25,064	790
Ayacucho	6,154	4,171	678
Cajamarca	60,730	47,729	786
Cusco	52,475	35,406	675
Huancavelica	20	8	400
Huánuco	4,157	2,009	483
Junín	83,906	82,872	988
La Libertad	360	303	842
Lambayeque	895	485	542
Loreto	47	24	511
Madre de Dios	53	35	661
Pasco	7,438	6,387	859
Piura	1,029	2,621	2,547
<b>Puno</b>	<b>8,512</b>	<b>7,431</b>	<b>873</b>
San Martín	42,118	39,334	934
Ucayali	1,397	1,349	965
<b>Total</b>	<b>1674,65</b>	<b>1109,37</b>	<b>686,8</b>

Fuente: SISAGRI-MINAG, 2006.

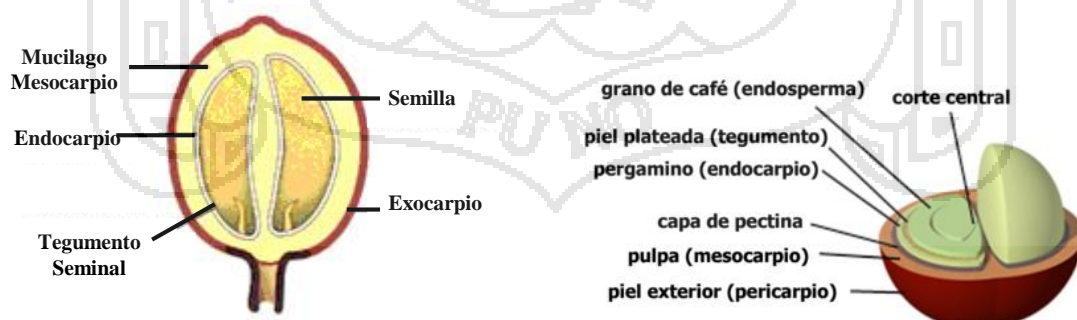
### 2.1.5. ESTRUCTURA DEL GRANO DE CAFÉ

Cenicafe (1996), indica que es el resultado de la unión del grano de polen con el óvulo, luego empieza a desarrollarse durante las primeras siete semanas, alcanzando un tamaño de 4mm, después de seis semanas alcanza su tamaño definitivo, el café de tierra cálida madura más temprano que el de tierra fría.

Los frutos se cosechan al llegar a su madurez, lo que se advierte por el color marrón intenso que adquiere el grano, aunque existen también variedades que presentaron un color amarillo cuando están maduras (Feldman, J.R. *et al.*, (1969), Citado por Reyes, 2003).

En las Figuras 1 y 2, se muestra un corte longitudinal y las fracciones anatómicas del fruto del grano de café propiamente dicho o endospermo, la cáscara o endocarpio, una capa mucilaginosa o mesocarpio, y la pulpa o mesocarpio.

Figura 1. Corte longitudinal de una cereza de café      Figura 2. Estructura y partes del grano de café:



La semilla o cotiledón tiene un surco o hendidura en el centro del lado plano por donde se unen las dos semillas. El grano o semilla tiene un extremo que termina en forma



puntiaguda donde se encuentra el embrión. La semilla del café presenta una superficie plana que se encuentra con otra parte igual dentro del fruto, cada mitad está recubierta por un delicado tejido conocido como película. Estas dos fracciones se sostienen dentro del endocarpio, membrana conocida también con el nombre de pergamino o cascarilla de café, que es duro y quebradizo cuando se seca, y el cual rodea individualmente a cada una de las dos fracciones que constituyen un grano. La cáscara, en cambio, está cubierta por una gruesa capa de células esponjosas que forman la pulpa. Esta capa tiene un espesor aproximado de 5 mm.

#### 2.1.6. COMPOSICION QUIMICA DEL CAFÉ

La composición química del grano de café es extremadamente compleja, se han identificado más de 300 constituyentes; a causa de esta complejidad se desconoce en gran parte la base química del sabor y el aroma del café. En el Cuadro 2 se presenta la composición química del café verde y del café tostado (Fox y Cameron, 1992).

Cuadro 2. Composición química porcentual (%) del café verde y tostado, en base seca

Componentes	Granos verdes	Granos tostados
Proteínas	13	11
Azúcares	10	1
Almidón y dextrinas	10	12
Polisacáridos complejos	40	46
Aceite	13	15
Minerales •	4	5
Ácido clorogénico	7	5
Trigonelina	1	1
Fenoles	0	2
Cafeína (en Coffea arabica)	1	1,3

- principalmente K

Según Collazos, (1996) y Moreyra *et al.*, (2006), La composición de los granos de café se presenta en los Cuadros 3 y 4.

Cuadro 3. Composición por 100 gramos de porción comestible

Compuesto	Café Grano Sin Tostar	Café Sin Azúcar
Energía (kcal)	203	2
Agua (g)	6,3	98,5
Proteína (g)	11,7	0,3
Grasa (g)	10,8	0,1
Carbohidrato (g)	68,2	0,8
Fibra (g)	22,9	0,0
Ceniza (g)	3,0	0,3
Calcio (mg)	120	5
Fósforo (mg)	178	5
Hierro (mg)	2,9	0,2
Retinol (mcg)	3	0
Tiamina (mg)	0,22	0,01
Riboflavina (mg)	0,06	0,01
Niacina (mg)	1,30	0,90
Acido Ascórbico Reducido (mg)	-	0,0

Fuente: Collazos, C. 1996. Tablas Peruanas de Composición de Alimentos

Cuadro 4. Composición de Aminoácidos por 100g de porción comestible

Nombre	Café soluble en polvo	Café, infusión
Tiamina (mg)	0	0.01
Riboflavina (mg)	0.11	0.01
Equivalentes de Niacina (mg)	24.9	0.7
Vitamina B (mg)	0.03	0
Acido Fólico (ug)	-	-
Vitamina B <sub>12</sub> (ug)	0	0
Vitamina C (mg)	0	-
Vitamina A: Eq. retinol (ug)	-	-
Retinol (ug)	0	0
Carotenos (ug)	-	-
Vitamina D (Ug)	0	0
Vitamina E (mg)	-	0

Fuente: Moreiras *et al.*, (2006)

## 2.1.7. PROCESO DEL CAFÉ TOSTADO

### 2.1.7.1. TOSTADO DEL CAFÉ

FAO (1997), indica que el tostado de los alimentos es un tratamiento térmico que se utiliza no solo para mejorar las características organolépticas sino también para aumentar su digestibilidad; mientras que Kochen (1995), menciona que con la técnica del tostado se destruyen las enzimas, insectos y bacterias, si el tostado es efectuado de manera adecuada, incrementa el periodo de almacenaje del producto final y contribuye a que este pueda ser más digestible.

Asimismo, Albert Solá (2005), menciona que el proceso de tostar los granos del café verde consiste en someterlos durante un tiempo limitado a una alta temperatura, mediante la transferencia de calor, intervalo durante el cual:

- Pierde peso, alrededor del 15 al 20%, debido en gran parte a la evaporación de su humedad y en menor parte a la pirólisis de algunos componentes.
- El grano aumenta de volumen, entre un 100 y un 130% en el caso del tostado natural en función del tiempo de tueste y entre el 70 y el 80% para el torrefacto.
- Su color amarillo verdoso se transforma en marrón, más o menos oscuro en función del grado de tueste escogido.
- La composición química del grano sufre una importante transformación, tanto a nivel cuantitativo como cualitativo. Azúcares, grasas, proteínas, sustancias nitrogenadas no proteicas, ácidos, etc., todo sufre una transformación debido a las altas temperaturas a que es sometido el grano.

#### **2.1.7.2. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL TOSTADO DEL CAFÉ**

Los parámetros que influyen en la calidad de tostado según Albert Solá (2005), son:

##### **2.1.7.2.1. Temperatura de tueste**

La temperatura de tueste depende del tipo de máquina de tostar, del tiempo de tueste y de la intensidad del color final requerido. En una primera fase se seca la humedad del café y es la fase que influye menos en el gusto final. En una segunda fase se origina la expansión de las celdillas del grano de café y empieza la creación de los gases aromáticos. La tercera fase debe ser más lenta pues es la que confiere básicamente el gusto final al producto.

Según Gallego (2001), los granos crudos se someten a dos tipos de tostado el Natural y el Torrefactado.

El tostado natural consiste en poner los granos en unas máquinas llamadas

"tostadores de fuego directo" a una temperatura entre los 200 y 250 °C, hasta adquirir un tono marrón.

El Torrefactado, se realiza en tostadores llamados "a bola" con azúcar, alterándose la composición de los granos al haber deshidratación, oxidación y una ligera carbonización. Un problema que se tiene con este método es que si la temperatura ha sido excesiva pierde el aroma adquiriendo un sabor acre y amargo debido al quemado del azúcar.

Zugasti (2000), menciona que también se realiza el tipo de tostado flash, es la técnica más utilizada para los cafés de calidad común. Los granos soportan una temperatura de 880° C durante 90 segundos, lo cual implica una cocción irregular, e impide la liberación de sus aromas.

#### **2.1.7.2.2. Tiempo de tueste**

Zugasti (2000), menciona que la temperatura de tueste oscila entre un mínimo de un minuto y un máximo de 25 a 30 minutos, el tueste en el Sistema lento oscila entre 15 a 20 minutos, con lo que se logra un grano con un color oscuro y uniforme, adecuada para ser vendido al detalle y en grano; el Proceso rápido dura de 1 a 3 minutos, sistema que produce menor calidad pero se obtiene menos merma al tostar se gana alrededor de un 2% generalmente es utilizado principalmente para tostar los cafés de calidades inferiores, normalmente vendidos molidos.

Cabe diferenciar que el sistema de tueste rápido se aplica en países nórdicos y no es que produzca una menor calidad, sino que da un resultado al gusto local; allí no es aceptado el tueste tipo español pues le encuentran un exceso de acidez y agresividad en el paladar.

#### 2.1.7.2.3. Cambios producidos por el tueste

Los cambios que manifiestan el tostado son de tres tipos:

#### 2.1.7.2.4. Macroscópicos

- Color : Marrón cada vez más oscuro.
- Superficie : Aceitosa.
- Estructura : Porosa.
- Tenacidad : Quebradizo.
- Densidad : Pérdida de peso y Aumento de volumen.
- Humedad : 1-5 %.
- Aroma : Máximo contenido volátiles.
- Sabor : Dulce, ácido, astringente, amargo.

#### 2.1.7.2.5. Estructurales

- Reacciones pirólisis, presiones intracelulares (vapor de agua, CO<sub>2</sub>) de hasta 25 bar, Expansión y explosión de células.
- Disminución de elasticidad de las paredes celulares, Por efecto de presión interna los aceites migran a la superficie.
- Estructura porosa, densidad, quebradizo, superficie aceitosa.



#### 2.1.7.2.6. Químicos

- Cafeína Sin cambios apreciables. Disminución muy leve (Sublimación) en tuestes intensos.
- Trigonelina Decrecimiento con grado tueste. Formación compuestos heterocíclicos aroma y niacina.
- Aminoácidos Descomposición con formación CO<sub>2</sub> y volátiles aroma.
- Proteínas Transformación parcial en melanoidinas.
- Ácidos Clorogénicos Descomposición gradual. Formación de volátiles aroma, melanoidinas y CO<sub>2</sub>
- Ácidos Acético, málico, cítrico. Concentración máxima a tueste ligero, luego decrece.
- Hidratos de Carbono Formación de polisacáridos solubles, di y monosacáridos. Formación de polímeros pardos (melanoidinas, caramelo) y volátiles.
- Lípidos Ligera hidrólisis (Ácidos. grasos libres) y formación de volátiles por oxidación.

#### 2.1.7.3. EFECTO DEL TOSTADO EN EL AROMA Y SABOR DEL CAFÉ

Muchos cambios físicos y químicos complejos ocurren en la primera etapa del tueste, se pierde el agua libre; en la segunda ocurren reacciones químicas complejas, la deshidratación, la fragmentación, la recombinación, y la polimerización. Varios de estos cambios se asocian a la reacción de Maillard y conducen a la formación de compuestos de bajo peso molecular, tales como bióxido de carbono y agua libre, compuestos aromáticos y del sabor. Además, se generan materiales coloreados de alto peso molecular, solubles y parcialmente insolubles en agua (melanoides) (Parliment *et al.*, 1995).

Los principales mecanismos y cambios en la composición que ocurren durante el tostado según Illy y Viani (1995); Parliment y Stahl (1995) y Fennema (2000) incluyen:

- Reacción de Maillard o pardeamiento no enzimático entre sustancias con contenido de nitrógeno, aminoácidos y proteínas, pero también trigonelina, serotonina, carbohidratos, hidroxiácidos y fenoles.
- Degradación de Strecker de aminoácidos (vía reacción de Maillard). Degradación de aminoácidos a aldehídos, amoníaco, y dióxido de carbono; por la desaminación y decarboxilación de un -aminoácido. Cada aminoácido produce su aldehído específico, con su aroma característico. Algunos ejemplos de la reacción de degradación de Strecker: producción de isobutiraldehído e isovaleraldehído.
- Formación de compuestos de azufre de bajo peso molecular que contribuyen al sistema global del aroma. Ejemplo: el metional producido en la degradación de Strecker se descompone fácilmente dando metanotiol (metilmercaptano), que se oxida a disulfuro de dimetilo.
- Degradación de proteínas y aminoácidos individuales. Hay una destrucción de arginina, y pérdidas sustanciales de cisteína, lisina, metionina, serina y treonina. Degradación de aminoácidos azufrados, los aminoácidos polares con grupos -OH, -SH, y -NH, fueron encontrados en la producción de aromas en el café.
- Degradación de trigonelina o ácido N-metil-nicotínico. Bajo las condiciones de acidez suave que prevalecen durante el tostado del café, la trigonelina se desmetila a ácido nicotínico, produciéndose un incremento de 30 veces en la concentración y actividad de niacina del café. Es también conocido, que la

termólisis de la trigonelina genera piridinas, pirroles, y compuestos bicíclicos; además la descarboxilación de la trigonelina es otra fuente de dióxido de carbono generado durante el tueste.

- Degradación de azúcares. Azúcares no volátiles (pentosas, hexosas, disacáridos) son degradados por calentamiento para producir productos con aroma a caramelo, y color oscuro. Ejemplos de los aromáticos incluyen: Furanol (2,5-dimetil-4-hidroxi-3-[2H]-furanona), maltol (3-hidroxi-2-metilpiran-4-ona), cicloteno, compuestos dicarbonilos como diacetilo.
- Degradación de lípidos. La autooxidación de ácidos grasos insaturados, principalmente los de cadena larga (C18) produce aldehídos insaturados tales como 2,4-alcadienal, 2-enals y hexanal. El 2-nonenal juega un rol prominente en el aroma del café. Se le ha encontrado en concentraciones bajas y ha sido patentada con notas de aroma a madera.

#### **2.1.7.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL AROMA DEL CAFÉ TOSTADO**

A pesar de que el tostado tiene poco efecto sobre la cafeína (trimetilxantina), el ácido clorogénico se desdobra en los ácidos cafeico y quínico y la trigonelina se convierte en gran parte en niacina. Al preparar el café para beberla, la cafeína es rápidamente extraída, especialmente si el agua está muy caliente; a 95°C se extrae cerca del 80% después de 2 min, y el 90%, después de 10 min. Un tiempo corto de 1 a 2 min resulta ideal ya que favorece la extracción de la cafeína pero no de las sustancias menos solubles que contribuyen al amargor. Una taza de café bastante fuerte contiene cerca de 100 mg de cafeína, junto con 10 mg de potasio y 1 mg de niacina. La variedad de café robusta contiene casi el doble de cafeína que la arábica.

La naturaleza química del aroma y sabor del café ha sido un desafío al químico durante mucho tiempo, además han sido identificadas por muchos autores (Gautschi *et al.*, 1967).

La primera investigación sobre el aroma del café tostado fue realizada en 1926, por los ganadores del premio Nóbel, Reichstein y Staudinger, quienes tuvieron éxito en identificar los primeros compuestos aromáticos. Éstos incluyen los grupos importantes de compuestos de las alquiperazinas, -dicetonas, furfurilmercaptano y guayacoles. Sus esfuerzos en la investigación no pudieron ser demasiado acentuados, debido a que fue realizado mucho antes del descubrimiento de la cromatografía de gas y espectrometría de masas. Sólo utilizaron las técnicas clásicas de identificación (cristalización de derivados y destilación). Por aquellos años solo 13 componentes se conocían, luego por los años 50 el número se incrementó a 60. En la década de 1965 a 1975 el número de constituyentes aumentó dramáticamente a más de 600 (Tressl, 1989; Parliment y Stahl, 1995; Bonnländer y Eggers, 2005).

Uno de los primeros estudios sobre el incremento de la concentración de compuestos volátiles en la etapa de tueste fue realizado en 1960 por el investigador John W. Rhoades. Éste analizó siete variedades de café procedente de América (Santos, Central América, peruano, Maracaibo Cubano, Medellín Armenia, Colombia, Bucaramanga). Se identificaron y cuantificaron 19 compuestos volátiles; 16 de los cuales fueron detectados en los granos de café verde, en una o más de las siete variedades analizadas. Se determinó que el sulfuro de hidrógeno, formiato de metilo y propionil acetilo alcanzaron concentraciones máximas dentro de la temperatura normal de tueste (350°F – 430°F). A su vez se concluyó que la proporción entre el

diacetilo y propionil acetilo, podía ser indicativo del grado de tueste del café (Rhoades, 1960).

Feldman *et al.*, (1969), Realizaron estudios sobre la composición química de los granos de café verde, los cambios en composición al pasar al tostado y los sabores no volátiles que se producen durante el procesamiento. Se utilizaron muestras de grano verde y tostado de café Haití (arábigo), café Colombia (arábigo) y café Angola (Robusta). Durante el tostado (425 °F o 220 °C) fueron destruidos aminoácidos como: cisteína, lisina, arginina y serina en las tres muestras. En cuanto a la composición de ácidos volátiles, la Robusta presentó mayores concentraciones de ácido formica y menores concentraciones de ácido acético que los arábigos.

Posteriormente en 1971, con la mayor parte de los colaboradores de Bondarovich (1967), se identificaron 13 compuestos adicionales del complejo del aroma del café tostado previamente no identificados. Entre éstos se identificaron varios derivados de pirazinas con importantes propiedades organolépticas. (Friedel *et al.*, 1971).

Tressel (1989) caracterizó más de 700 constituyentes en los extractos del aroma del café tostado. Entre los cuales los compuestos heterocíclicos representaban el 80-85% de la fracción volátil en cantidades de 700 – 900 ppm en cafés arábigos de tueste medio.

Vitzthum *et al.*, (1990), identificaron un compuesto clave en el aroma del café Robusta, un derivado terpénico bicíclico: 2-metilsoborneol. Este compuesto constituye el elemento responsable del olor a tierra y moho, en estos tipos de cafés.

Para su identificación emplearon la cromatografía de gas con detección por olfateo y la espectrometría de masas.

Haciendo uso de la técnica extractiva simultánea de destilación/extracción, Holscher *et al.*, (1992), aislaron y luego identificaron por técnicas cromatográficas tres compuestos del sabor en café arábigo tostado. Éstos contenían odorantes azufrados (3- metil-2-buten-1-tiol, 3-mercapto-3-metilbutanol y 3-mercapto-3-metilbutil formato). Los resultados por medio de la técnica del modelo de reacciones, indicaron que el precursor de estos constituyentes volátiles fue el 3-metil-2-buten-1-ol llamado también prenil alcohol, compuesto encontrado en café tostado en el año 1967. Bicchi *et al.*, (1997), mediante el uso del método combinado “Headspace, Solid Phase Microextraction-Gas Chromatography” (hs-spme-gc), identificaron 36 compuestos volátiles en una mezcla 50/50 de café arábigo y café Robusta.

Czerny y Mayer (1999), investigaron que durante el tueste, el olor del grano verde en una muestra de café arábigo procedente de Colombia cambiaba a un aroma agradable. Los resultados de su estudio mostraron que los odorantes claves, en el caso de un tueste medio en el café arábigo eran el 2-furfuriltiol, 4-vinilguaiacol, varias alquilpirazinas, furanonas, acetaldehído, y propanal. En contraste, con otros compuestos azufrados como el 3-metil-2-buten-1-tiol y el 3-mercapto-3-metilbutilformato tenían una limitada influencia en el aroma de este café.

Hacia el mismo año, Mayer *et al.*, Cuantificaron 28 odorantes potentes en cafés arábigos de diferentes procedencias y grados de tueste. Las concentraciones de los compuestos: 2,3-butanodiona; 2,3 pentanodiona, 3-isobutil-2-metoxipirazina;



4-hidroxi- 2,5-dimetil-3(2H) furanona, 4-vinil- y 4-etilguaiacol; 2-furfuriltiol, 3-mercapto-3- metilbutilformato y 3-metil-2-buten-1-tiol cambiaron en los cafés obtenidos de las diferentes procedencias (Colombia, El Salvador, Kenia y Brasil). Mientras que los diferentes grados de tueste (suave, mediano, fuerte) influyeron en las concentraciones los compuestos: propanal, 2(5)-etil-4-hidroxi-5(2)-metil-3(2H) furanona, guayacol, etilguayacol, 2-furfuriltiol, 3-metil-2-buten-1-tiol y metanotiol (Mayer *et al.*, 1999).

En el 2000, Czerny y Grosch, evaluaron mediante el análisis de dilución del extracto del aroma (aeda, por sus siglas en inglés) los potentes odorantes presentes en una muestra de café arábigo procedente de Colombia en grano verde, y sus cambios durante el tueste. Encontraron que el compuesto 3-isobutil-2-methoxipirazina era el odorante responsable de la característica “peasy” (olor desagradable) en los granos de café verde. Este compuesto no presentó cambio en su concentración después del tostado, en comparación con otros compuestos que aumentaron luego de esta etapa, tal es el caso de (*E*)- -damascenona. Asimismo, por primera vez fue identificado el 2-metoxi- 3,5dimetilpirazina, como un compuesto activo del aroma del café crudo y del tostado.

#### **2.1.7.5. COMPUESTOS VOLÁTILES DEL CAFÉ TOSTADO**

La mayor parte de los volátiles del café se derivan de compuestos no volátiles presentes en el grano crudo, los cuales reaccionan durante el tueste. Es claro suponer que bajo las condiciones de tueste, diferentes tipos de reacciones químicas son posibles en el grano de café a presiones y temperaturas elevadas. Entre éstas se encuentran: reacción de Maillard, degradación de Strecker con formación de

pirazinas y oxazoles, degradación de trigonelina, degradación de ácidos fenólicos, degradación de lípidos, degradación de azúcares, rompimiento de aminoácidos azufrados, rompimiento de aminoácidos hidróxilos, y la degradación de prolina e hidroprolina. Es decir, que las interacciones de dichos componentes, forman una mezcla compleja resultando la formación del aroma y sabor característico del café (Dark y Nursten, 1985).

La composición final de los compuestos volátiles del café tostado depende de varios factores. Éstos incluyen: la especie y variedad de café, condiciones climáticas y suelo durante el crecimiento, almacenamiento (después de la cosecha y tostado), tiempo y temperatura de tueste y por último el equipo utilizado para el tueste (Dark y Nursten, 1985). Las dos especies principales de café, *C. arabica* y *C. canephora*, se diferencian considerablemente en precio, calidad y aceptación del consumidor. Debido al bajo costo, los cafés Robustas se utilizan como llenadores en las mezclas tostadas y molidas, agregando notas terrosas y fenólicas a algunos cafés de tueste oscuro, cafés espresso, consumidos en la parte Occidental de Europa (Parliment y Stahl, 1995).

El aroma del café tostado es muy complejo. Está compuesto de muchos volátiles con características odoríficas diferentes, algunos agradables otros desagradables, y muchos otros probablemente debajo de su umbral detectable. La concentración, la proporción y la influencia de un volátil con otro, afectan la calidad final de aroma.

Los efectos que un volátil tiene sobre otro no son bien entendidos y casi imposible de aclarar en una mezcla tan compleja como la fracción volátil de café, donde varios de estos compuestos se encuentran a concentraciones diferentes (Dark y Nursten, 1985).

En el Cuadro 5, se muestran los grupos identificados en el café tostado, en las investigaciones realizadas por Clarke en 1986 y Van Straaten y colaboradores en el mismo año; recopiladas en la publicación de Illy y Viani en 1995.

Cuadro 5. Grupo de compuestos volátiles identificados en el café tostado

GRUPO	NÚMERO DE COMPUESTOS	GRUPO	NÚMERO DE COMPUESTOS
Acetales	1	Éteres	1
Ácidos	22	Furanos	112
Alcoholes	20	Hidrocarburos	72
Aldehídos	29	Cetonas	68
Compuestos alifáticos	22	Lactonas	9
nitrogenados	17	Oxazoles	28
Compuestos alifáticos	3	Fenoles	40
azufrados	3	Piranos	2
Anhídridos	5	Pirazinas	81
Benzofuranos	11	Piridinas	15
Benzoxazoles	4	Pirones	4
Benzopirazinas	5	Pirroles	67
Benzopiridinas	1	Tiazoles	26
Benzopirroles	1	Tiofenos	30
Benzotiazoles	29		
Benzotiofenos		<b>Total</b>	<b>729</b>
Esteres			

Fuente: (Illy *et al.*, 1995).

Los principales grupos de compuestos volátiles identificados en esta matriz: pirazinas, piridinas, compuestos azufrados, pirroles, oxazoles, furanos, compuestos carbonilos y fenoles son descritos brevemente a continuación, en el Cuadro 6, resume las impresiones del olor de algunos potentes odorantes encontrados en el café tostado y molido.

Cuadro 6. Impresiones del olor de algunas familias de compuestos odorantes constituyentes del café tostado y molido

FAMILIA DE COMPUESTOS	IMPRESIONES DEL OLOR	FAMILIA DE COMPUESTOS	IMPRESIONES DEL OLOR
Furanos	Carne asada, café tostado, caramelo, heno, almendra dulce, algunas notas margas	Pirroles	Setas, medicina aceite, cereal
Cetonas	Manteca, fruta, caramelo	Oxazoles	Avellana
Aldehídos	Acre fermentado, malta, papa cocida manteca, miel, frutas, flores	Compuestos azufrados en general (tiofenos, tiazoles)	Café tostado cebolla, caramelo vegetales verdes nuez, cereal
Pirazinas	Maíz dulce, amargo maní tostado, tierra moho, paprikas, guisantes verdes	Fenoles: (Guayacol)	clavo ahumado, medicina
Piridinas	Amargo, tostado, caramelo, manteca	Mercaptanos	Col, notas podrido

Fuente: Dark *et al.*, 1985; Illy *et al.*, 1995; Czerny *et al.*, 1996; Bonnaländer *et al.*, 2005)

#### a. PIRAZINAS

Las pirazinas se han conocido en el café durante mucho tiempo. Son formados probablemente en la etapa del tueste por las interacciones de aminas, derivadas de la degradación de la proteína con los carbohidratos (Gautschi *et al.*, 1967). Más de 50 pirazinas se han identificado en el café tostado las cuales se forman durante la degradación de Strecker. Éstas por su parte se condensan para formar pirazinas y otros compuestos heterocíclicos (Tressl, 1989; Illy y Viani, 1995).

La tecnología y el nivel del tostado determinan el espectro de las pirazinas gracias al aumento de los metiletilpirazinas. La concentración de 2-metoxi-3-isobutil- e isopropilpirazina varía de 10 a 50 ppb. Por tanto, se le considera un compuesto con un alto nivel de sabor en café tostado (Tressl, 1989).

Las pirazinas por sí mismas tienen un aroma a maíz dulce – amargo, mientras que las alquilpirazinas generalmente conducen a unas notas terrosas, nuez tostada y quemada (Illy y Viani, 1995). El 2-isobutil-3-metoxipirazina, posee sin embargo el aroma característico a paprikas y los metoxipirazinas relacionados tienen olores a guisantes verdes, papa, tierra, etc. La presencia de un grupo tiol en las pirazinas imparte un aroma a nuez y galleta. Si los grupos furfúril y tiol están presentes juntos, su aroma es a carne cocida (Dark y Nursten, 1985).

En 1996, Michael Czerny y colaboradores identificaron dos nuevos compuestos de pirazinas (2-etil-3,5-dimetilpirazina y 2-etil-3-etil-5-metilpirazina) con olor a tierra en cafés Robustas (Czerny *et al.*, 1996).

**b. PIRIDINAS**

Las piridinas aumentan según el nivel de tueste, y sus niveles son más altos en los cafés arábigos que en las Robustas bajo condiciones similares (Tressl, 1989).

Las piridinas poseen unas notas amargas, astringentes y tostadas. Por sí misma, la piridina es amarga y aroma a tostado. El 2-metilpiridina es astringente, y el 3-etilpiridina tiene un aroma a caramelo y a manteca (Illy y Viani, 1995).

**c. PIRROLES**

Los pirroles como en el caso de las piridinas, aumentan según el grado de tueste. Se encuentran en mayor concentración en los cafés arábigos que en las Robustas. El pirrol y N-metil-2-formilpirrol son derivados de la trigonelina (Tressl, 1989).

En general los pirroles poseen olores diversos. En el caso del furfuralpirrol presenta olores a setas, mientras que el aroma del acilpirrol dependiendo de su concentración llega desde un olor medicinal extendiéndose a aceitoso. Otros pirroles presentan notas a cereales (Illy y Viani., 1995).

**d. OXAZOLES**

Se han identificado 28 oxazoles, pero no se detectó ninguna oxazolina. Los oxazoles tiene un aroma dulce a avellana, ninguna nota a tostado se ha divulgado para estos volátiles (Dark y Nursten, 1985; Illy y Viani, 1995).

#### e. COMPUESTOS AZUFRADOS

Los compuestos azufrados son extremadamente importantes en el aroma del café tostado, a pesar de estar presente en concentraciones bajas. El furfuriltiol tiene un aroma fresco de café, pero llega a ser desagradablemente sulfurado a concentraciones más altas. El dimetildisulfuro es parte esencial del aroma de cafés de alta calidad, y su presencia se dice que mejora notablemente su aroma y sabor. Algunos otros compuestos azufrados son menos agradables; tal es el caso del sulfuro de hidrógeno que a menudo se forma en preparaciones de bebidas de cafés muy prolongadas (Dark y Nursten, 1985).

Los tiofenos tienden a poseer aroma a cebolla, mostaza y aromas azufrados; aunque sus ésteres, como los aldehídos y cetonas suelen ser dulces (miel o caramelo) contribuyendo al aroma de una manera positiva. En cambio, los tiazoles que contiene en el anillo heterocíclico tanto al nitrógeno como al azufre, imparten una variedad de aromas que van generalmente desde nueces tostadas hasta olores a vegetales, los derivados alquilos tienden a poseer notas a vegetales verdes, y los acetilos unas notas a cereales y nueces (Dark y Nursten, 1985).

Los cafés Robustas contienen más compuestos azufrados que los arábigos (Illy y Viani, 1995). Esto se demuestra en la investigación realizada por Tressel en 1989, quien encontró que, a niveles de tueste similares, los cafés Robustas poseen altas cantidades de furfurilmercaptano, furfurilmetilsulfuro, furfurilmetildisulfuro (formados en la degradación de la cisteína y metionina en presencia de azúcares reductores). Mientras que los arábigos les corresponden los derivados 5-metil (Tressl, 1989).

El furfurilmercaptano a concentraciones de 0.1 a 1 ppb. posee un aroma a café recién preparado mientras que de 5 a 10 ppb. se percibe con nota un poco azufrado comparable a café viejo. Ya el 5-metilfurfurilmercaptano entrega la nota azufrado por encima de los 5 ppb. Ambos componentes se forman durante el tueste y aumentan de 5 a 10 veces durante el almacenamiento de los granos de café tostado, por lo tanto, ambos constituyentes determinan el aroma y sabor de los cafés tostados frescos así como también son responsables del aroma indeseable del café viejo (Tressl, 1989).

#### **f. FURANOS**

Los furanos se forman por la degradación pirolítica de azúcares y tienen un aroma a caramelo o azúcar quemada. Se encuentran en gran número en el café, entre ellos los aldehídos, cetonas, ésteres, alcoholes, éteres, ácidos, tioles y sulfuros (Dark y Nursten, 1985; Illy y Viani, 1995). El 2-metilfurano tiene aromas etéreas, el furfural a hierba y heno, y muchos de los furfurilcetonas aroma a caramelo o azúcar quemada. El 4-hidroxi-2,5-dimetil-3(2H)-furanona se ha descrito con una fragancia amplia desde caramelo de sabor a piña, aroma a almendras dulces, conserva de fresa hasta a caldo de carne de vaca.

#### **g. COMPUESTOS CARBONILOS**

Los aldehídos pueden estar entre los compuestos más volátiles. Los de bajo peso molecular como el metanal y etanal poseen aroma a acre, mientras que los compuestos de cadena más largas poseen aromas a frutas y flores. En conjunto, los aldehídos se presentan en concentraciones relativamente altas en los cafés recién tostados, (Dark y Nursten, 1985; Illy y Viani, 1995).



El aroma de las cetonas varían considerablemente, desde lo frutado dulce hasta lo mantecoso, es el caso de las  $\alpha$ -dicetonas. Otras son dulces, frutados algo picante como es el caso de la propanona, mientras que el 2,3-butanona, 2,3 pentadiona y diacetilo imparten notas mantecosas al café. Las cetonas de bajo peso molecular abundan en el café y como en el caso de los aldehídos, se pierden en el almacenamiento. Las cetonas cíclicas como maltol y 3-metilciclopent-2-en-2-olona, derivados de la caramelización del azúcar, poseen aromas dulces, frutados y a azúcar quemada (Dark y Nursten, 1985; Tressl, 1989; Illy y Viani, 1995).

#### **h. FENOLES**

Los fenoles están presentes en bajas concentraciones, incrementándose con el grado de tueste, ellos tienen aromas a clavo ahumado, quemado con notas amargas astringentes y medicinales (Illy y Viani, 1995). Son característicos de los cafés Robustas y los cafés de tueste fuerte, donde las concentraciones de los fenoles tienden a ser relativamente altas (Dark y Nursten, 1985).

#### **2.1.8. GRADO DE MOLIDO DEL CAFÉ**

Los grados de molido según Flores, (2004) son los siguientes:

Molidos gruesos requieren de mayor tiempo de contacto con el agua caliente para la extracción adecuada, molidos finos de menor tiempo.

Desde este punto de vista se debe calibrar el molido de acuerdo al equipo de extracción (percoladores, etc.) con que se cuente. Un estándar de tiempo es el siguiente: para molido fino de 1-4 minutos, para molido de goteo de 4-6 minutos, para molido regular de 6-8 minutos.

A través de estos parámetros se debe controlar la “amargura y la astringencia” de la bebida. Molidos más finos permiten mayor extracción de los ácidos lácticos, cloragénico y la cafeína que dan origen a la “amargura en el café”. Una vez tostado, el grano también se muele a diferente granulometría, dependiendo del tipo de cafetera que se utilice para preparar la bebida. Los tres grados de molienda comercial son: grueso, medio y fino. Los productores recomiendan un molido grueso para cafetera percoladora, molido medio para cafeteras de filtro, y el molido fino para preparar café tipo express.

### **2.1.9. CARACTERÍSTICAS ORGANOLEPTICAS DEL CAFÉ**

Las cualidades de la bebida del café son evaluadas por expertos llamados catadores que califican la bebida a través de los sentidos del gusto y del olfato. La evaluación sensorial del café se realiza empleando café tostado y molido (Becker y Freytag, 1992). La calidad del café robusta está determinada por sus características organolépticas deseables: aroma, sabor y cuerpo. Además, en la evaluación sensorial, los catadores evalúan los defectos de la taza.

La mayor cantidad de defectos en la taza se asocia al beneficio por la vía seca. El beneficiado por la vía húmeda y el beneficio ecológico permiten obtener cafés lavados de similares características de taza (Farfán, 2000). Mediante el beneficio húmedo, la variedad robusta tiende a reducir su sabor fuerte dando como resultado un sabor suave.

#### **2.1.9.1. AROMA DEL CAFÉ**

El aroma es una propiedad organoléptica que describe la impresión olfativa general de las sustancias volátiles de un café. Esta cualidad se relaciona con la fragancia que

desprende la bebida. Un aroma delicadamente fino, fragante y penetrante es la manifestación de un buen café (Becker y Freytag, 1992).

El aroma está dado especialmente por el contenido de aceites finos y más de 700 sustancias como aldehídos, cetonas, ésteres, e hidrocarburos de bajo peso molecular (Duicela *et al.*, 2004).

El aroma del café varía según la altitud de la zona de cultivo y parece que el contenido de magnesio en el suelo favorece las características de aroma y sabor del café (Duicela y colaboradores, 2003).

#### **2.1.9.2. SABOR DEL CAFÉ**

El sabor es una propiedad organoléptica de la bebida, que describe la combinación compleja de los atributos gustativos y olfativos percibidos en la bebida. Es una sensación propia del café que se percibe en la boca. Cuando se cosechan los frutos en estado inmaduro o verde, se aprecia una distorsión del sabor característico. La sobre maduración de los frutos y los defectos en el proceso de secamiento y almacenamiento producen un sabor desagradable de la bebida (Duicela y colaboradores, 2004).

La presencia de sabores extraños depende del lugar donde se almacena el grano, de la influencia de los sacos de yute sucios, de la contaminación de gasolina, jabón, tierra, u otro material con el cual se puso en contacto el café, en las fases de secado y almacenamiento (Duicela y Sotomayor, 1993).

### 2.1.9.3. CUERPO DEL CAFÉ

El cuerpo es una propiedad organoléptica que está determinada por la naturaleza y el contenido de sólidos solubles de la infusión. La caracterización del cuerpo es el resultado de la combinación de varias percepciones captadas durante la evaluación sensorial, como la sensación de plenitud y consistencia (Duicela *et al.*, 2004).

### 2.1.9.4. DEFECTOS EN LA TAZA

Los defectos en la taza describen cualquier impresión sensorial, notada durante la degustación del café, que es atípica comparada con el café debidamente preparado. Un café defectuoso esta asociado con el deterioro del grano y/o la contaminación del producto. Entre los sabores indeseables de la taza más frecuentes se mencionan: sabor a hierba, a madera, a químico, terroso y mohoso (Becker y Freytag, 1992).

Los defectos de la bebida, en el café robusta, que se consideran de mayor importancia, son los siguientes (Centro de Comercio Internacional, 1992):

Contaminaciones.- Denotan la presencia de sabores ajenos a una infusión limpia que no pueden definirse claramente. Se describen como sabores desagradables a falta de una definición clara.

Débil.- Carente de cuerpo.

Mohoso.- Defecto de la taza que se caracteriza por un sabor a moho (hongos).

Este defecto se debe por la cosecha de los frutos sobre maduros, la recolección de las cerezas del suelo, demora en el inicio del secado, rehumedecimiento del café en la

fase de secado y almacenamiento del grano con una humedad mayor al 12.5 por ciento.

Químico.- Defecto de la taza cuyo sabor característico es de un producto químico. Se produce por contaminación del café con agroquímicos.

Sabor a madera.- Sabor tosco peculiar de una cosecha vieja. Todos los cafés adquieren un sabor a madera si se almacenan por períodos demasiado largos.

Terroso.- Es un defecto de la taza que se caracteriza por la percepción de un fuerte olor y sabor a tierra. Se produce por que el café entra en contacto con la tierra, especialmente en el secado.

Verde.- Este defecto se caracteriza por reflejar un sabor astringente debido a la recolección de los frutos tiernos o inmaduros.

#### **2.1.10. DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBLEMAS TECNOLÓGICOS**

En el Cuadro 7 se presenta una breve revisión sobre el estado actual de la discusión sobre el origen de la calidad del café en la finca:

Cuadro 7. Factores que inciden en la calidad del café

ETAPA	FACTORES CONTROLABLES	FACTORES NO CONTROLABLES
Durante la producción	Fertilización adecuada	Clima. Se relaciona con la altitud sobre el nivel del mar y latitud
	Manejo de cultivo	Altitud. La latitud influye en la acidez y dureza del grano
	Control de plagas	Fenómenos naturales, principalmente heladas y fenómenos como “el niño”
	Sistema de cultivo (sol o Sombra)	Suelos
	Edad de cafeto	Variedad Cultivada
	podas	
Cosecha	Control de malezas	
	Recolección sólo del fruto maduro pues en este estado se han desarrollado todos los compuestos de aroma y sabor	Proceso natural de descomposición gracias a las enzimas naturales. Es por eso que se realiza inmediatamente el beneficiado húmedo o se seca al sol.
Beneficiado o húmedo	Beneficiado en un lapso no mayor a ocho horas	
	Despulpe adecuado con maquinaria bien ajustada para no rasgar el mucílago y/o pergamino	
	Fermentación enzimático	

	Uso de agua limpia	
	Tiempo de fermentado adecuado	
Vía natural y beneficio seco	Remoción del café secado al sol para obtener una humedad del 12%	
	Tiempo de exposición al sol	
	Influencia de la máquina secadora en cuanto a temperatura e intercambio de olores extraídos al café	
	Ajuste de máquinas trilladoras y seleccionadoras	
	Buena selección de los granos por tamaño, densidad, color, humedad etc.	
Almacena miento	Equilibrio entre el agua del grano y la humedad del ambiente	
	Control de microorganismos y plagas	
	Intercambio de olores	
Tueste y almacenam iento	Uniformidad de los granos	
	Distribución del calor y temperatura interna del tostador adecuada	
	Enfriamiento	
	Envasado adecuado al tiempo de consumo	
	Almacenado en condiciones óptimas	

	de humedad, temperatura y luz	
Preparación	Utilización del molino adecuado para obtener un tipo de partícula ideal para el tipo de máquina en la que se prepara el café	
	Agua sin cloro, potable y caliente, pero no hirviendo	
	En el caso de expreso, presión del agua en la máquina	
	Limpieza del equipo	
	Cantidad de café en relación con el agua empleada	
	Tiempo adecuado de extracción	
	Consumo del café en un lapso no mayor a 1 hora	

Fuente: Comercio Justo México, A. C. 2000.



## 2.2. CONSIDERACIONES GENERALES DE INGENIERIA PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO

### 2.2.1. TRANSMISION DE CALOR

Calles *et al.*, (1999), menciona que la transmisión de calor es uno de los pilares fundamentales en el área de alimentos puesto que muchas de las operaciones unitarias implicadas en la conservación y preparación de alimentos se basan en ella.

La energía de un cuerpo material puede expresarse como una suma de energías externa e interna. La primera de ellas tiene en cuenta las dos formas de energía asociados a la materia, energías potencial y cinética, y es función de la posición y la velocidad del cuerpo. Por otro lado la energía interna se refiere a la suma de la energía potencial y cinética de todas las moléculas. Siempre que exista una gradiente de temperaturas en el interior de un sistema, o cuando dos sistemas a diferentes temperaturas se ponen en contacto, se produce un transporte de energía interna desde la zona de mayor temperatura a la de menor temperatura. El proceso mediante en cual se lleva a cabo se conoce como transmisión de calor. Así pues, el calor es una forma de energía en transito, que se produce debido a una diferencia de temperaturas.

Díaz, (1994) la ciencia de la transferencia de calor esta relacionado con la razón de intercambio de calor entre cuerpos calientes y fríos llamados fuente y receptor. Entonces siempre que exista un gradiente de temperatura en un sistema o al poner en contacto dos sistemas que se encuentran a diferentes temperaturas, se transfiere energía. El proceso por el cual tiene el transporte de energía se conoce como transferencia de calor, y la energía en transito se denomina calor, que no puede ser medido ni observado directamente pero sus efectos son susceptibles de ser medidos y observados.

### 2.2.1.1. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR

Calles *et al.*, (1999), Se distingue tres tipos o mecanismos distintos, aunque normalmente en las aplicaciones prácticas se encuentran implicados al menos dos y a veces los tres de forma simultanea. Estos mecanismos son: Conducción Convección y Radiación, de los cuales solo el primero y el ultimo son realmente mecanismos puros. El segundo es consecuencia de la combinación de los otros dos en el seno de fluidos en movimiento, implicando por esta razón el transporte de materia además del de energía.

#### 2.2.1.1.1. CONDUCCIÓN

Calles *et al.*, (1999), el mecanismo de conducción transcurre a nivel molecular entre dos partes de un cuerpo o dos cuerpos distintos a diferente temperatura. Se produce mediante intercambio de energía cinética entre moléculas por contacto directo entre ellas al chocar o a través de electrones libres, en el caso de metales conductores.

En los sólidos, el flujo de calor se debe a la actividad molecular y se propaga mediante las ondas reticulares provocadas en la estructura cristalina, relacionada con las diferentes energías de vibración de los átomos en función de su temperatura. En los sólidos conductores, además, la energía también se transmite de forma similar a los fluidos mediante los electrones libres que existen en la red cristalina y que tienen movilidad traslacional.

La velocidad de transmisión de calor por conducción obedece a la denominada ley de fourier, que establece que el flujo de calor (caudal de calor por unidad de área perpendicular a la dirección de transmisión) es directamente proporcional al

gradiente de temperatura. Considérese la transmisión de calor unidimensional a través de una pared plana de un sólido cuyas caras se encuentran a distinta temperatura. La ecuación de la velocidad para un elemento diferencial de longitud,  $dx$ , se expresa como:

$$\frac{q_x}{A} = -k \frac{dt}{dx}$$

Donde:  $q_x$  = Velocidad de transferencia de calor en la dirección de  $x$  ( $Jm^{-2}s^{-1}$ )

$A$  = Área del corte Transversal normal a la dirección del fluido de calor en  $m^2$

$\frac{dT}{dx}$  = Gradiente de Temperatura en al dirección  $x$  ( $Km^{-1}$ )

$K$  = Constante de proporcionalidad ( $Wm^{-1}K^{-1}$ )

#### 2.2.1.1.2. CONVECCIÓN

Calles *et al.*, (1999), El término de convección se aplica al mecanismo de transmisión de calor que se produce en un fluido debido al desplazamiento en su seno de porciones o grupos de moléculas que se mezclan con otras porciones del mismo a diferente temperatura. Como se ha comentado anteriormente. La convección no es un mecanismo puro de transmisión de calor, ya que esta es consecuencia de dos efectos que se producen simultáneamente. El primero es la transmisión de calor propiamente dicha a nivel molecular entre las moléculas del fluido a distinta temperatura, mediante los mecanismos de conducción y/o radiación. En segundo lugar y de forma simultánea se produce el desplazamiento y mezcla de grupos de moléculas en el seno del fluido. Este desplazamiento, en presencia de un gradiente de temperaturas, provoca un transporte de calor a nivel macroscópico, aun cuando realmente la

transmisión de calor entre las moléculas del fluido se realiza por otros dos mecanismos indicados.

### 2.2.1.1.3. RADIACIÓN

Calles *et al.*, (1999), afirma que el mecanismo de transmisión de calor por radiación de basa en la propiedad que tienen los cuerpos de emitir ondas electromagnéticas desde su superficie en un amplio intervalo de longitudes de onda. Todos los sólidos, líquidos y gases por encima de 0 °K emitan radiación electromagnética que se propaga linealmente en todas direcciones a la velocidad de la luz existen diferentes tipos de radiación electromagnética (por ejemplo, rayos X, Gamma y Ultravioleta), aunque aquí sólo interesa la radiación térmica, es decir, la que transporta energía en forma de calor y que comprende la radiación con longitudes de onda entre 0.1 y 100 micras.

Al incidir un determinado flujo de radiación ( $I_1$ ) sobre un cuerpo, parte puede ser reflejado ( $I_R$ ), parte transmitido a su través ( $I_T$ ) y el resto absorbido por el cuerpo ( $I_A$ ) y convertido en energía interna aumentando su temperatura ( $T_A$ ).

Es importante destacar que la absorción de energía radiante se lleva a cabo en las capas más superficiales del cuerpo receptor (aproximadamente  $10^{-3}$  mm en materiales conductores y 1mm en no conductores). En el interior el calor se transmite hacia zona de menor temperatura ( $T_b$ ) por conducción si es un sólido, y por conducción y convección en el caso de fluidos y dependiendo de las condiciones de flujo. A diferencia de los mecanismos anteriores de conducción y convección, que necesitan

un medio material a través del cual transmitir el calor, en mecanismo de radiación este no es necesario e incluso la transmisión de calor por radiación alcanza su valor óptimo en el vacío. El ejemplo más evidente es el calor transmitido desde el sol a la tierra a través tanto del vacío como de las atmósferas solar y terrestre.

### **2.3.MECANISMOS DE LA TRANSFERENCIA DE MATERIA**

Calles *et al.*, (1999), señala en numerosas operaciones básicas de procesado y conservación de los alimentos se producen fenómenos de transferencia de materia entre fases no miscibles, es decir, existe un transporte de determinados componentes desde una a otra fase, debido a una diferencia entre las concentraciones de dichos componentes en ambas fases y las correspondientes concentraciones de equilibrio.

Los fenómenos de transferencia de materia se encuentran muy asociados frecuentemente a los de transmisión de calor. Así, durante el secado de alimentos por contacto con una corriente de aire, el calor latente de vaporización, que es necesario aportar para vaporizar el agua, a de ser cedido por el aire que rodea al sólido húmedo, por lo que la velocidad de desecación estará, en muchos casos, limitada por el caudal de calor recibido por el sólido.

#### **2.3.1. BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA**

##### **2.3.1.1.TRANSFERENCIA DE MATERIA Y CALOR EN EL GRANO DE CAFÉ**

Considerando al grano de café con una geometría en forma de esfera compuesta de varias capas que van del centro del grano hacia la superficie. Se establece que la transferencia de materia y de calor se realiza solamente de manera radial. El intercambio de materia entre las capas del grano de café, se lleva a cabo por difusión del agua en estado líquido, y la

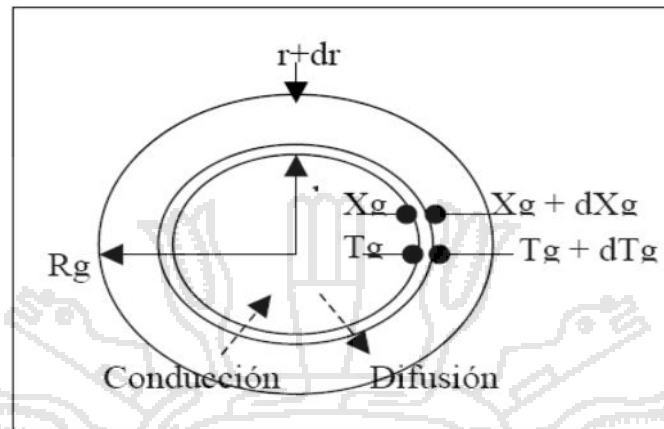
vaporización del agua, solamente en la superficie del producto. Con respecto a la transferencia de calor, esta es controlada por la conducción en el interior del producto (ver Figura 4). En la superficie del grano, la transferencia de calor esta en función del tipo de tostador empleado.

Cuando la operación se realiza en un tostador cilíndrico, la transferencia de calor se efectúa por radiación, contacto y convección.

### **2.3.1.2. TRANSFERENCIA DE MATERIA EN EL GRANO DE CAFÉ**

La transferencia de materia se realiza en un volumen de control dado cuando un gradiente de concentración existe (Ley de Fick). Durante el tostado, la superficie del grano de café se seca rápidamente en contacto con el aire caliente, lo que provoca gradientes de humedad entre la superficie y el centro del grano. Estos gradientes son más o menos importantes según la temperatura del aire de tostado. El centro del grano estando más húmedo que su superficie, el agua se difunde del centro hacia el exterior. En este trabajo, designamos como volumen de control, una capa del grano de café limitada por el radio  $r$  y  $r+dr$  (ver Figura 3). La humedad del producto en el radio  $r$  (mm) es llamada  $X_g$  (kgagua/kgm.s). La capa de radio  $r+dr$  tiene una humedad designada por  $X_g+dX_g$ .

Figura 3. Sección de una esfera en la cual la transferencia de materia se realiza por difusión y la transferencia de calor por conducción.

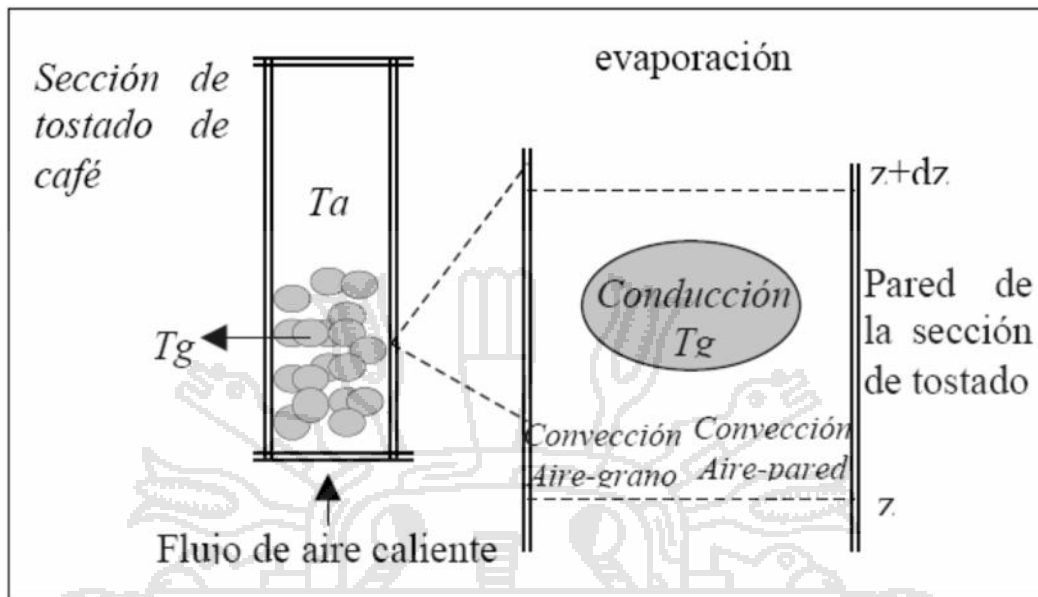


Fuente: Valiente, A. (1997)

### 2.3.1.3. TRANSFERENCIA DE CALOR EN EL GRANO

La transferencia de calor en el grano se realiza cuando en el volumen de control, un gradiente de temperatura se presenta (Ley de Fourier). El grano de café es considerado como una esfera de radio  $R_g$  a una temperatura inicial de  $T_{g0}$ . El grano se pone en contacto con el medio (aire caliente) a temperatura  $T_a$  al tiempo  $t=0$ . La temperatura de la superficie del grano aumenta rápidamente, lo cual provoca un gradiente de temperatura entre la superficie y el centro del grano. La superficie del grano estando más caliente que el centro, el calor se transfiere por conducción de la superficie hacia el interior. La temperatura del grano en el radio  $r$  es llamada  $T_g$  y en la superficie  $r+dr$  la temperatura será  $T_g+dT_g$ . El volumen de control queda limitado entre las superficies de radio  $r$  y  $r+dr$  (ver Figura 4).

Figura 4. Transferencia de calor en la operación unitaria de tostado de granos de café



Fuente: Valiente, A. (1997)

Balance general de la masa  $M_2 - M_1 = \frac{dM}{d\tau}$

Balance general de energía  $M_2 E_2 - M_1 E_1 = \frac{d(ME)}{d\tau}$

Donde  $\tau$  = tiempo    M = masa    E = energía

## 2.4.FUNDAMENTOS TECNOLOGICOS DE LOS MATERIALES

### 2.4.1. ACEROS INOXIDABLES

Discovery (1996), Menciona que los aceros inoxidables son aleaciones a base de hierro, carbono, cromo y níquel, que contiene un mínimo de 11% de cromo. Además de estos elementos bases, pueden contener también elementos como el azufre, fósforo, selenio.

Según la cantidad y combinaciones de estos elementos, se obtienen aleaciones de



diferentes propiedades, consiguiendo así los diferentes tipos de aceros inoxidable que se conocen y que se han estandarizado, tanto para las distintas aplicaciones en el campo de la industria y la construcción moderna a si como para los bienes de consumo, el tipo de acero inoxidable mas conocido es el 18/8, que contiene aproximadamente el 18 % de cromo y 8% de níquel.

La principal cualidad de estos aceros inoxidable es su buena resistencia a la corrosión, esta característica se debe principalmente a la presencia del cromo en la aleación. Este elemento en cantidades relativamente pequeñas, como es un 5% mejora la resistencia, sin embargo es solamente a partir del 10% al 12% que se puede hablar con propiedad de acero inoxidable.

#### **2.4.2. FAMILIAS DE ACEROS**

Discovery (1996), señala que Las propiedades de los diferentes elementos relacionados con la resistencia a la corrosión y con la estructura permiten la fabricación de un número infinito de composiciones y tipos de aceros inoxidable que satisfacen los diferentes tipos de utilización en la industria y la construcción moderna y estas son.

##### **A. FERRITICOS**

Este grupo de Aleaciones esta compuesto por cromo y mayormente por hierro la base de su composición química es con 17% de cromo, la cual es menos dúctil que las austeníticas y tampoco pueden ser endurecidas por tratamiento térmico.

Tiene buenas características de resistencia a la corrosión y a las temperaturas elevadas.

Resiste en caliente a los gases sulfurosos secos (humo de chimeneas). Se emplea

mucho en la empresa automotriz, electrodomésticos y en la industria química, tienen las siguientes características:

- Ñ Tiene buena resistencia a la corrosión y a la oxidación.
- Ñ No pueden templarse con tratamiento térmico.
- Ñ Solo pueden endurecerse por deformación en frío (trefilado, laminación etc.).
- Ñ Los aceros Ferríticos son magnéticos.
- Ñ Tiene buenas características magnéticas y de ductibilidad.
- Ñ Las propiedades mecánicas disminuyen a bajas temperaturas (inferiores al ambiente).

## **B. AUSTENITICOS.**

Son una familia de aleaciones que contiene Cromo y Níquel (con Manganeso y Nitrógeno) generalmente construida con 18% de Cromo y 8% de Níquel con un resto mayormente ferroso. Estas aleaciones no son endurecidas por tratamiento térmico.

Tienen las siguientes características:

- No pueden templar por tratamiento térmico.
- En su condición de recocidos son todos en esencia no magnéticos, aunque algunos pueden iniciar un poco de imantación al trabajar en frío.
- Ofrecen una excelente resistencia a la corrosión.
- Tiene buena elasticidad y plasticidad.
- Adquieren una mayor duración como resultado de su deformación en frío.
- Tiene excelente soldabilidad.

- Tiene baja conductividad térmica (equivalente a un tercio de los aceros al carbono).
- Tiene 1.5 veces mas dilatación térmica que los aceros al carbono.

### C. MARTENSITICOS

Son aleaciones inoxidables que pueden ser endurecidos y recocidos por tratamientos térmicos exactamente igual que los aceros de aleación. Su construcción básica es con 12% de Cromo y 0.12% de Carbono.

Las características comunes de los aceros inoxidables martensíticos son:

- Se pueden templear por tratamiento térmico.
- Son magnéticos.
- Resisten a la corrosión en ambientes templados.
- Tiene buena ductibilidad, su resistencia a la tracción después del tiramiento térmico es muy buena, superando los 200 000 psi (130 Kg. /  $mm^2$ ). Según la cantidad de cromo y carbono en la aleación se pueden obtener estructuras austeníticas mas duras durante el temple.
- Tiene las mejores condiciones de resistencia a la corrosión cuando están templados. Es necesario hacerlas un revenido en 350°C y 200°C para eliminar las tenciones internas producidas por el temple.

#### 2.4.3. ACEROS INOXIDABLES USADOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Mott (1992), afirma que el acero inoxidable caracteriza el alto nivel de resistencia a la corrosión que ofrece las aleaciones en este grupo. Para ser clasificada como acero inoxidable la aleación debe tener al menos 10 % de contenido de Cromo.

La AISI (American Iron And Steed Institute), designa casi todos los aceros inoxidables por sus series 200 300 y 400

Los tres grupos principales de aceros inoxidables son el Austenítico, el Ferroso y el Martencítico. Los aceros Austeniticos caen dentro de las series AISI 200 y 300. Son grados de uso general cuya resistencia es moderada en su mayor parte no son susceptibles al tratamiento térmico y sus propiedades finales se determinan por el grado en que se trabaja, el temple resultante se indica como ¼ de dureza ½ de dureza ¾ de dureza y totalmente duro. Estas aleaciones son magnéticas y por lo general se emplean en equipos para procesar alimentos. Las propiedades de los aceros se presentan en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Propiedades de los aceros inoxidables

Designación del Material Número AISI	Condición	Resistencia a la tracción Mpa	Resistencia a punto cedente Mpa	Ductibilidad (elongación % en pulg.)	
Aceros Austeníticos	201	recocido	793	379	55
		1/4 duro	862	517	20
		1/2 duro	1030	758	10
		3/4 duro	1210	931	5
		totalmente duro	1280	966	4
	301	recocido	758	276	60
		1/4 duro	862	517	25
		1/2 duro	1030	758	15
		3/4 duro	1210	931	12
		totalmente duro	1280	966	8

Fuente: Mott (1992).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCION

El presente trabajo de Investigación, en cuanto a la construcción se realizó en la ciudad de Juliaca, Provincia de San Román del Departamento de Puno, en el taller de maquinarias D.C. E.I.R. Ltda., y las pruebas fueron desarrolladas en la Universidad Nacional Altiplano Puno, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial en el laboratorio de procesamiento de productos agrícolas.

#### 3.2. MATERIALES

##### 3.2.1. MATERIA PRIMA

Se utilizó granos de café de la variedad (*Coffea arabica*), adquirido de los productores de los valles del Alto Inambari de la Provincia de sandia, la cantidad de 100 kg. De las cuales se realizó el muestreo al azar la cantidad de 15 kg. Y para el tostado se utilizó 200gr /batch.

##### 3.2.2. INSTRUMENTOS DE CONTROL DEL EQUIPO

Se emplearon los siguientes instrumentos de control:

- Balanza digital: marca Cavory Ek5350 Mx. 5Kg/11 libras C=1g/0.10 oz.
- Cronometro: marca Casio modelo FX120
- Pirómetro: marca SASSIN , Modelo : 3S72, Rango:0-999° C, AC:110-220v
- Temporizador: Modelo: ST3P, Tiempo máx.60 min. AC:110-220v
- Válvula de control del gas Selenoide: Modelo: MH2, Presión 40 bar, AC: 110-220v.

### 3.2.3. MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCION

Los materiales utilizados para la construcción del equipo tostador fueron los siguientes:

- Plancha de acero inoxidable. AISI 304 1/8 y 1/5 mm de espesor
- Plancha de acero negro 1 mm de espesor
- Motor de 0.3 Hp Modelo : QB-60, A:1.5, KH:0.23, HP:0.3, AC:110-220v
- Tubo de fierro estructural
- Pernos
- Hornilla para gas Propano
- Quemador de gas
- Válvulas de control de gas
- Ventilador
- Fierro angular de para la construcción del soporte del motor
- Pintura esmalte color gris de alta temperatura
- Pirómetro digital
- Varillas de electrodo
- Esmeril
- Taladros
- Roladora
- Sierra eléctrica
- Cinta métrica
- Remaches para la unión y acople

### 3.2.4. MATERIALES PARA LAS PRUEBAS DE TOSTADO DE CAFE

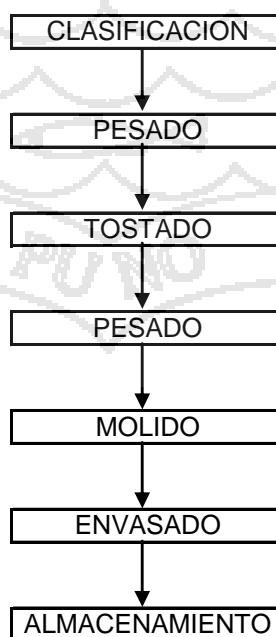
Para realizar las pruebas de tostado de café en el equipo construido se emplearon los siguientes materiales

- Equipo tostador con fuente de calentamiento
- Bandejas de acero inoxidable
- Lavadores de plástico Cap. 20 L.
- Bolsas de polietileno de baja densidad
- Mesas para selección de material tostado
- Molino de granos marca Victoria
- Calculadora marca Casio modelo HL-820LV-WE

### 3.3. PROCESO DE BENEFICIO E INDUSTRIALIZACION DEL CAFÉ

El diagrama de flujo seguido para la evaluación del equipo tostador de granos de café se presenta en la Figura 5.

Figura 5. Diagrama de flujo para el tostado de café.



Fuente: Elaboración propia

El proceso de tostado se realizó de la siguiente forma:

**RECEPCION / CLASIFICACION.-** los granos de café pergamino al momento de la compra y para su recepción fueron seleccionados manualmente a fin de eliminar impurezas y granos pequeños y lograr una muestra.

**PILADO.-** Se realizó con una piladora con la finalidad de separar el pergamino del grano de café.

**PESADO.-** Los granos seleccionados fueron pesados a razón de 200 gramos en una balanza digital y obtener con certeza el peso del material usado en el proceso de tostado y realizar los balances respectivos.

**TOSTADO.-** los granos de café pesados fueron alimentados a la cámara de tostado con la ayuda de un cucharón diseñado para ese fin, permaneciendo tiempos de 5 a 7 minutos según los tratamientos planteados a temperaturas de 180 y 200°C.

**PESADO.-** los granos tostados fueron pesados en la balanza analítica, previa cuantificación de granos quemados y crudos a fin de obtener el rendimiento para cada tratamiento en estudio y los datos sirvieron para evaluar el equipo.

**MOLIDO.-** los granos tostados se sometieron a molienda en un molino de marca victoria con la que se obtuvo una granulometría grosera a fin de someterlo a percollado y obtener el café para su evaluación sensorial posterior.



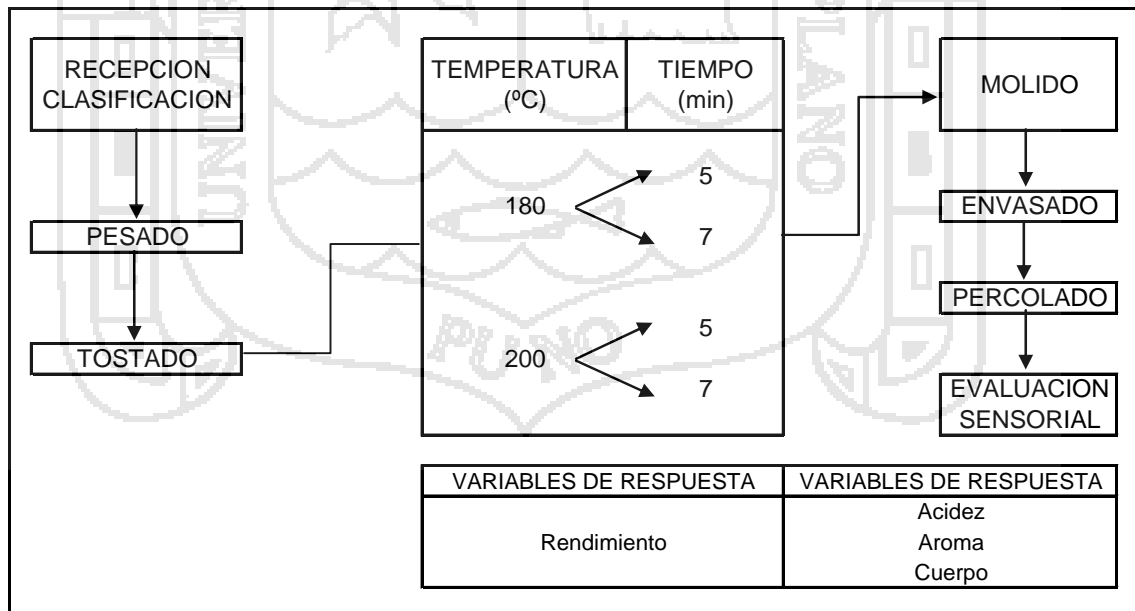
ENVASADO/ALMACENAMIENTO.- el grano tostado y molido se envaso en bolsas de polipropileno de 30 micras y se almacenaron en ambiente seco y fresco para su conservación y uso mediato en las evaluaciones sensoriales.

### 3.4. METOLOGIA EXPERIMENTAL

#### 3.4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL TOSTADO Y EVALUACION SENSORIAL DEL CAFE

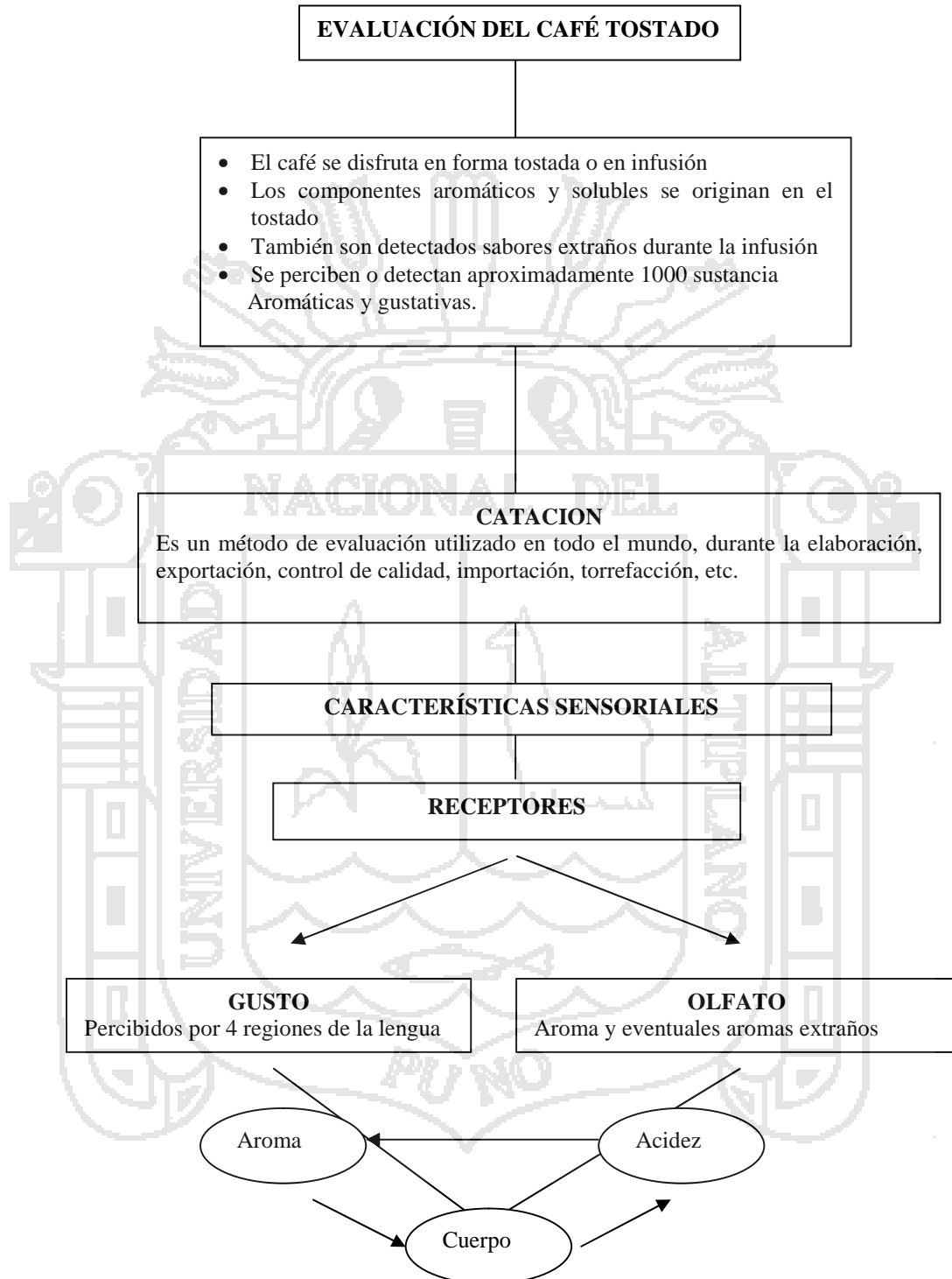
La secuencia para el diseño experimental se presenta en la Figura 6 en la cual se presenta las etapas que se seguirán para arribar a los resultados esperados, asimismo se observa los factores o variable en estudio y las variables de respuesta tanto para el proceso de tostado como para las pruebas de evaluación sensorial.

Figura 6. Diseño experimental para el tostado de café



Fuente: Elaboración propia

Figura 7. Proceso de evaluación de café



Fuente: CORECAF, 2005

### 3.4.2. METOLOGIA PARA EL ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS DE LA EVALUACION DEL EQUIPO TOSTADOR EN EL TOSTADO DE GRANOS DE CAFE

Para la evaluación del equipo tostador, se utilizo granos de café (*Coffea arabica*), considerando como factor en estudio la temperatura (T), y el tiempo (t); aplicando el diseño estadístico completamente al azar (DCA), con arreglo factorial de  $2^2$  obteniéndose 4 tratamientos, con 3 repeticiones, se realizo comparaciones múltiples de DUNCAN para determinar el mejor tratamiento en el proceso de tostado de café con el equipo construido.

#### A. VARIABLES DE LA EVALUACION

- Temperaturas del Tambor horizontal (Cámara de tostado).

Temperatura 1: 180 °C

Temperatura 2: 220 °C

- Tiempos de tostado.

Tiempo 1: 5 min.

Tiempo 2: 7 min.

#### B. VARIABLES DE RESPUESTA

- % granos no tostados.
- Rendimiento y evaluación del equipo Tostador.
- Características fisicoquímicas del producto
- Características sensoriales

### C. MODELO ESTADISTICO

Se usará el modelo estadístico factorial  $2^2$  (2 tratamientos con 2 niveles)

$$X_{ij} = U + r_i + s_j + rs_{ij} + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$U$  ; Es el efecto del promedio general de rendimiento.

$r_i$  ; Es el efecto de la i-ésimo temperatura. ( $T_1$  y  $T_2$ ).

$s_j$  ; Es el efecto del J-ésimo tiempo ( $t_1$  y  $t_2$ ).

$rs_{ij}$  ; Es el efecto de la interacción de la i-ésimo temperatura con el j-ésimo tiempo.

$\epsilon_{ij}$  ; Es el efecto de los factores no controlables en el diseño factorial.

$X_{ij}$  ; Es la variable de respuesta de la i-ésimo temperatura y del j-ésimo tiempo.

#### 3.4.3. METOLOGIA PARA EL ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS DE LA EVALUACION DEL SENSORIAL DE GRANOS MOLIDO Y PERCOLADO DE CAFÉ

La evaluación sensorial de los granos tostados, molidos y percolados, se realizaron bajo una prueba de apreciación en términos de acidez, aroma y cuerpo, para lo cual se empleo una escala adónica de 5 puntos cuyo formato estructurado se presenta en el Anexo 9. Los datos fueron evaluados bajo un DCA de solo factor considerándose a los tratamientos y jueces en su modelo. Se hicieron pruebas de comparaciones múltiples de DUNCAN para determinar la mejor muestra con mejor apreciación sensorial de acidez, aroma y cuerpo.

## A. VARIABLES DE EVALUACION

- Tratamientos:

T 1: 180 °C y 5 minutos

T 2: 180 °C y 7 minutos

T 3: 220 °C y 5 minutos

- Jueces en numero de de 20 personas

## B. VARIABLES DE RESPUESTA

- Acidez
- Aroma
- Cuerpo

## C. MODELO ESTADISTICO

Se empleó el siguiente modelo estadístico:

La evaluación de cada subproducto obtenido, incluyendo las pruebas físicas, y rendimiento obtenido en su parte estadística se verificará bajo el modelo siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = es la observación de los subproductos en el tratamiento  $i$

$\mu$  = media general de cada observación

$T_i$  = es el parámetro particular de los tratamientos  $i$ , llamado el efecto del juez  $j$ .

$E_{ij}$  = Es el error aleatorio.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO TOSTADOR CONTRUIDO

Los cálculos para determinar las dimensiones finales del equipo tostador se presentan en el Anexo 1 y las dimensiones reajustadas se presentan en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Características del tambor de tostado

DETALLE	Medida
Volumen del tambor	0.00798 m <sup>3</sup>
Área total de la superficie de tambor	0.145 m <sup>2</sup>
Altura del tambor	0.21 m
Diámetro	0.22 m
Longitud del quemador de gas	0.21 m
Diámetro del quemador de gas	0.03 m
Potencia del motor	0.3 HP

La tostadora construida tiene la forma de un tambor posicionada en forma horizontal, con capacidad teórica de 0.2 kg/batch, y capacidad real de 1.714 Kg/h en tostado de café, determinadas de las evaluaciones realizadas de las pruebas experimentales.

La fuente de calor suministrado por el quemador esta montada en una base metálica, la misma esta acoplada a una válvula de regulación automática, que permite controlar la temperatura por medio de un pirómetro digital acoplado al cilindro; en su conjunto se acopla mediante un sistema de engranajes, y catalina a la cámara de tostado encargada de transmitir la rotación horizontal a 32 RPM y lograr el calentamiento homogéneo en su interior facilitando la transferencia de calor hacia el grano. Los planos del equipo tostador construido se presentan en el Anexo 2 y el equipo resultante se presenta en las imágenes del Anexo 3. Las instrucciones de funcionamiento y los costos incurridos en su construcción se presentan en el Anexo 4 y 5, donde podemos observar que el costo de construcción asciende a la suma de 2,340 nuevos soles.

## 4.2. EVALUACION DEL EQUIPO PARA LA DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE TOSTADO

### 4.2.1. DETERMINACION DE LOS PARAMETROS DE TOSTADO

En las Tablas 3 y 4 del Anexo 8 se presentan los resultados expresados en peso y en rendimiento obtenidos durante el tostado de café a diferentes condiciones de temperatura tiempo, y en la tabla 5 se presenta el análisis de varianza para el rendimiento en porcentaje obtenido, donde podemos observar que se encontró diferencias estadísticas significativas al 95% de probabilidades tanto para efectos principales y efectos simples de la interacción temperatura x tiempo, indicándonos que el rendimiento en un buen tostado de café está influenciado por la temperatura y tiempo en su conjunto, determinándose un rendimiento general en las pruebas de tostado de 74,99%

En el Cuadro 10 se presentan las pruebas de comparaciones múltiples de DUNCAN tanto para los efectos principales y efectos simples de la interacción temperatura por tiempo, donde podemos observar que a 180°C y 5 minutos de tostado se obtiene 98,48%; mayor rendimiento comparativamente a los tratamientos (180°C - 7min), (220°C-5min) y (220°C-7min), donde se determinó rendimientos de 97,24%; 96,34% y 97,90% respectivamente con una desviación estándar de  $\pm 0,35\%$ . Estos resultados nos indican que la temperatura y tiempo influyen considerablemente en la degradación de la proteína como lo indica (Gautschi *et al.*, 1967). Y se obtendrá a 180°C mayor cantidad de pirazinas y compuestos heterocíclicos como lo indica (Tressl, 1989; Illy y Viani, 1995), por tanto se obtendrán compuestos con un alto nivel de sabor en café tostado (Tressl, 1989).

Cuadro 10. Prueba de Comparaciones múltiples de DUNCAN para el rendimiento a diferentes temperaturas y tiempos de tostado del café, al 95% de intervalo de confianza.

NIVELES	N° OBS	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDART DE ERROR	LIM INF.	LIM SUP.
GRAN PROMEDIO	12	74,9973			
TEMPERATURA					
180	6	97,8679 (a)	0,250833	97,2895	98,4463
220	6	52,1267 (b)	0,250833	51,5482	52,7051
TIEMPO					
5	6	97,4200 (a)	0,250833	96,8416	97,9984
7	6	52,5746 (b)	0,250833	51,9962	53,153
TEMPERATURA VS TIEMPO					
180 - 5	3	98,4950 (a)	0,354732	97,677	99,313
180 - 7	3	97,2408 (b)	0,354732	96,4228	98,0588
220 - 5	3	96,3450 (c)	0,354732	95,527	97,163
220 - 7	3	7,90833 (d)	0,354732	7,09032	8,72635

En la Figura 8, se presenta gráficamente el efecto de la temperatura y tiempo sobre el rendimiento del tostado de café en las pruebas de evaluación del equipo, donde podemos observar que a mayor temperatura y mayor tiempo el rendimiento en granos tostados de café que cubran características de calidad reduce significativamente, por lo que se obtendrá mayor porcentaje de quemados a medida que se incrementa el tiempo y temperatura como se observa en la Figura 9, y cuando se reduce la temperatura y tiempo el número de productos crudos incrementa tal como se observa en la Figura 10. Por tanto el control de los parámetros de temperatura y tiempo influenciarán definitivamente en el tostado del café como lo indica Albert Solá (2005),



Figura 8. Rendimiento obtenido en el tostado de café por efecto de la temperatura y tiempo de tostado.

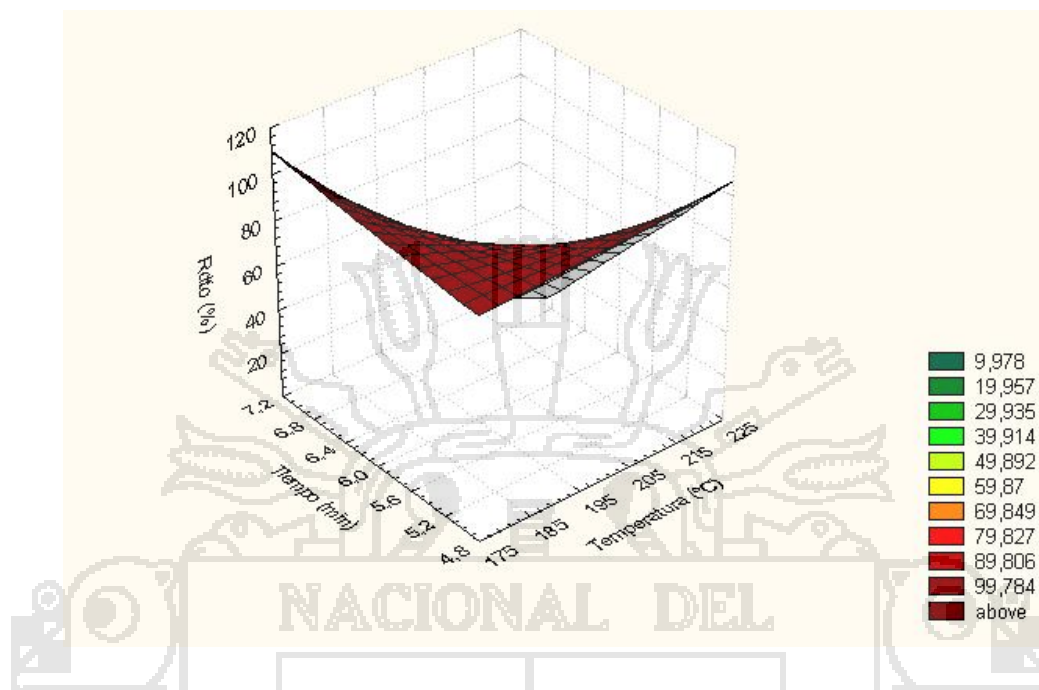


Figura 9. Porcentaje de quemados obtenido en el tostado de café por efecto de la temperatura y tiempo de tostado.

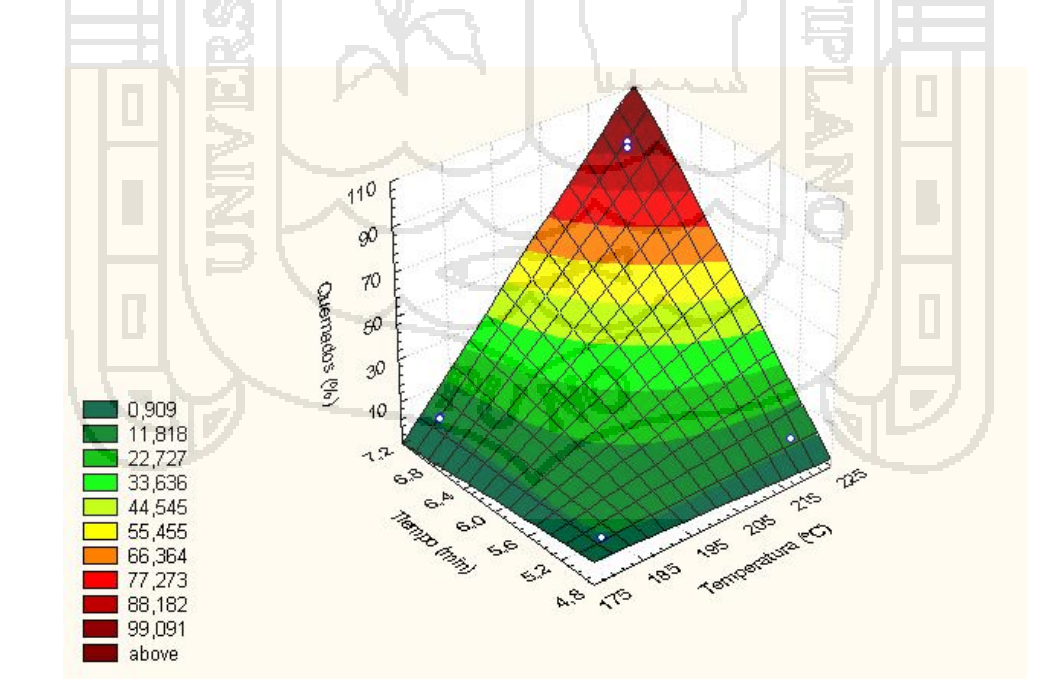
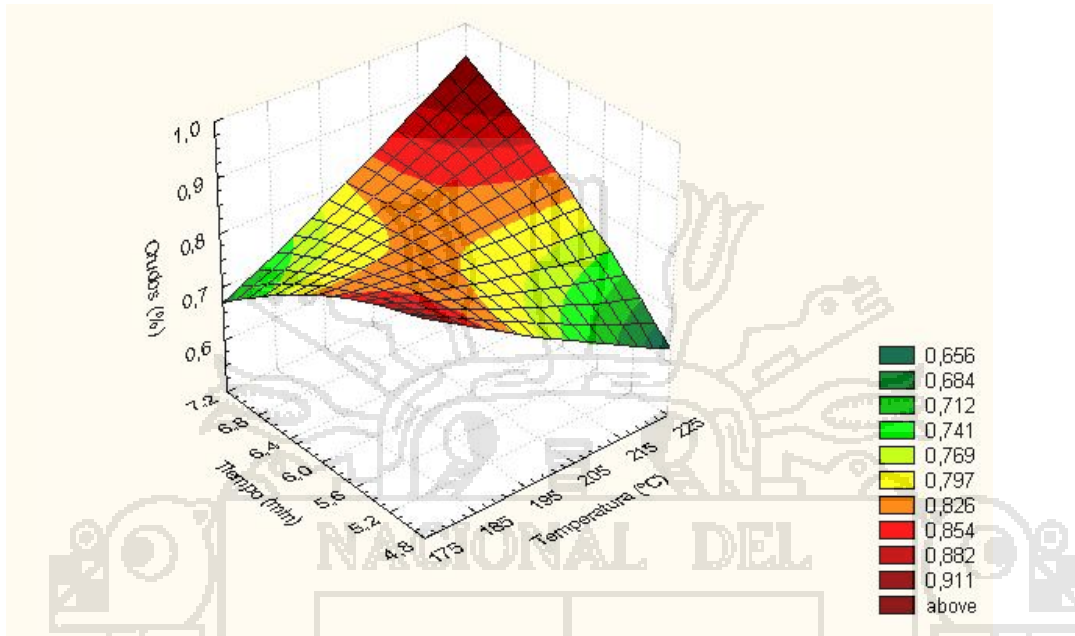


Figura 10. Porcentaje de crudos obtenido en el tostado de café por efecto de la temperatura y tiempo de tostado.



#### 4.3. ANALISIS SENSORIAL DEL PRODUCTO CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO

##### 4.3.1. ACIDEZ

En la Tabla 6 del Anexo 9, se presentan los resultados de la cata de acidez del café tostado, molido y percolado a 180°C-5min; 180°C-7min y 200°C-5min, y en la Tabla 9 se presenta el análisis de varianza para el análisis de la acidez evaluadas en la prueba de tasa del café percolado, donde se observa que no se determinaron diferencias estadísticas significativas al 95% de probabilidades entre las muestras evaluadas, estos resultados muy posiblemente sean debido a que los panelistas empleados en la prueba de tasa, no tiene un paladar especializado que detecte la mínima variación de acidez en el producto obtenido bajo diferentes tratamientos.

##### 4.3.2. AROMA

En la Tabla 10 del Anexo 9, se presenta los resultados del análisis de varianza para el aroma del café tostado, observándose que no se determinaron diferencias estadísticas significativas entre tratamiento en la prueba de taza del aroma del café, esto nos da a entender que para los panelistas todos los tratamiento presentaron una impresión olfativa de la misma magnitud y no pudieron detectar

la fragancia del percolado de café en el momento de la cata ya que este último parámetro de calidad es delicadamente fino, fragante y penetrante que cataloga al café de calidad como lo manifiesta (Becker y Freytag, 1992) y su fineza están especialmente los aceites finos donde se encuentran los aldehídos, cetonas, ésteres, e hidrocarburos de bajo peso molecular que caracterizan el aroma del café como lo manifiesta (Duicela *et al.*, 2004).

#### 4.3.3. CUERPO

En el Anexo 9, Tabla 11; se presenta el análisis de varianza para el taceo del cuerpo del café preparado determinándose diferencias estadísticas significativas en el cuerpo del café tostado molido y percolado, y en el Cuadro 11, se presenta el análisis de comparaciones múltiples de DUNCAN para los tratamientos, determinándose una acidez similar entre los productos tostados obtenidos a 200°C – 5 minutos y 180°C – 7 minutos respectivamente, con menor cuerpo el tratamiento 180 – 5 minutos de tostado, en la Figura 8 se presenta la evolución del cuerpo del café en función de la temperatura y tiempo, siendo los mejores tratamientos en cuerpo del café la temperatura de 200°C y 5 minutos, lo cual se puede corroborar con el comportamiento del cuerpo en función a la acidez y aroma, en la Figura 9, donde se observa que a mayor aroma y mayor acidez o viceversa se obtendrán diferentes comportamientos en el taceo del cuerpo del café.

Cuadro 11. Prueba de Comparaciones múltiples de DUNCAN para el taceo del cuerpo del café temperaturas y tiempo de tostado.

TRATAMIENTOS	Nº OBS	PROMEDIO	SIGNIFICANCIA
180 - 5	20	2,7	b
180 - 7	20	3,35	a
200 - 5	20	3,5	a

Figura 11. Evolución del taceo del cuerpo del café tostado, molido y percolado en función de la temperatura y tiempo.

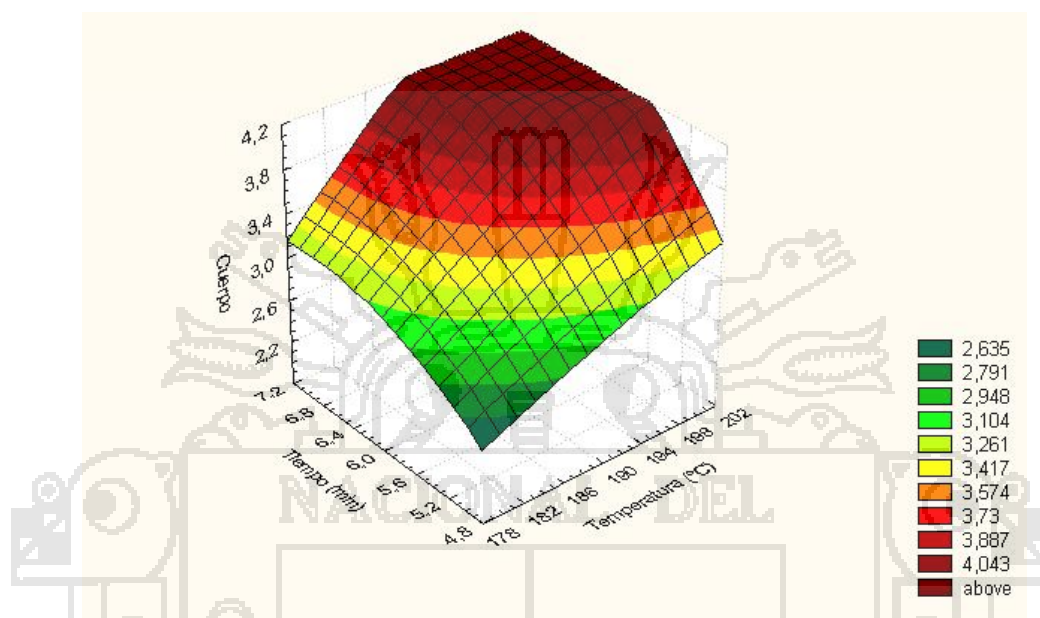
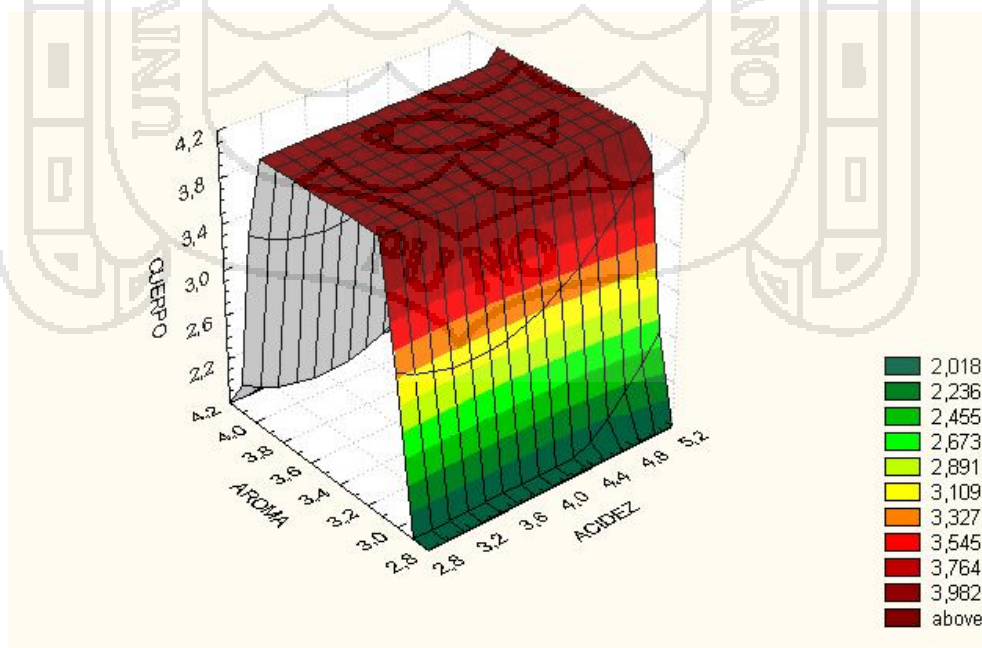


Figura 12. Evolución del taceo del cuerpo del café tostado, molido y percolado en función a la acidez y aroma



Las variaciones de la evaluación sensorial del cuerpo del café tostado y molido, son influenciados por las condiciones de temperatura y tiempo de tostado, donde se forman compuestos aromáticos como las alquipirazinas, -dicetonas, furfurilmercaptano y guayacoles, (Tressl, 1989; Parliment y Stahl, 1995; Bonnländer y Eggers, 2005), además las pirazinas (Friedel *et al.*, 1971), las que le atribuyen cuerpo al café tostado, esto se corrobora con lo manifestado por la FAO (1997), que indica que con el tostado es posible obtener mejores características organolépticas además de tener un efecto positivo en destruir bacterias, determinándose mejor aroma a 200 °C, seguido del producto sometido a 180°C respectivamente, siendo este factor determinante en la calificación de un café de calidad como lo manifiesta (Becker y Freytag, 1992). Por tanto afirmamos que el cuerpo del café es una propiedad organoléptica que está determinada por la combinación de la acidez, el aroma así como el sabor, además la sensación de plenitud y consistencia como lo indica (Duicela *et al.*, 2004).

#### **4.4. EVALUACION DEL PRODUCTO FINAL**

##### **4.4.1. CARACTERISTICAS FISICOQUIMICAS**

Los resultados de los análisis fisicoquímicos del café tostado, se presentan en el Cuadro 12 donde podemos observar que el café tostado presento una humedad 3.80% proteína 10.5%, fibra 4.28%, ceniza 0%, grasa 14.99%, e hidratos de carbono 27.89%

Cuadro 12. Composición proximal de café tostado

Componentes	%
Humedad	3.80
Proteína	10.50
Fibra	4.28
Ceniza	0.00
Grasa	14.99
ELN	66.43
Grasas Saturadas	0.00
Hidratos de carbono	27.89
Energía (Kcal/100gr)	433.67

Fuente: Datos obtenidos del análisis del laboratorio del INIA

En el Cuadro 12, se observa la baja humedad de los granos tostados de café, esto debido a que el tostado ocasiona la evaporación de agua en los primeros minutos del proceso de tueste, por lo que el control del tiempo y temperatura de tostado determinan la calidad final del producto final, como lo menciona Lerici *et al.*, (1980), quien en sus estudios reporta un disminución de la humedad desde un 11 a 12 % hasta un 1.2 – 3.0%. Los tratamientos de 180°C durante 7 minutos obtuvieron 3.18 % de humedad, ligeramente superiores, además las condiciones geográficas y condiciones atmosféricas del medio geográfico de Puno afectan en el punto de evaporación del agua desde interior al exterior en los granos de café arabica y un exceso de eliminación de agua puede contribuir o empeorar sobre la calidad sensorial del producto obtenido.



## V. CONCLUSIONES

1. Se logró construir el equipo tostador de granos de café, el cual es apropiado para el tostado de granos, el material es adecuado para las condiciones a las que fue sometido, las características de construcción son alto 0.98m, largo 1.20m y ancho 0.90m, la potencia del motor es 0.3hp, para una capacidad de 0.20 Kg por batch, y como fuente de calentamiento es gas propano por ser menos contaminante.
2. A una temperatura de tueste de 180 °C y tiempo de 7 minutos, se logra tostar granos de café de buena calidad con una humedad de 3.8% y con un óptimo rendimiento de 92%.
3. Las características sensoriales del café obtenido, tienen buena aceptación sensorial determinándose una acidez similar entre los productos tostados obtenidos a 200°C – 5 minutos y 180°C – 7 minutos, con menor cuerpo el tratamiento 180°C – 5 minutos de tostado, la evolución del cuerpo del café esta en función de la temperatura y tiempo, siendo los mejores tratamientos en cuerpo del café la temperatura de 200°C y 5 minutos.

## VI. RECOMENDACIONES

1. Se sugiere realizar pruebas en el tostado de café utilizando otras variedades e incluso granos andinos a diferentes niveles de temperatura y tiempo.
2. Para un mejor análisis sensorial se recomienda tener un equipo de catadores entrenados y que tengan las habilidades sensoriales para este tipo de evaluaciones.
3. Se recomienda que esta tecnología sea transferida a los pequeños y medianos productores involucrados en la actividad agroindustrial de café en los valles de nuestra región.
4. Se recomienda utilizar energía no convencional para el funcionamiento del motor del equipo.



## VII. BIBLIOGRAFIA

1. Aliaga J. 1984. Manual practico del Cafetalero. Editorial Ediagraria, la Molina. Lima, Perú. Pág.211.
2. Becker, R. Y Freytang, W. 1992. Manual para el control de la calidad del café. Proyecto de Mejoramiento de la Calidad y comercialización del Café (MECAFE). Santo Domingo, República Dominicana.
3. Bicchi, C. P.; Panero, O. M.; Pellegrino, G. M. y Vanni, A. C. 1997. Characterization of Roasted Coffee and Coffee Beverages by Solid Phase Microextraction – Gas Chromatography and Principal Component Analysis. J. Agr. Food Chem.
4. Calles, R., Calleja, G., Cunil, F., 1999. Ingeniería de la industria alimentaria. Vol. 1. Editorial síntesis Madrid – España.
5. Cámara Peruana del Café. 2001. “Café del Perú hoy en el mundo”. Editorial Visión y Diseño S.A.C. Lima-Perú. Pág. 35.
6. Castañeda P. E. 2004. Bases Potenciales. Editorial Tecnaprop. Lima, Perú.
7. Castañeda P. E. 2004. Evaluación de Calidad y su Comercialización. Editorial Cámara Peruana del Café. Lima-Perú.
8. Cenicafe. 1996. Manual del cafetalero colombiano. Rev. Avances Tecnológicos. Nro. 182. Caldas, Colombia. Pág.488.
9. Centro de Comercio Internacional. 1992. Café: Guía del Exportador. unctad /gatt. Ginebra, Suiza. pp: 328-338.
10. Ciid, <http://www.idrc.ca>; 1998. quito ecuador
11. Collazos, C. 1996. Tablas peruanas de composición de alimentos. Ministerio de Salud.
12. Comercio Justo México, A. C. 2000. Norma General de Comercio Justo. En: Memorias del Taller: café orgánico como alternativa de diferenciación. Diciembre 2001. Fira. Agencia Córdoba.
13. Czerny, M.; Wagner, R. and Werner, G. 1996. Detection of Odor-Active Ethenylalkylpyrazines in Roasted Coffee. J. Agr. Food Chem.

14. Dark, S. K. y Nursten, H. E. 1985. Volatile Components. En: Coffee Chemistry; Clarke, R. J., Macrae, R., Eds.; Elsevier Applied Science Publishers: New York, U.S.A, Vol. 1.
15. Dergal, B. 1995. Química de los alimentos. 3ra. Edic. 2da. Reimpresión, Edit. Alhambra S.A., México.
16. Diaz, P. B. 1994 "Transferencia de calor y aplicaciones. 2da. Edic. Lima – Perú.
17. Discovery, 1996. Manual de Aceros inoxidables. Distribuidora metálica. S.A. México.
18. Duicela, L.; Corral, R.; Farfan, D.; Cedeño, L.; Palma, R.; Sanchez, J. y Villacis, J. 2003. Caracterización física y organoléptica de cafés arábigos en los principales agroecosistemas del Ecuador. Primera edición. Cofenac. Manta, Ecuador.
19. Duicela, L.; Farfan, D.; Garcia, J.; Corral, R. y Chilán, W. 2004. Post - Cosecha y Calidad del Café Arábigo. Primera edición. Cofenac, ultramares, Promsa. Manta, Ecuador.
20. Duicela, L. y Sotomayor, I. 1993. La Calidad del Café. Manual del Cultivo del Café. iniap, fundagro, gtz. Quevedo, Ecuador.
21. FAO. 1997. El Cultivo del Amaranto, Producción, Mejoramiento Genético y utilización. Roma-Italia; udec-chile.
22. Farfan, D. 2000. Comparación de tres procesos postcosecha sobre la calidad organoléptica del café (*Coffea arabica L.*) variedad Caturra rojo en la Provincia de Manabí. Tesis Ingeniero Agrícola. Universidad Técnica de Manabí. Manabí, Ecuador.
23. Fenemma, O. R. 1993; Química de los alimentos. segunda edición; Zaragoza; Editorial Acribia S.A.; España.
24. Feldman, J. R.; Ryder, W. S. y Kung, J. T. 1969. Importance of nonvolatile compounds for the flavor of coffee. J. Agr. Food Chem.
25. Flores, R. (2004). Proceso general para la ejecución de un proyecto de producción y comercialización de café tostado y molido. Instructor. Oax.
26. Friedel, P., Krampl, V., Radford, T., Renner, J. A., Shephard, F. W. y Gianturco, M. A. 1971. Some Constituents of the Aroma Complex of Coffee. J. Agr. Food Chem.

27. Figueroa, F. R. 2001. Guía para la Caficultura Ecológica Café Orgánico. Ediciones Novella Publigráfico.
28. Gallego Felipe Jesús, 1974. Manual práctico de Cafetería y Bar Americano, Editorial. El Bar americano.
29. Gautschi, F., Winter, M., Flament, Y., Willhalm, B. y Stoll, M. 1967. New Developments in Coffee Aroma Research. J. Agr. Food Chem.
30. Geancoplis, C. J. 1995. Transport processes and operations. Traducción Dr. Jorge Rodriguez Gonzales, segunda edición Mexico D. F. Cia. Edit. Continental, S.A. México.
31. Hernández, V. M. 2004 Diseño de una Metodología para una Planeación y Programación de producción de Café Tostado y Molido Bogota – Colombia.
32. Holscher, W. Charalambous, O.G. Steinhart, H 1992. Identification and sensorial evaluation of aroma-impact compounds in roasted Colombian coffee. Café, cacao, Thé.
33. Illy, A. y Viani, R. 1995. Espresso Coffee. The Chemistry of Quality, 1ra ed.; Academic Press: Londres.
34. JNC. 2005. Junta Nacional de Café Web: [www.juntadelcafe.org](http://www.juntadelcafe.org)/Email: [jncperu@terra.com .pe](mailto:jncperu@terra.com.pe)
35. Kochen, E. 1995. Procesamiento de cereales. Publicaciones de Intermediate Technology, Lima-Perú.
36. Lerici, C.R., Dalla, R.M., 1980. Processi di trasformazione del café: aspetti chimici, fisici e tecnologici. Nota 4: evoluzione di alcuni caratteri fisici del café nel corso della torrefazione. Industria delle Bevande.
37. Mayer, F.; Czerny, M. y Grosch, W. 1999. Influence of provenance and roast degree on the composition of potent odorants in Arabica coffees. Eur. Food Res Technol
38. MINAG. 2006. Ministerio de Agricultura. – [www.minag.gob.pe/](http://www.minag.gob.pe/) Email
39. Moreiras, O. R., Costa, M. T. y Cervera, H., 2006. Tabla de composición de alimentos 10<sup>a</sup> Edición Pirámide. Ediciones (Grupo Anaya SA.)
40. Mott, R. 1992, Diseño de elementos de maquinas. 2da Edición. Editorial Hispanoamericano.
41. Motta, J. 1979. Cultura de Café en Brasil. Tercera Edición. Río de Janeiro Brasil.

42. Parliment, T. H. y Stahl, H.D. 1995. What Makes that Coffee Smell So Good. Chem. Technol.
43. Ranken M.D. 1993, Manual de industrias de los alimentos. 2da Edición. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza - España.
44. Pide café 2003. café origen y Análisis del Mercado de Café
45. Rhoades, J. W. 1960. Analysis of the Volatile Constituents of Coffee. J. Agr. Food Chem.
46. Solá, A. (2005), Tostado y molido del Café, México
47. Tressl, R. 1989. Formation of Flavor Components in Roasted Coffee. En: Thermal Generation of Aromas; Parliment, T., McGorin, R., Ho, C. Eds.; ACS Symposium Series 409; American Chemical Society: Washington, DC, U.S.A.
48. Ureña P. M. 2000. Evaluación Sensorial de los Alimentos Aplicación Didáctica. Edit. Agraria S.A.
49. Valenzuela S. G. 1998. Manual del Cafetalero Colombiano. Ediciones Cenicafe. Bogotá-Colombia
50. Valiente, A. 1997, Problemas de balance de materia y energía en la industria alimentaria. México D. F. Edit. Limusa S.A.; México.
51. Vitzthum, O. G.; Weisemann, C.; Becker, R. y Köhler, H. S. 1990. Identification of an Aroma Key Compound in Robusta coffees. Café, Cacao and Thé.
52. Zaragoza, J. P. 1996. Manual de Aceros inoxidable. Distribuidora metálica. S.A. México.
53. Zugasti, C. 2000. The Transformation of Coffee Farming in Veracruz, Mexico. University of California Santa Cruz, CA. USA.



# ANEXOS

## ANEXO 1

## CALCULOS DE INGENIERIA

## CRITERIOS TECNICOS PARA LA CONSTRUCCION DEL EQUIPO

Capacidad del tostador = 0.2 kilogramo de granos de café por batch

Largo del Tambor (L) = 0.21 m

Diámetro del Tambor (D) = 0.22 m

## Calculo del Área de Tostado

Para calcular el área de tostado empleamos la siguiente ecuación:

$$A = fDL \dots\dots\dots (1)$$

Donde:

A = Área de tostado

D = Diámetro del Tambor

L = Longitud del Tambor

Reemplazando los datos se tiene:

$$A = (3.1415)(0.21m)(0.22m) = 0.145 \text{ m}^2$$

## BALANCE DE ENERGIA Y MATERIA EN LA OPERACIÓN DE TOSTADO DE CRANOS DE CAFÉ

### BALANCE DE ENERGIA

Calculo de flujo de energía de la fuente de calor del quemador de gas.

El poder calorífico del gas propano ( $C_3H_8$ ) es de 2045.4Kj/Kg.

Consumo de gás:  $m = 0.00032 \text{ Kg/s}$ .

El flujo de calor del quemador es:

$$\dot{Q} = q(m) \dots\dots\dots (2)$$

Donde:

$\dot{Q}$  = Flujo de calor del quemador

q = Poder Calorífico del gas propano

m = Consumo de gas

Reemplazando los valores en la ecuación anterior se tiene:

$$\dot{Q} = \frac{2045.4kj}{Kg} \left( \frac{0.00032 Kg}{s} \right) = 0.6545 Kj / s$$

A.- Calculo de calor requerido para calentar la superficie de tostado del tambor

El calentamiento se realizó durante 8 minutos que equivale 480 segundos para alcanzar a una temperatura de 180°C de la superficie interna del tambor.

Por lo tanto se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = \dot{Q} \cdot t \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

Q = Calor requerido para calentar la superficie interna del tambor a 180°C

t = Tiempo necesario para el calentamiento (15 min.)

Reemplazando datos en la ecuación anterior se tiene:

$$Q = \left( \frac{0.6545 \text{ Kj}}{s} \right) (900.s) = 589.05 \text{ Kj} \text{ o } 140.79 \text{ Kcal}$$

B.- Calculo de calor requerido para el tostado de granos de café

La transferencia de calor es por conducción por lo tanto se aplica la ecuación de Fourier.

$$Q = k \frac{2\pi L(T_1 - T_2)}{\ln \frac{r_1}{r_0}} \dots\dots\dots (4)$$

Donde:

Q = Calor requerido para el tostado

k = Conductividad térmica del acero Inoxidable

L = Longitud del tambor

T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub> = Temperaturas superficiales del tambor

r<sub>0</sub> y r<sub>1</sub> = Radios del tambor



Reemplazando datos en la ecuación se tiene:

$$Q = 17.40 \frac{2(3.1415)(0.21)(181.5 - 180)}{\ln \frac{0.111}{0.11}} = 3817.86KW \text{ o } 0.913Kcal/s$$

El calor necesario para el tostado se calcula reemplazando datos en la ecuación (3), el tiempo de tostado por cada bach es de 7 minutos.

$$\dot{Q} = 0.913Kcal / s(420s) = 383.46Kcal$$

C.- Calculo de flujo de calor de granos de café

$$\dot{Q} = \dot{m}Cp(T_2 - T_1) \dots\dots\dots(5)$$

Donde:

$\dot{m}$  = Flujo másico del producto (granos de café)

$T_2$  = Temperatura de tostado 180°C

$T_1$  = Temperatura inicial 15°C

$Cp$  = Calor específico de granos de café

Calculo del Calor específico de granos de café ( $Cp$ ), para lo cual se utilizara la ecuación de Shiebel

$$Cp = 1.424M_c + 1.459M_p + 1.675M_g + 0.837M_a + 4.187M_m \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

$M$  = Fracción de masa

$c$  = Carbohidratos

$p$  = Proteínas

$g$  = Grasa

a = Cenizas

m = Humedad

Tabla 1. Composición por 100 gramos de porción comestible

COMPUESTO	CAFÉ GRANO SIN TOSTAR	CAFÉ SIN AZÚCAR
Agua (g)	6,3	98,5
Proteína (g)	11,7	0,3
Grasa (g)	10,8	0,1
Carbohidrato (g)	68,2	0,8
Ceniza (g)	3,0	0,3

Fuente: Collazos, C. 1996. Tablas Peruanas de Composición de Alimentos

Reemplazando datos en la ecuación 6 se tiene:

$$C_p = 1.424(0.682) + 1.459(0.117) + 1.675(0.108) + 0.837(0.03) + 4.187(0.063)$$

$$C_p = 1.612 \text{ Kj/Kg}^\circ\text{C}$$

Realizamos el cálculo de flujo de calor de los granos de café con la ecuación 5.

$$\dot{Q} = 0.0003333 \text{ Kg} / \text{s} (1.612 \text{ Kj} / \text{Kg}^\circ\text{C}) (180 - 15)^\circ\text{C}$$

$$\dot{Q} = 0.089 \text{ Kj} / \text{s} \text{ o } 0.0212 \text{ Kcal/s}$$

El tiempo de tostado es 7 minutos por batch

$$Q = \dot{Q} x(t) \dots\dots\dots (7)$$

$$Q = 0.0212Kcal / s(420s) = 8.914Kcal$$

**Calculo de calor total requerido para el tostado de granos de café**

$$Q_{Total} = Q_{Calentamiento} + Q_{Tostado} + Q_{Café} \dots\dots\dots (8)$$

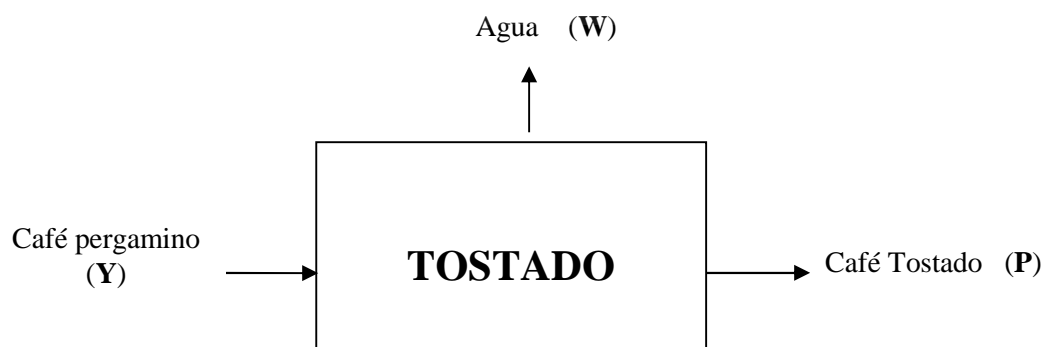
Reemplazando valores en la ecuación anterior se tiene:

$$Q_{Total} = 140.79 Kcal + 386.43 Kcal + 8.914 Kcal$$

$$Q_{Total} = 536.134 Kcal$$

**BALANCE DE MATERIA**

La materia prima que se utiliza para la evaluación del equipo tostador es 160 gr de granos de café con una humedad inicial de 12.20 % y sale con una humedad de 3.80 % por batch.



Balance General de Materia

$$Y = W + P \dots\dots\dots (9)$$

Reemplazando datos en la ecuación. (9) tenemos

$$160 = W + P \dots\dots\dots (10)$$

Despejando P se tiene

$$P = 160 - W \dots\dots\dots (11)$$

Balance de humedad

$$Y_Y = W_W + P_P \dots\dots\dots (12)$$

Reemplazando valores a la ecuación anterior se tiene:

$$(0.122)160 = (W) + 0.038(P)$$

$$19.52 = W + 0.038(P) \dots\dots\dots (13)$$

Con la ecuación (11) en la anterior ecuación se tiene:

$$19.52 = (W) + 0.038(160 - W) \dots\dots\dots (14)$$

$$\Rightarrow 19.52 = 6.08 + W - 0.038W$$

$$19.52 - 6.08 = 0.962W$$

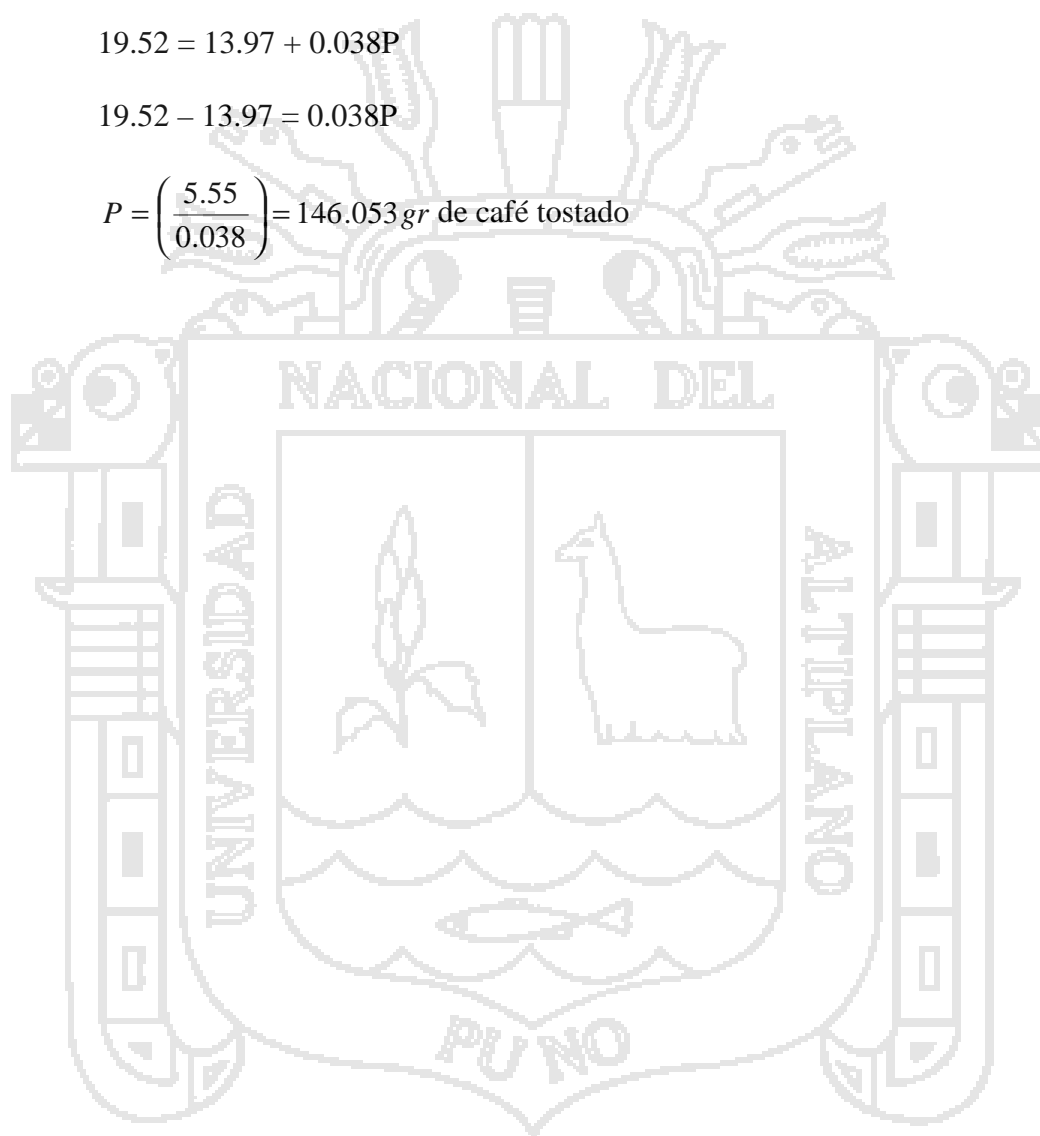
$$W = \left( \frac{13.44}{0.962} \right) = 13.97 \text{ gr de agua}$$

Calculo de P reemplazando a la ecuación (13)

$$19.52 = 13.97 + 0.038P$$

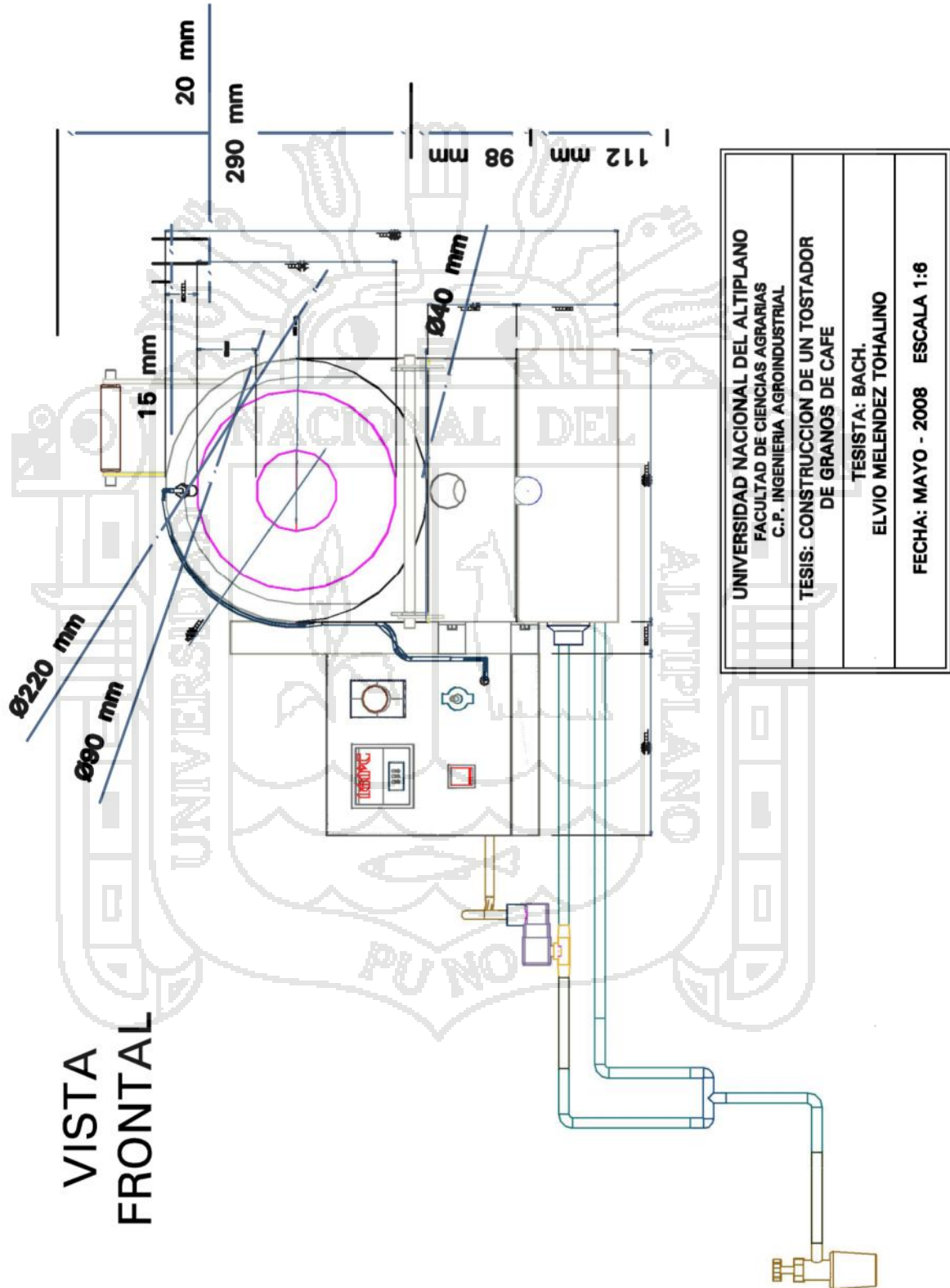
$$19.52 - 13.97 = 0.038P$$

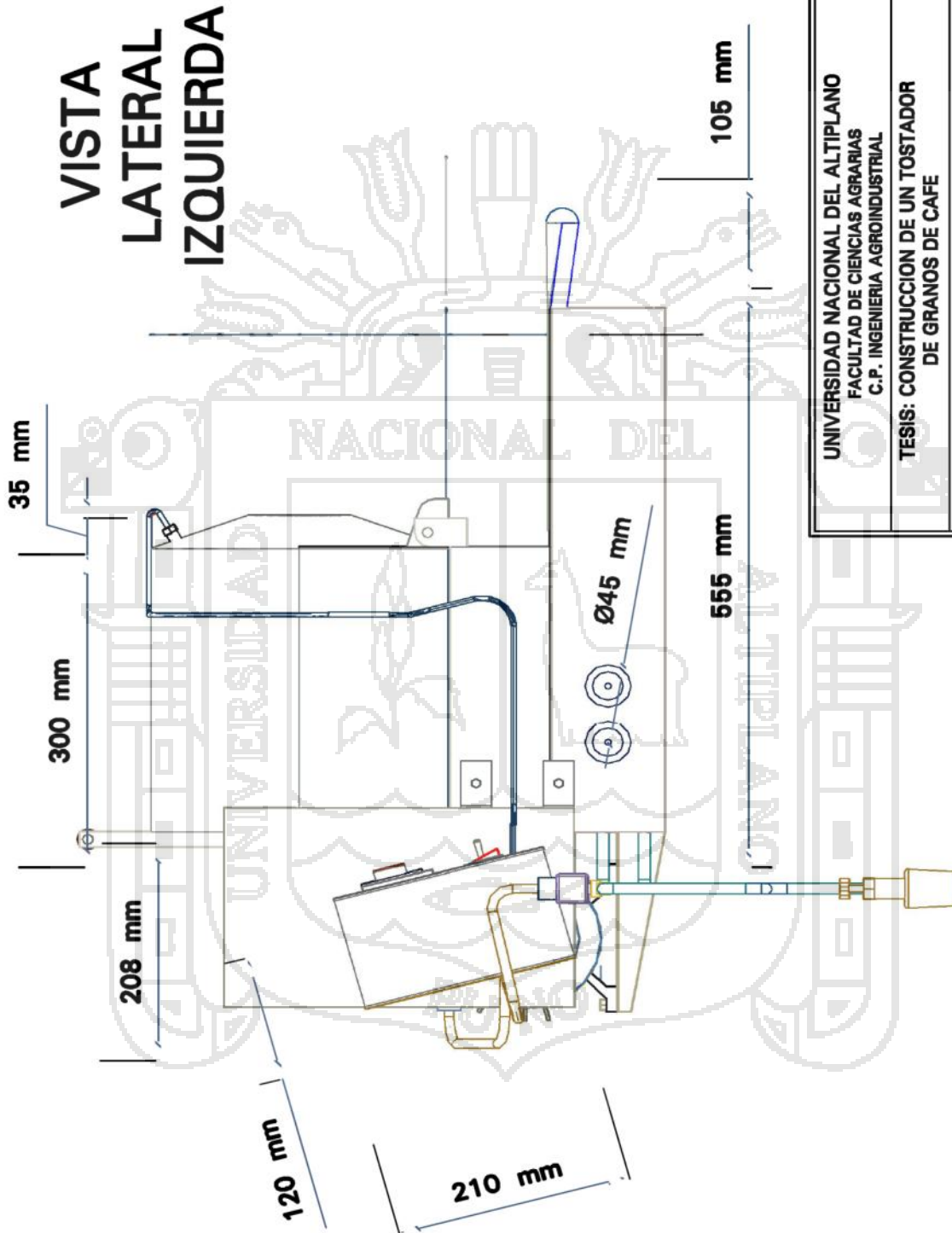
$$P = \left( \frac{5.55}{0.038} \right) = 146.053 \text{ gr de café tostado}$$



ANEXO 2

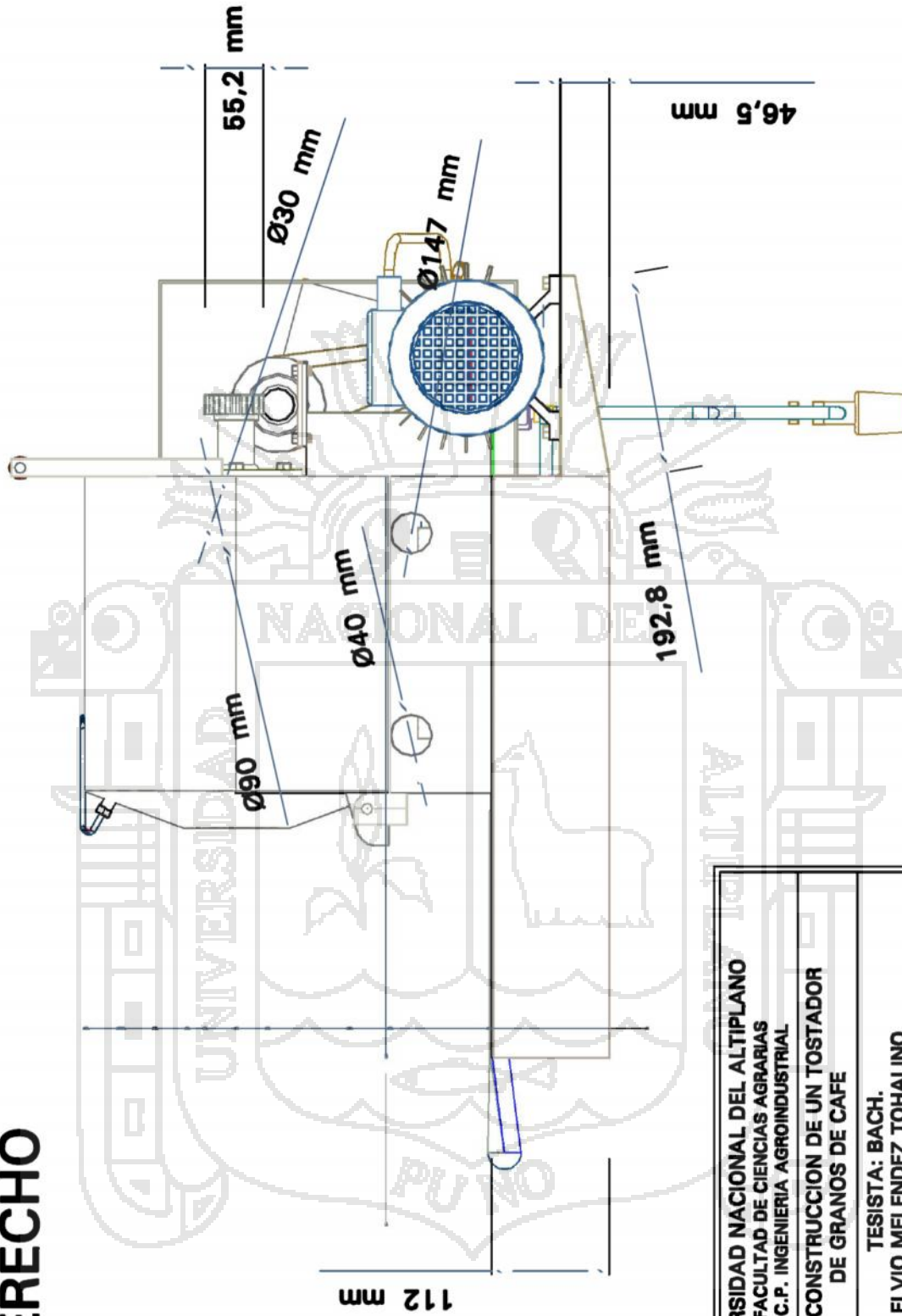
PLANOS DE CONSTRUCCION DEL EQUIPO TOSTADOR DE CAFÉ





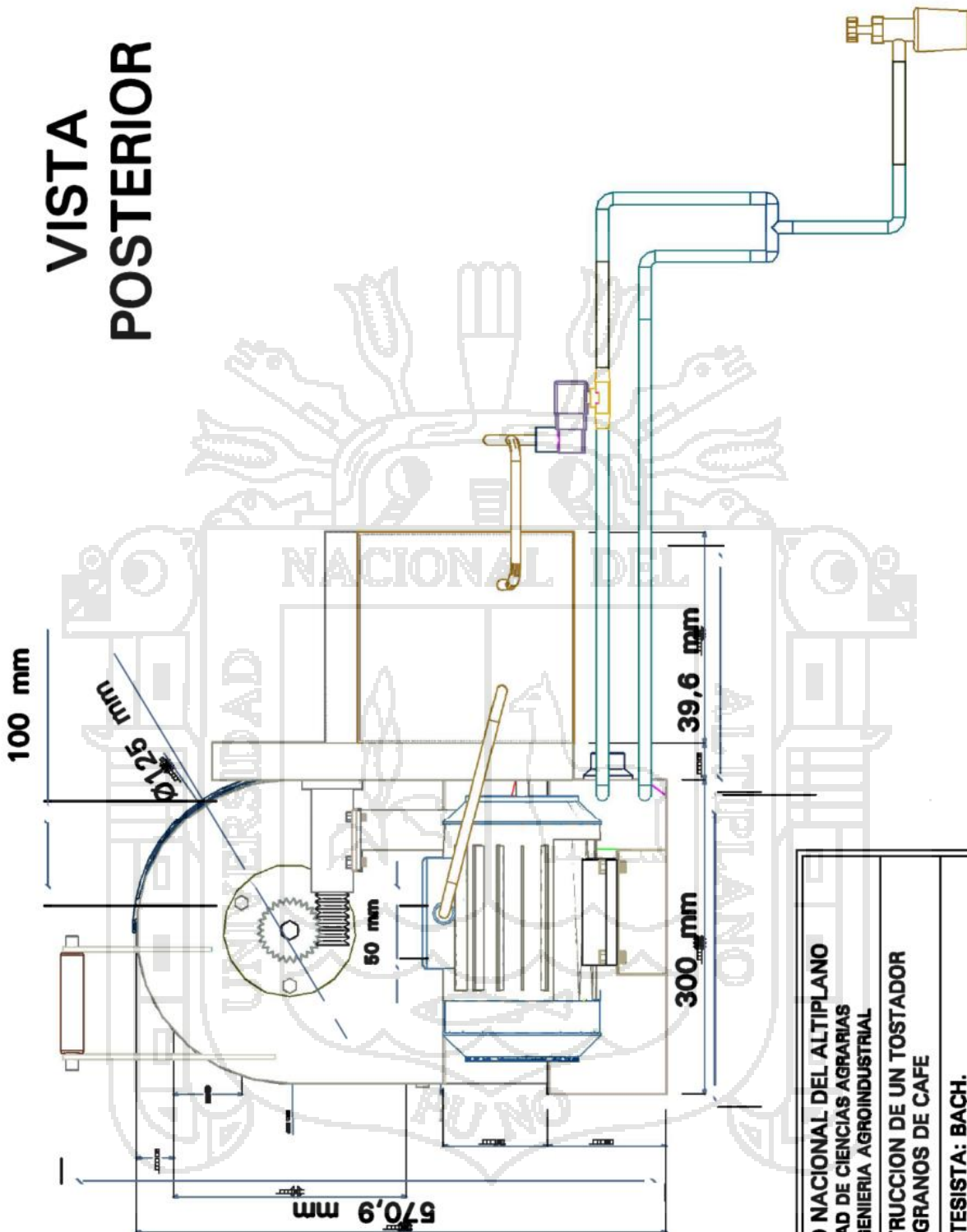
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS C.P. INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
TESIS: CONSTRUCCION DE UN TOSTADOR DE GRANOS DE CAFE
TESISTA: BACH. ELVIO MELENDEZ TOHALINO
FECHA: MAYO - 2008                      ESCALA 1:6

# VISTA LATERAL DERECHO



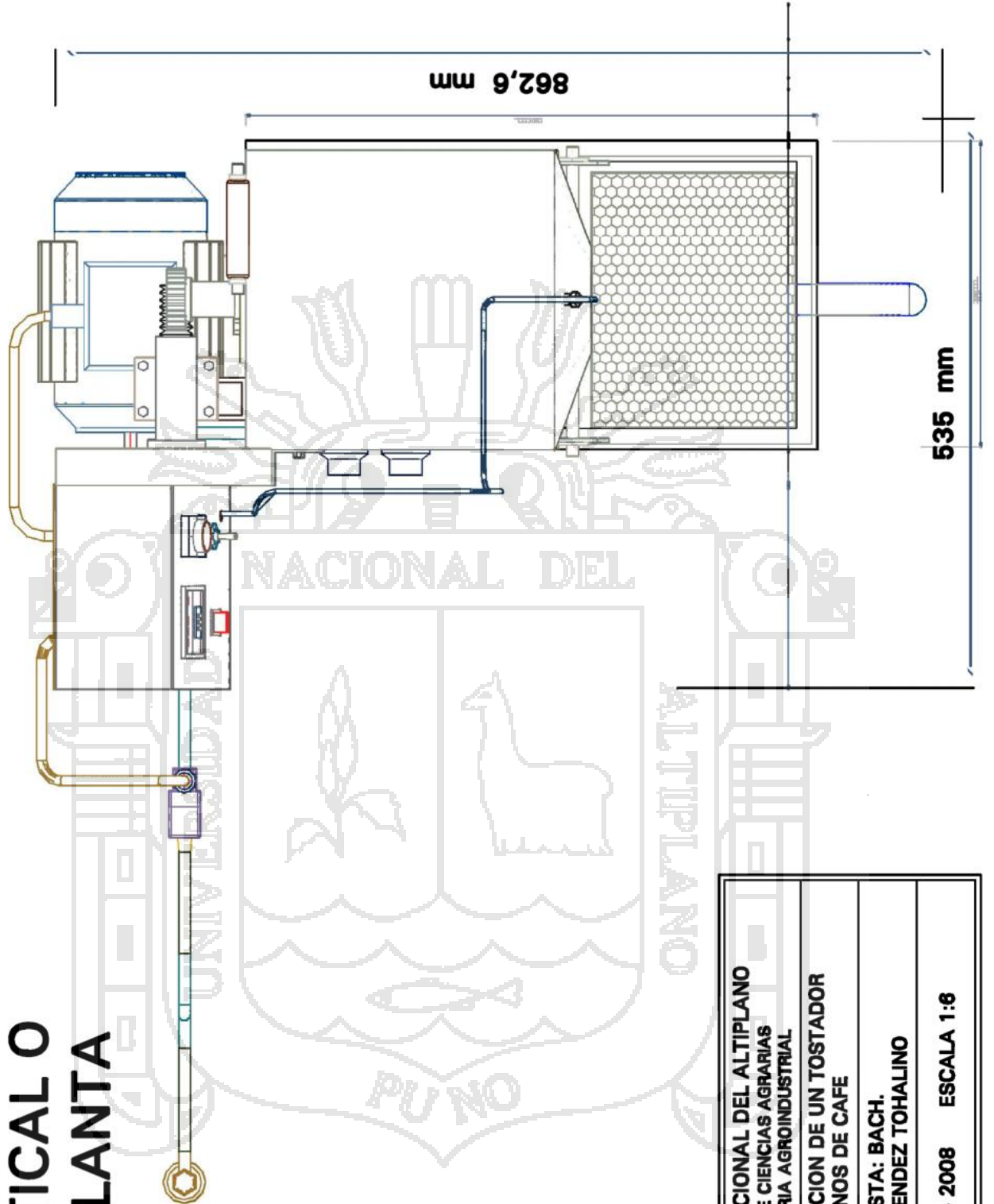
UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS C.P. INGENIERIA AGROINDUSTRIAL	
TESIS: CONSTRUCCION DE UN TOSTADOR DE GRANOS DE CAFE	
TESISTA: BACH. ELVIO MELENDEZ TOHALINO	
FECHA: MAYO - 2008	ESCALA 1:6





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS C.P. INGENIERIA AGROINDUSTRIAL	
TESIS: CONSTRUCCION DE UN TOSTADOR DE GRANOS DE CAFE	
TESISTA: BACH. ELVIO MELENDEZ TOHALINO	
FECHA: MAYO - 2008	ESCALA 1:6

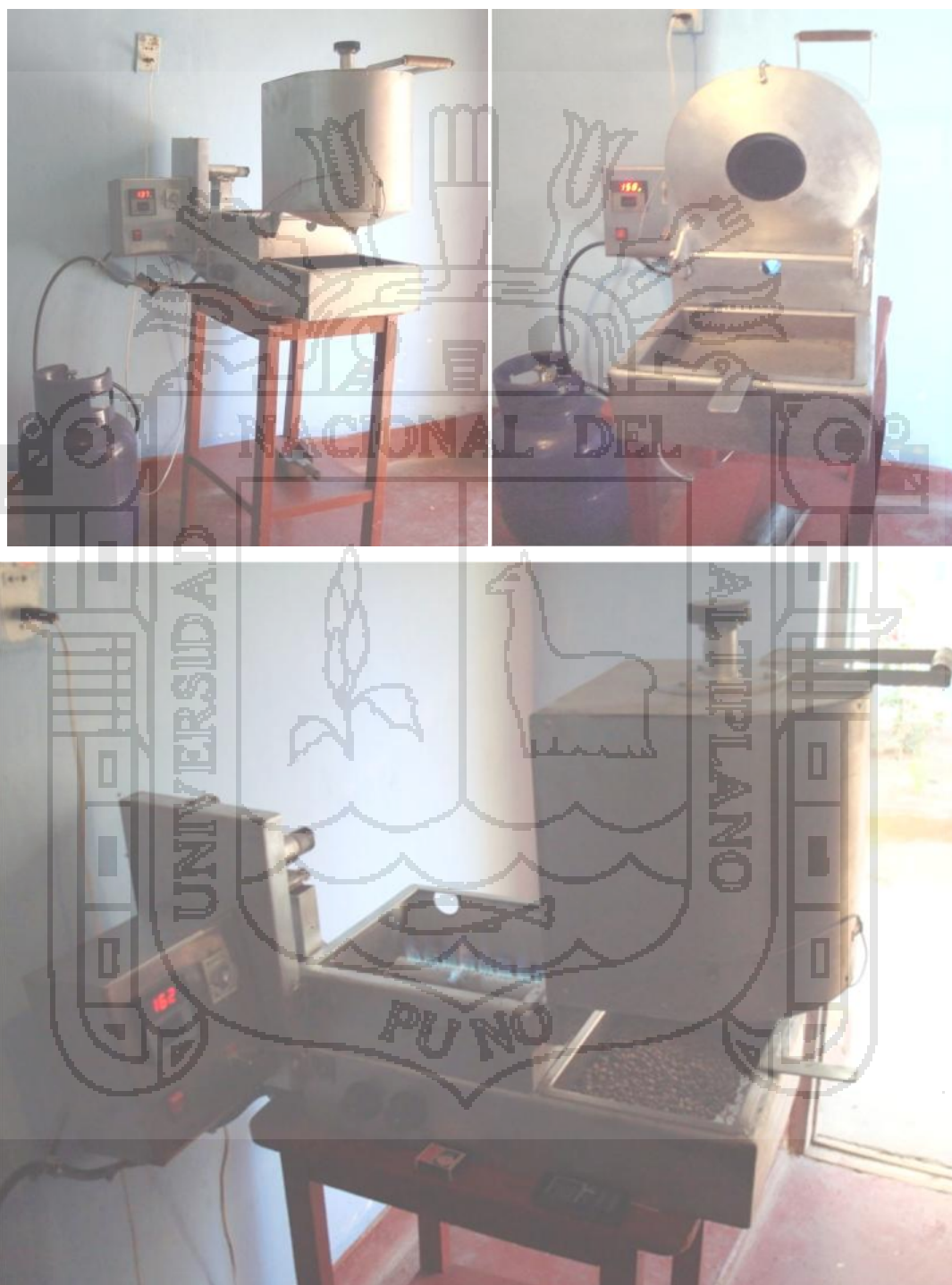
**VISTA  
VERTICAL O  
EN PLANTA**

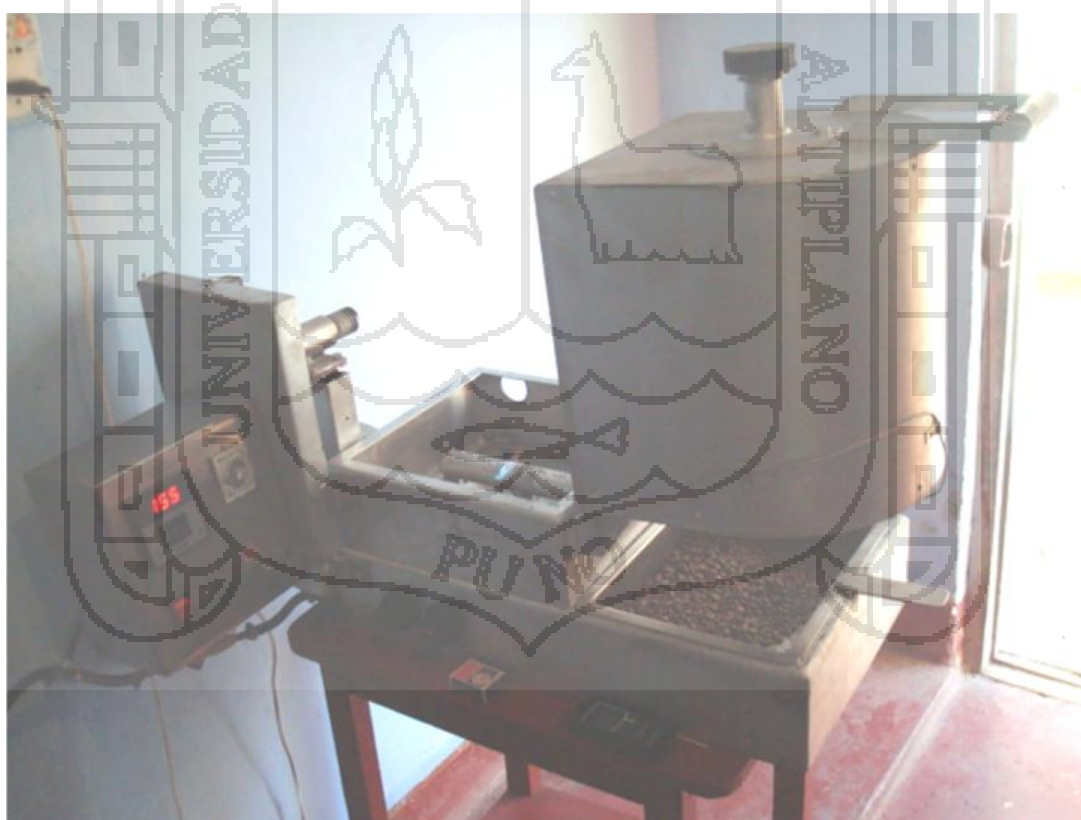


UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS C.P. INGENIERIA AGROINDUSTRIAL
TESIS: CONSTRUCCION DE UN TOSTADOR DE GRANOS DE CAFE
TESISTA: BACH. ELVIO MELENDEZ TOHALINO
FECHA: MAYO - 2008    ESCALA 1:6

### ANEXO 3

#### FOTOGRAFIAS DEL EQUIPO TOSTADOR DE GRANOS DE CAFÉ





## ANEXO 4

### INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL EQUIPO TOSTADOR DE GRANOS DE CAFE

#### MANUAL DE INSTRUCCIÓN PARA EL USO DEL TOSTADOR

1. Revisar el panel de control poner todo en cero.
2. Conectar el sistema, a la fuente de energía (enchufar).
3. Abrir la válvula del gas.
4. Encender los quemadores.
5. Poner en funcionamiento el motor.
6. Programar la temperatura a la que se quiere tostar el café y esperar que llegue a la temperatura programada.
7. Ingresar la muestra de café e inmediatamente hacer contacto el temporizador unas ves programadas el tiempo.
8. Terminado el tiempo de tostado hacer la descarga del café en forma manual, levantado la manija del tambor.
9. Apagar el temporizador unas ves que ya indico el tiempo programado.
10. Apagar el motor.
11. Cerrar la válvula de gas.
12. Desconectar el sistema (desenchufar).
13. Limpiar el tambor interno, la bandeja y los accesorios, esto cuando ya se encuentre frío.



## ANEXO 5

### COSTOS DE CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO TOSTADOR DE GRANOS DE CAFÉ

#### Costos de construcción del tostador

La inversión económica que implica la construcción del tostador esta determinado de acuerdo a los precios del mercado de la región sur del Perú

Tabla 2. Costos incurridos en construcción del tostador de café

<b>A. COSTO FIJO</b>			
<b>MATERIALES</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>CARACTERISTICA</b>	<b>COSTO EN S/.</b>
Plancha metálica Acero inox.	1/2	AISI 304 1/8 Mm. de grosor	250
Plancha metálica Acero negro	1/2	Acero negro ½ Mm. de grosor	200
Motor eléctrico	1	Modelo : QB-60 A:1.5 KH:0.23 HP:0.3 AC:110-220v	200
Aislante térmico	2.0 Kg.		70
Controlador de la Temperatura Pirómetro	1	Modelo : 3S72 Rango:0-999° C AC:110-220v	600
Controlador del tiempo Temporizador	1	Modelo: ST3P Tiempo máx.60 min. AC:110- 220v	200
Válvula de control del gas Selenoide	1	Modelo: MH2 Presión 40 bar. AC:110-220v	280
Mano de Obra			200
<b>SUB TOTAL</b>			<b>2000</b>
<b>B. COSTO INDIRECTO</b>			
Instalación			200
Puesta en marcha - Ajustes (2% del costo fijo)			40
<b>C. IMPROVISTOS</b>			
5% del costo fijo			100
<b>COSTO TOTAL</b>			<b>2340</b>

## ANEXO 6

## NORMAS TECNICAS PERUANAS DE CAFÉ

## Clasificación de café verde según las NTP-209.027-2001

**GRADO 1**

**DESCRIPCION.-** de cosecha nueva, producido estrictamente en zonas altas, de color homogéneo y olor intensamente fresco.

Excelente taza y sabor.

**PROCESO.-** Lavado

**HUMEDAD.-** 10% - 12%

**GRANULOMETRIA.-** Min 50 % sobre malla 15  
Max. 5 % debajo malla 14

**Nº DE DEFECTOS.-** Máximo 15

**ESTADO FITOSANITARIO.-** libre de insectos, hongos y otros tipos de contaminantes

**PRUEBA DE TAZA.-**

- Acidez marcada
- buen cuerpo
- Aroma típico e intenso
- libre de sabores extraños

**GRADO 2**

**DESCRIPCION.-** de cosecha actual y de altura, de olor fresco y color homogéneo, buena taza.

Menor sabor que el grado 1.

**PROCESO.-** Lavado

**HUMEDAD.-** 10% - 12.5%

**GRANULOMETRIA.-** Min 50 % sobre malla 15  
Max. 5 % debajo malla 14

**Nº DE DEFECTOS.-** Máximo 23

**ESTADO FITOSANITARIO.-** libre de insectos, hongos y otros tipos de contaminantes

**PRUEBA DE TAZA.-**

- buena acidez
- cuerpo medio requerido
- libre de sabores extraños

**GRADO 3**

**DESCRIPCION.-** de cosecha actual, de mediana calidad de taza, poco expresiva sin llegar a mostrar defectos. Procede de zonas bajas o de cosecha no muy reciente.

**PROCESO.-** Lavado o natural

**HUMEDAD.-** 10% - 12.5%

**GRANULOMETRIA.-** Min 50 % sobre malla 15  
Max. 5 % debajo malla 14

**Nº DE DEFECTOS.-** Máximo 30

**ESTADO FITOSANITARIO.-** libre de insectos, hongos y otros tipos de contaminantes

**PRUEBA DE TAZA.-**

- Acidez mediana
- Cuerpo moderado
- libre de sabores extraños

**GRADO 4**

**DESCRIPCION.-** de cosecha vieja, con mala calidad de taza, originada por mala producción o por mal almacenamiento.

**PROCESO.-** Lavado o natural

**HUMEDAD.-** 13%

**GRANULOMETRIA.-** Min 50 % sobre malla 15  
Max. 5 % debajo malla 14

**Nº DE DEFECTOS.-** Máximo 35

**ESTADO FITOSANITARIO.-** libre de insectos, hongos y otros tipos de contaminantes

**PRUEBA DE TAZA.-**

- Acidez moderada
- Cuerpo libre de sabores extraños
- A moho, fermento
- U otros de taza

**GRADO 5**

**DESCRIPCION.-** de cosecha sumamente vieja, con la máxima cantidad de defectos permitidos en taza.

**PROCESO.-** Lavado o natural

**HUMEDAD.-** 13%

**GRANULOMETRIA.-** Ningún limite  
Ningún límite



**N° DE DEFECTOS.-** Máximo 40

**ESTADO FITOSANITARIO.-** libre de insectos, hongos y otros tipos de contaminantes

**PRUEBA DE TAZA.-** - Con expresión sensorial de defectos que no deben ser fuertes, Ningún requisito de acidez, aroma y cuerpo



## ANEXO 7

## FOTOGRAFIAS DE GRANOS TOSTADOS EN EL EQUIPO



## ANEXO 8

## DATOS DE RENDIMIENTO EN EL TOSTADO DE CAFÉ

Tabla 3. Rendimiento en peso en el tostado de café a diferentes condiciones de temperatura tiempo

TEMPERATURA	TIEMPO	RENDIMIENTO EN PESO			
		CRUDOS	QUEM	CAFÉ	T. PESO
180	5	1,72	1,505	196,775	200
180	5	1,935	1,075	196,99	200
180	5	1,505	1,290	197,205	200
180	7	1,075	4,300	194,625	200
180	7	1,505	3,870	194,625	200
180	7	1,72	4,085	194,195	200
220	5	1,29	6,450	192,26	200
220	5	1,075	5,375	193,55	200
220	5	1,72	6,020	192,26	200
220	7	1,935	181,245	16,82	200
220	7	1,505	185,330	13,165	200
220	7	1,935	180,600	17,465	200

Tabla 4. Rendimiento en porcentaje en el tostado de café a diferentes condiciones de temperatura tiempo

TEMPERATURA	TIEMPO	RENDIMIENTO PORCENTAJES			
		CRUDOS	QUEM	CAFÉ	T. PESO
0,86	0,7525	98,3875	100	0,86	0,7525
0,9675	0,5375	98,495	100	0,9675	0,5375
0,7525	0,645	98,6025	100	0,7525	0,645
0,5375	2,15	97,3125	100	0,5375	2,15
0,7525	1,935	97,3125	100	0,7525	1,935
0,86	2,0425	97,0975	100	0,86	2,0425
0,645	3,225	96,13	100	0,645	3,225
0,5375	2,6875	96,775	100	0,5375	2,6875
0,86	3,01	96,13	100	0,86	3,01
0,9675	90,6225	8,41	100	0,9675	90,6225
0,7525	92,665	6,5825	100	0,7525	92,665
0,9675	90,3	8,7325	100	0,9675	90,3

Tabla 5. Análisis de variancia del rendimiento en el tostado de café

F DE V	SC	GL	CM	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:TEMPERATURA	6276,79	1	6276,79	16627,06	0,0000
B:TIEMPO	6033,33	1	6033,33	15982,17	0,0000
INTERACTIONS					
AB	5700,59	1	5700,59	15100,74	0,0000
RESIDUAL	3,02003	8	0,377504		
TOTAL	18013,7	11			

**ANEXO 9**

**FICHA DE EVALUACION SENSORIAL**

Nombre: \_\_\_\_\_ fecha: \_\_\_\_\_

**PRODUCTO: CAFÉ**

Se le pide evaluar las tres muestras, A, B y C, indique calificativo para cada atributo sensorial, Acidez, Aroma y Cuerpo.

**MUESTRA: A**

Acidez:	-----	-----	-----	-----	-----
	Alta	Elevada	Mediana	Poca	Sin
Aroma:	-----	-----	-----	-----	-----
	Alta	Elevada	Mediana	Poca	Sin
Cuerpo:	-----	-----	-----	-----	-----
	Alta	Elevada	Mediana	Poca	Sin

**MUESTRA: B**

Acidez:	-----	-----	-----	-----	-----
	Alta	Elevada	Mediana	Poca	Sin
Aroma:	-----	-----	-----	-----	-----
	Alta	Elevada	Mediana	Poca	Sin
Cuerpo:	-----	-----	-----	-----	-----
	Alta	Elevada	Mediana	Poca	Sin

**MUESTRA: C**

Acidez:	-----	-----	-----	-----	-----
	Alta	Elevada	Mediana	Poca	Sin
Aroma:	-----	-----	-----	-----	-----
	Alta	Elevada	Mediana	Poca	Sin
Cuerpo:	-----	-----	-----	-----	-----
	Alta	Elevada	Mediana	Poca	Sin

Finalmente pruebe la última **MUESTRA T**, y compare con cual de las Muestras se asemeja

- A
- B
- C
- 

Comentarios:.....  
 .....  
 .....  
 .....

**MUCHAS GRACIAS**

Tabla 6. Resultados de la evaluación sensorial del taceo en acidez del café tostado molido y percolado

JUEZ	TRATAMIENTO 1			TRATAMIENTO 2			TRATAMIENTO 3		
	TEMPERATURA	TIEMPO	ACIDEZ	TEMPERATURA	TIEMPO	ACIDEZ	TEMPERATURA	TIEMPO	ACIDEZ
1	180	5	4	180	7	3	200	5	3
2	180	5	3	180	7	4	200	5	3
3	180	5	3	180	7	3	200	5	4
4	180	5	3	180	7	4	200	5	4
5	180	5	4	180	7	3	200	5	3
6	180	5	3	180	7	4	200	5	3
7	180	5	4	180	7	4	200	5	4
8	180	5	3	180	7	4	200	5	4
9	180	5	4	180	7	3	200	5	4
10	180	5	4	180	7	4	200	5	3
11	180	5	3	180	7	3	200	5	4
12	180	5	4	180	7	4	200	5	3
13	180	5	3	180	7	3	200	5	4
14	180	5	3	180	7	4	200	5	3
15	180	5	3	180	7	3	200	5	4
16	180	5	4	180	7	3	200	5	4
17	180	5	4	180	7	3	200	5	4
18	180	5	4	180	7	4	200	5	4
19	180	5	4	180	7	3	200	5	5
20	180	5	3	180	7	4	200	5	4

Tabla 7. Resultados de la evaluación sensorial del taceo en aroma del café tostado molido y percolado

JUEZ	TRATAMIENTO 1			TRATAMIENTO 2			TRATAMIENTO 3		
	TEMPERATURA	TIEMPO	AROMA	TEMPERATURA	TIEMPO	AROMA	TEMPERATURA	TIEMPO	AROMA
1	180	5	4	180	7	3	200	5	4
2	180	5	3	180	7	4	200	5	4
3	180	5	4	180	7	3	200	5	3
4	180	5	3	180	7	4	200	5	4
5	180	5	3	180	7	3	200	5	3
6	180	5	3	180	7	4	200	5	3
7	180	5	3	180	7	4	200	5	4
8	180	5	4	180	7	3	200	5	3
9	180	5	4	180	7	3	200	5	4
10	180	5	3	180	7	4	200	5	3
11	180	5	4	180	7	4	200	5	3
12	180	5	3	180	7	3	200	5	4
13	180	5	3	180	7	3	200	5	3
14	180	5	3	180	7	3	200	5	4
15	180	5	3	180	7	4	200	5	3
16	180	5	3	180	7	4	200	5	3
17	180	5	4	180	7	3	200	5	3
18	180	5	3	180	7	3	200	5	4
19	180	5	3	180	7	4	200	5	4
20	180	5	3	180	7	3	200	5	4

Tabla 8. Resultados de la evaluación sensorial del taceo en el cuerpo del café tostado molido y percolado

JUEZ	TRATAMIENTO 1			TRATAMIENTO 2			TRATAMIENTO 3		
	TEMPERATURA	TIEMPO	CUERPO	TEMPERATURA	TIEMPO	CUERPO	TEMPERATURA	TIEMPO	CUERPO
1	180	5	3	180	7	3	200	5	4
2	180	5	3	180	7	4	200	5	3
3	180	5	3	180	7	3	200	5	3
4	180	5	2	180	7	4	200	5	4
5	180	5	3	180	7	4	200	5	4
6	180	5	2	180	7	3	200	5	4
7	180	5	3	180	7	3	200	5	3
8	180	5	2	180	7	3	200	5	3
9	180	5	3	180	7	4	200	5	3
10	180	5	3	180	7	3	200	5	4
11	180	5	3	180	7	4	200	5	3
12	180	5	3	180	7	3	200	5	4
13	180	5	2	180	7	3	200	5	3
14	180	5	2	180	7	3	200	5	4
15	180	5	3	180	7	4	200	5	4
16	180	5	2	180	7	3	200	5	3
17	180	5	3	180	7	3	200	5	3
18	180	5	3	180	7	3	200	5	4
19	180	5	3	180	7	3	200	5	4
20	180	5	3	180	7	4	200	5	3

Tabla 9. Análisis de variancia para el taceo de la acidez del café tostado molido y percolado (café preparado)

F DE V	SC	GL	CM	F-Ratio	P-Value
MAIN EFFECTS					
A:JUEZ	3,4	19	0,178947	0,53	0,9292
B:MUESTRA	0,533333	2	0,266667	0,79	0,4604
RESIDUAL	12,8	38	0,336842		
TOTAL	16,7333	59			

Tabla 10. Análisis de variancia para el taceo del aroma del café tostado molido y percolado (café preparado)

F DE V	SC	GL	CM	F-Ratio	P-Value
A:JUEZ	2,58333	19	0,135965	0,45	0,9685
B:MUESTRA	0,433333	2	0,216667	0,71	0,4972
RESIDUAL	11,5667	38	0,304386		
TOTAL	14,583363	59			

Tabla 11. Análisis de variancia para el taceo del cuerpo del café tostado molido y percolado (café preparado)

F DE V	SC	GL	CM	F-Ratio	P-Value
A:JUEZ	4,98333	19	0,262281	1,14	0,3570
B:MUESTRA	7,23333	2	3,61667	15,68	0,0000
RESIDUAL	8,76667	38	0,230702		
TOTAL	0,9833	59			

## ANEXO 10

## DEFECTOS FÍSICOS DEL CAFÉ

El deficiente manejo agronómico (siembra, podas, fertilización, deshierbas y regulación de sombra) y el inapropiado control de los problemas fitosanitarios, impiden la obtención de altos rendimientos por unidad de superficie y afectan la calidad física del café robusta. El incorrecto proceso post-cosecha, que incluye la cosecha de café inmaduro, la no calibración de los equipos y una manipulación inapropiada, contribuyen a elevar la proporción de defectos físicos del café (Becker y Freytag, 1992).

La calidad física del café está determinada por los defectos en el color y forma de los granos; así como, por la presencia de compuestos defectuosos propios del café y componentes extraños. Los principales defectos físicos de los granos son los siguientes: brocado, cristalizado, anormal, fermentado, inmaduro, manchado, mohoso, negro, opaco, partido, pequeño, quebrado, vano y vetado. Además, se consideran defectos a todas las materias extrañas como palos y piedras.

**Grano brocado.-** Grano que presenta evidencia del ataque del insecto conocido como la broca del café.

**Grano cristalizado.-** Grano parcial o totalmente descolorido debido al sobrecalentamiento. Las semillas vidriosas proceden de un secado artificial a temperaturas demasiado elevadas.

**Grano deforme o anormal.-** Grano sano de forma distinta a la plano convexa o normal. Entre los granos anormales se encuentran los llamados caracoles, triángulos y elefantes.

**Grano fermentado o pestilente (stinker).-** Grano que al cortarlo desprende un olor pútrido que contamina la bebida y da una infusión no bebible, produciendo sabores ácidos y picantes.

**Grano inmaduro.-** Es el grano de color ligeramente verde o gris claro. La película plateada que envuelve al grano frecuentemente no se desprende en el trillado. El grano inmaduro es de menor tamaño que el grano normal y con un aspecto arrugado. Este defecto se encuentra cuando el café ha sido cosechado antes de su estado de madurez.

**Grano manchado.-** Grano de tamaño y forma normal pero que muestra manchas o parches de diferentes coloraciones en su superficie.



**Grano mohoso.-** Grano que ha sufrido el ataque de hongos durante el proceso de postcosecha, mostrando una coloración verde intensa en los pliegues cuando existe exceso de humedad.

**Grano negro.-** Grano con coloración negra, en su interior y exterior, que provoca un sabor áspero, picante, desabrido, muy desagradable y generalmente imbebible, debido a causas fisiológicas, ataque de enfermedades o exceso de humedad en el almacenamiento.

**Grano opaco.-** Grano sin su característico color verde grisáceo debido a un defectuoso beneficiado y al envejecimiento.

**Grano partido.-** Grano que tiene una abertura en sentido longitudinal o transversal, en uno o en ambos extremos, como efecto de la trilla de granos húmedos.

**Grano pequeño.-** Grano excesivamente pequeño (abajo de zaranda 13).

**Grano quebrado.-** Es un pedazo del grano de café que tiene sus causas en fallas mecánicas o mal ajuste de la trilladora.

**Grano vano.-** Es el grano de café muy pequeño, de forma rugosa y baja densidad debido a una deficiente nutrición de la planta.

**Grano veteado.-** Grano con vetas blancas en su superficie a causa del rehumedecimiento del café ya secado.

**Palos.-** Es la materia extraña como: fracción de palo, caña o madera, encontrada en la muestra de café verde.

**Palo grande.-** cuando tiene más de 2 centímetros de longitud.

**Palo mediano.-** cuando tiene de 0.5 a 2 centímetros de longitud.

**Palo pequeño.-** la longitud es inferior a 0.5 centímetros.

**Piedras.-** Piedra es la materia extraña como: piedra, terrón o pedazo de concreto, encontrada en la muestra de café verde.

**Piedra grande.-** cuando tiene más de 8 milímetros de diámetro.

**Piedra mediana.-** cuando tiene de 4 a 8 milímetros de diámetro.

**Piedra pequeña.-** el diámetro es inferior a los 4 milímetros.





MINISTERIO DE AGRICULTURA  
INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA  
LABORATORIO DE ANALISIS  
ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
ANEXO SALCEDO



**CERTIFICADO DE ANALISIS**

SOLICITANTE : Elvio Melendez Tohalino.  
DIRECCION :  
INTERESADO : Elvio Melendez Tohalino.  
PROCEDENCIA : Puno.  
PRODUCTO : Café Altura Arabiga.  
CANTIDAD :  
MUESTREO : Interesado.  
TIPO DE ANALISIS : Análisis de Físico Químico.  
N° DE ANALISIS : 01.  
FECHA DE RECEPCIÓN : 29 de Abril del 2008.  
FECHA DE CERTIFICACIÓN : 08 de Mayo del 2008.  
FECHA DE PRODUCCIÓN :  
FECHA DE VENCIMIENTO :

**DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS:**

Determinaciones	Resultados Café Tostado
Humedad %	3,80
Proteína (N x 6.25) %	10,50
Fibra %	4.28
Cenizas %	0.00
Grasa %	14,99
ELN %	66,43
Grasas Saturadas %	0.00
Hidratos de carbono %	27,89
Energia (Kcal/100g)	433,67

**CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS:**

Determinaciones	Resultados
Color	Característico
Olor	Característico
Sabor	Característico
Impurezas microscópicas %	--

**Métodos utilizados en el Laboratorio:**  
NTP 209.264 Alimentos cocidos de reconstitución instantán.

**Conclusiones:**  
La muestra analizada de Café Tostado CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales, así mismo se encuentra dentro de los límites permisibles, es conforme según las Normas Técnicas Peruanas.

**Nota:**  
Ninguno.

**Validez del Certificado:**  
El presente Certificado es válido, si permanece en el papel original. El documento en su papel original tendrá validez por el periodo de noventa (90) días calendario a partir de la fecha de emisión. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso del laboratorio.



Ing° JORGE CANIHUA ROJAS  
Jefe Laboratorio Análisis  
SALCEDO

ILLPA : Carretera Puno - Juliaca , Km. 22 Telf. (051) 62-2779  
PUNO (Sede): Rinconada de Salcedo, Telefax (051) 36-3812 Cel. (051) 62-2760 (051)9329080-9689128  
e-mail : [illpa@fenix.inia.gob.pe](mailto:illpa@fenix.inia.gob.pe) - [jcanihua@hotmail.com](mailto:jcanihua@hotmail.com) - [jcanihua@gmail.com](mailto:jcanihua@gmail.com).





MINISTERIO DE AGRICULTURA  
 INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA-INIA  
 LABORATORIO DE ANALISIS  
 ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO  
 ANEXO SALCEDO



**CERTIFICADO DE ANALISIS**

SOLICITANTE : Elvio Melendez Tohalino.  
 DIRECCION :  
 INTERESADO : Elvio Melendez Tohalino.  
 PROCEDENCIA : Puno.  
 PRODUCTO : Café Altura Arabiga.  
 CANTIDAD :  
 MUESTREO : Interesado.  
 TIPO DE ANALISIS : Análisis de Físico Químico.  
 N° DE ANALISIS : 01.  
 FECHA DE RECEPCIÓN : 29 de Abril del 2008.  
 FECHA DE CERTIFICACIÓN : 08 de Mayo del 2008.  
 FECHA DE PRODUCCIÓN :  
 FECHA DE VENCIMIENTO :

**DETERMINACIONES FISICO QUIMICAS:**

Determinaciones	Resultados Café Sin Tostar
Humedad %	12,20
Proteína (N x 6.25) %	0,00
Fibra %	0,00
Cenizas %	0,00
Grasa %	00,00
ELN %	00,00
Grasas Saturadas %	0,00
Hidratos de carbono %	00,00
Energía (Kcal/100g)	000,00

**CARACTERISTICAS ORGANOLEPTICAS:**

Determinaciones	Resultados
Color	--
Olor	--
Sabor	--
Impurezas microscópicas %	--

**Métodos utilizados en el Laboratorio:**

NTP 209.264 Alimentos cocidos de reconstitución instantán. Humedad 24 h a 60 °.

**Conclusiones:**

La muestra analizada de Café sin Tostar CUMPLE con los requisitos de documentos referenciales, así mismo se encuentra dentro de los límites permisibles, es conforme según las Normas Técnicas Peruanas.

**Nota:**

Ninguno.

**Validez del Certificado:**

El presente Certificado es válido, si permanece en el papel original. El documento en su papel original tiene validez por el periodo de noventa (90) días calendario a partir de la fecha de emisión. (El informe sólo afecta a la muestra sometida a ensayo).



ESTACION EXPERIMENTAL ILLPA - PUNO

Ing° JORGE CANIHUA ROJAS  
 Jefe Laboratorio Análisis  
 S A L C E D O

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier medio sin el permiso del Laboratorio.

ILLPA : Carretera Puno - Juliaca , Km. 22 Telf. (051) 62-2779  
 PUNO (Sede): Rinconada de Salcedo, Telefax (051) 36-3812 Cel. (051) 62-2760 (051)9329080-9689128  
 e-mail : [illpa@fenix.inia.gob.pe](mailto:illpa@fenix.inia.gob.pe) - [jcanihua@hotmail.com](mailto:jcanihua@hotmail.com) - [jcanihua@gmail.com](mailto:jcanihua@gmail.com).









**COOPERATIVA AGRARIA CAFETALERA**  
**"SAN JUAN DEL ORO" LTDA.**

**PRODUCTORES Y EXPORTADORES DE CAFE DE ALTA CALIDAD**

DEPOSITO DE ACOPIO  
San Pedro de  
PUTINA PUNCO

OFICINA PRINCIPAL  
Av. Agricultura 64  
SAN JUAN DEL ORO - SANDIA

DEPOSITO  
Av. Manuel Nuñez Butrón N° 460  
Telefax: 322165 - JULIACA - PUNO

**RECIBO INGRESO**

N° 062771

CTA.: 22102

REGISTRO N°

NACIONAL DEL S/.

Recibí del Señor: Helendez

La cantidad de: Diez Nuevos Soles.

Por concepto de: Venta de

Para Constancia firmo el presente: Juliaca, 25 de del 2008



Pagado Conforme SOCIO

Recibido Conforme GERENTE o CAJERO

L.E. o D.N.I.

HECHO POR	REVISADO POR	V° B°	ASENTADO EL