

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**



**“DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS EN EL JUGO DE LA  
NARANJA VALENCIA (*Citrus sinensis* L.)”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

Bach. LEON MIRANDA, Rolando

**PARA OPTAR EL TITULO DE:**

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**PUNO**

**PERU**

**2012**

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROINDUSTRIAL

“DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS EN EL JUGO DE LA  
NARANJA VALENCIA (*Citrus sinensis L.*)”

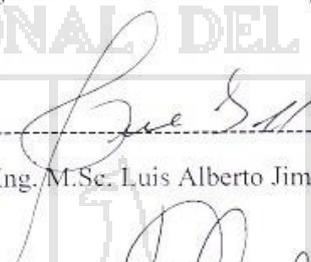
Tesis presentada por:  
Bach. LEON MIRANDA, Rolando

Para optar el título de:  
Ingeniero Agroindustrial

Aprobado por el jurado revisor conformado por:

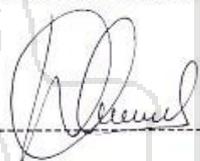
PRESIDENTE

:

  
-----  
Ing. M.Sc. Luis Alberto Jiménez Monroy

PRIMER MIEMBRO

:

  
-----  
Ing. M.Sc. Florentino V. Choquehuanca Cáceres

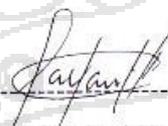
SEGUNDO MIEMBRO

:

-----  
Ing. Roger Segura Peña

DIRECTOR DE TESIS

:

  
-----  
Ing. M.Sc./Pablo Pari Huarcaya

ASESOR DE TESIS

:

  
-----  
Ing. Edgar Gallegos Rojas

**Area : Ingeniería y tecnología**

**Tema: Propiedades físicas y estructurales**

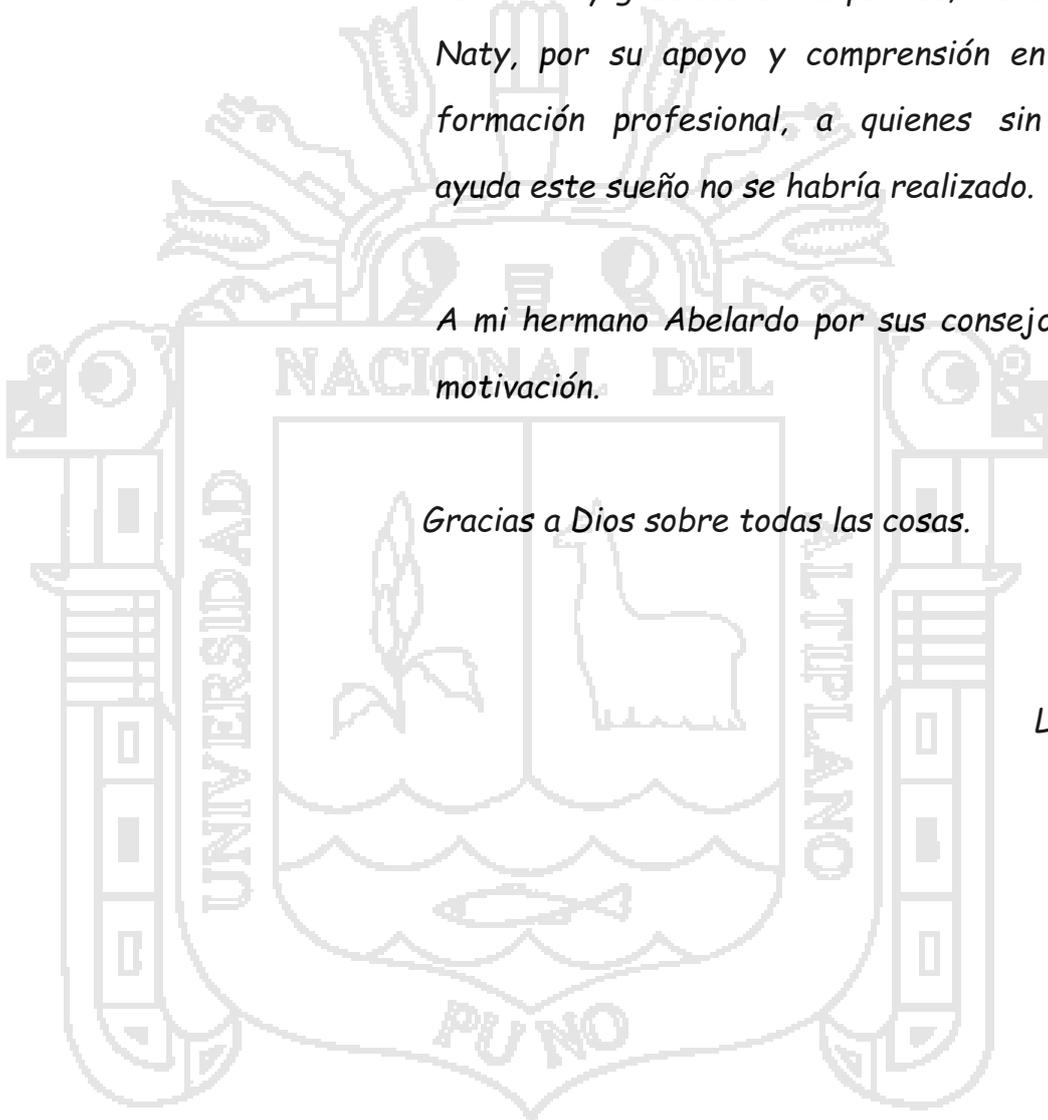
## DEDICATORIA

*Con amor y gratitud a mis padres, Martín y Naty, por su apoyo y comprensión en mi formación profesional, a quienes sin su ayuda este sueño no se habría realizado.*

*A mi hermano Abelardo por sus consejos y motivación.*

*Gracias a Dios sobre todas las cosas.*

*Lmr.*



## AGRADECIMIENTOS

- A la Universidad Nacional de Altiplano de Puno, por haberme brindado una formación profesional en especial a los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias – Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial por los conocimientos y enseñanzas impartidas durante mi formación.
- A mi director de Tesis Ing. M.Sc. Pablo Pari Huarcaya por su inestimable, apoyo científico y orientación en la realización del trabajo de investigación.
- A mi asesor de Tesis Ing. Edgar Gallegos Rojas por su apoyo, consejos y sugerencias en la realización del trabajo de investigación.
- Al Ing. M.Sc. Florentino V. Choquehuanca Cáceres, Ing. M.Sc. Luis Alberto Jiménez Monroy y al Ing. Roger Segura Peña por sus consejos transmitidos a lo largo de nuestra formación profesional y su apoyo en la ejecución del presente trabajo.
- Al Ing. Benito Fernández Calloapaza por su apoyo en la ejecución del presente trabajo.
- A nuestros compañeros y amigos, que por temor de olvidarnos de alguno va nuestro eterno agradecimiento.
- Por último quiero agradecer a mis padres por su preocupación y comprensión para el logro del presente objetivo.

## INDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISION BIBLIOGRAFICA</b>	<b>2</b>
2.1 La naranja	2
2.1.1. Descripción anatómica	2
2.2 Clasificación de los cítricos	3
2.3 Descripción taxonómica de los cítricos	3
2.4 Variedades de naranja dulce	4
2.5 Anatomía y biología de los cítricos	4
2.6 Importancia nutricional	5
2.7 Composición de los cítricos	5
2.8 Principales constituyentes	6
2.9 Propiedades físicas	11
2.9.1 Densidad	11
2.9.2 Viscosidad	13
2.9.3 Calor específico	15
2.9.4 Conductividad térmica	16
2.9.5 Difusividad térmica	18
2.10 Refractometría	19
2.11 Contenido de sólidos solubles	19
2.12 Temperatura	20
2.13 Modelos matemáticos útiles para diferentes industrias	21
2.13.1 Modelamiento	21
2.13.2 Modelamiento matemático	21
2.14 La simulación	24
2.14.1 Los sistemas	24
2.14.2 Programa de computador	25
2.14.3 Visual basic	25

<b>III. MATERIALES Y METODOS</b>	<b>26</b>
3.1 Lugar de ejecución	26
3.2 Materiales y equipos	26
3.2.1 Materia prima	26
3.2.2 Materiales	26
3.2.3 Equipos	27
3.2.4 Reactivos	27
3.3 Metodología	28
3.3.1 Obtención del jugo de naranja	28
3.4 Métodos de análisis para determinar las propiedades físicas del jugo de naranja considerando su composición	29
3.4.1 Determinación físico-químico del jugo de naranja	29
3.4.1.1 Determinación de proteína	29
3.4.1.2 Determinación de la humedad	30
3.4.1.3 Determinación de cenizas	30
3.4.1.4 Determinación de grasa	31
3.4.1.5 Determinación de los carbohidratos	31
3.4.2 Determinación de las propiedades físicas del jugo de naranja	32
3.4.2.1 Determinación de la densidad	32
3.4.2.2 Determinación del calor específico	32
3.4.2.3 Determinación de la conductividad térmica	34
3.4.2.4 Determinación de la difusividad térmica	34
3.4.2.5 Determinación de la viscosidad	34
3.4.2.6 Determinación de la acidez	34
3.4.2.7 Determinación de grados brix	34
3.5 Métodos de análisis para determinar los modelos matemáticos del jugo de naranja	34
3.6 Métodos de análisis para determinar las propiedades físicas del jugo de naranja mediante el visual basic	35
3.7 Análisis estadístico	36
3.7.1 Análisis comparativo para determinar las propiedades físicas del jugo de naranja en función de sus componentes	36
3.7.2 Análisis comparativo para determinar las propiedades físicas del jugo de naranja en las muestras evaluadas	36

3.8 Las variables de estudio	36
3.9 Diseño experimental para determinar las propiedades físicas del jugo de naranja valencia	37
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES</b>	<b>38</b>
4.1 Resultados de los análisis en la determinación de las propiedades físicas del jugo de naranja valencia mediante modelos matemáticos	38
4.1.1 Evaluación de las propiedades físicas del jugo de naranja considerando su composición	38
4.1.2 Evaluación comportamiento de las propiedades físicas del jugo de naranja de las diferentes muestras evaluadas	39
4.2 Resultados de los modelos matemáticos para determinar las propiedades físicas del jugo de naranja	45
4.3 Resultados obtenidos mediante el visual basic para determinar las propiedades físicas en el jugo de naranja	46
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>48</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>49</b>
<b>VII. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>50</b>
<b>VIII. ANEXOS</b>	<b>54</b>
8.1 Certificados	54
8.2 Análisis en la determinación de las propiedades físicas del jugo de naranja	56
8.3 Análisis de los modelos matemáticos obtenidos mediante el statgraphic	66
8.4 Análisis del programa en el visual basic	73
8.5 Equipos	77
8.6 Tablas	80
8.7 Fotos	85

### LISTA DE CUADROS

Cuadro 01. Composición en el jugo de naranja	7
Cuadro 02. Datos de la densidad determinados jugos de frutas	13
Cuadro 03. Datos de viscosidad determinados en jugos a diferentes temperaturas en un viscosímetro de tubo capilar tipo ostwal	14
Cuadro 04. Datos de calor específico determinados en pulpas y jugos de frutas utilizando el método de mezclas indirecto.	16
Cuadro 05. Datos de conductividad y difusividad de algunas frutas	18
Cuadro 06. Propiedades térmicas de jugo de frutas	19
Cuadro 07. Modelos encontrados en la literatura científica para la predicción de productos alimenticios	22
Cuadro 08. Propiedades físicas del jugo de naranja obtenidos mediante modelos matemáticos considerando su composición de las diferentes muestras evaluadas	39
Cuadro 09. Pruebas de rangos múltiples del efecto de sus muestras evaluadas	40
Cuadro 10. Pruebas de rangos múltiples del efecto de sus componentes	41
Cuadro 11. Análisis físicoquímicos del jugo de naranja	56
Cuadro 12. Análisis de las propiedades físicas del jugo de naranja	60
Cuadro 13. Análisis de otras propiedades del jugo de naranja	60
Cuadro 14. Prueba de rangos múltiples en los componentes del jugo de naranja	61
Cuadro 15. Anova en las diferentes muestras evaluadas del jugo de naranja	63
Cuadro 16. Prueba de rangos múltiples de para las propiedades físicas del jugo de naranja	65

### LISTA DE FIGURAS

Figura 01. La naranja	2
Figura 02. Anatomía y ubicación de la célula de jugo en la fruta	4
Figura 03. Velocidad en un flujo estacionario para un fluido newtoniano entre dos placa	13
Figura 04. Diagrama de flujo para la obtención del jugo de naranja	28
Figura 05. Comportamiento de la densidad frente a sus componentes	42

Figura 06. Comportamiento del calor específico frente a sus componentes	42
Figura 07. Comportamiento de la conductividad térmica frente a sus componentes	43
Figura 08. Comportamiento de la difusividad térmica frente a sus componentes	44
Figura 09. Comportamiento de la viscosidad frente a los grados brix	44
Figura 10. Software en el visual basic para determinar las propiedades físicas en el jugo de naranja desarrollado por Carlos Valdivia T. y Rommy Zuñiga P.	46
Figura 11. Software para obtener las propiedades físicas en el jugo de naranja en el excel	47
Figura 12. Software desarrollado en el visual basic para determinar las propiedades físicas en el jugo de naranja	47
Figura 13. Representación en el statgraphics de la densidad con respecto a sus demás factores	71
Figura 14. Representación en el statgraphics del calor específico con respecto a sus demás factores	71
Figura 15. Representación en el statgraphics de la conductividad térmica con respecto a sus demás factores	72
Figura 16. Representación en el statgraphics de la difusividad térmica con respecto a sus demás factores	72

### LISTA DE TABLAS

Tabla 01. Calores específicos de algunos alimentos	80
Tabla 02. Conductividad térmica de algunos alimentos	81
Tabla 03. Compensación de temperatura para refractómetros de mano Zuzi	82
Tabla 04. Propiedades térmicas de jugo de frutas	83
Tabla 05. Propiedades térmicas en algunos alimentos	84

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló entre los años 2011 y 2012, se tomaron muestras para obtener jugo de naranja del centro de investigación y producción de Tambopata (muestra 2), del centro poblado de San Juan del Oro (muestra1), los diferentes análisis de las muestras evaluadas se llevaron a cabo en el laboratorio de Aguas y Suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno. El presente trabajo tiene por objetivos específicos: determinar las propiedades físicas en el jugo de naranja: densidad, viscosidad, calor específico, conductividad térmica y difusividad térmica mediante modelos matemáticos; establecer modelos matemáticos para obtener las propiedades físicas del jugo de naranja; obtener un software para determinar las propiedades físicas del jugo de naranja. En los métodos utilizados para determinar las propiedades físicas en el jugo de naranja se consideraron los modelos matemáticos existentes, se realizó un análisis fisicoquímico, para sus respectivas evaluaciones se utilizó en el statgraphics centurión 16.1.15 (una versión de prueba), con un diseño completamente al azar con comparaciones de las diferentes muestras evaluadas considerando 2 muestras, 5 factores y 3 repeticiones por muestra, con un 95% de nivel de confianza; en la determinación de los modelos matemáticos se consideró el modelo más apropiado para relacionar las propiedades físicas en el jugo de naranja con sus respectivos componentes; En el programa se realizó el análisis en la muestra 1 en el visual basic considerando los modelos matemáticos existentes. Los resultados de las propiedades físicas en el jugo de naranja se obtuvieron mediante modelos matemáticos a una temperatura de 16°C, la densidad se encuentra entre los valores de 1033-1037 Kg/m<sup>3</sup>, en el calor específico entre 3.90-3.93 kJ/kg°K, en la conductividad térmica entre los valores de 0.57-0.58W/m°C, en la difusividad térmica entre los valores de 1.41-1.42 x10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s, en la viscosidad entre 1.7- 2.0 Cp. En los modelos matemáticos obtenidos se encontraron las respectivas correlaciones existentes entre cada una de las propiedades físicas del jugo de naranja y sus componentes, en la densidad vs. humedad, se determinó la densidad del jugo de naranja con un R<sup>2</sup> = 98.5761 %, el calor específico con un R<sup>2</sup> = 99.8457 %, la conductividad térmica con un R<sup>2</sup> = 98.0518 %, la difusividad térmica con un R<sup>2</sup> = 95.2173 %, en la viscosidad con un R<sup>2</sup> = 99.9841; las propiedades físicas en relación a todos sus componentes con un R<sup>2</sup> = 100 %. Los análisis efectuados en el programa obtenido son aproximados al software desarrollado por Negrete, 2003.

## I. INTRODUCCION

Las propiedades físicas en los alimentos son parámetros muy importantes en la industria alimentaria. Se utilizan en diversas operaciones unitarias relacionados con diversos fenómenos como en flujo de fluidos, transmisión de calor y materia, operaciones mecánicas entre sólidos y fluidos y en otros fenómenos importantes en los procesos alimentarios (Aguado *et al*, 1999). Existen diferentes métodos utilizados para la determinación de las propiedades físicas en el jugo de naranja en la industria alimentaria que no están al alcance de cualquier persona que desee conocer estas propiedades, debido al alto costo y al tiempo que se emplea conocer estos parámetros. Los alimentos son sistemas complejos, siendo de origen biológico están sujetos a una gran variabilidad en su composición y estructura (Toledo, 1991). Debido a la necesidad de reducir y simplificar los cálculos en el diseño de procesos y en el ámbito académico se debe disponer de herramientas que ayuden a la realización de estos en un corto tiempo y con un alto grado de confiabilidad.

Por tanto, en el presente trabajo de investigación se determinó las propiedades físicas en el jugo de la naranja valencia (*Citrus sinensis L*), como son la densidad, viscosidad, calor específico, conductividad térmica, difusividad térmica, para tal efecto los objetivos planteados son los siguientes:

- Determinar las propiedades físicas; densidad, viscosidad, calor específico, conductividad térmica y difusividad térmica, del jugo de naranja valencia (*Citrus sinensis L*), mediante modelos matemáticos.
- Establecer modelos matemáticos ajustados en la determinación de las propiedades físicas del jugo de naranja valencia (*Citrus sinensis L*).
- Obtener un software para obtener las propiedades físicas del jugo de naranja valencia (*Citrus sinensis L*).

## II. REVISION BIBLIOGRAFICA

### 2.1 LA NARANJA

#### 2.1.1. DESCRIPCIÓN ANATOMICA

Las naranjas pertenecen a la familia Rutáceas y pertenecen al género *Citrus*. Las especies de este género son arbustos o árboles de color verde, con hojas simples y coriáceas y pecíolos generalmente alados, flores blancas y fragantes, los cuales se forman en brotes que se producen a través de yemas localizadas en las axilas de las hojas. Son cultivos perennes, de crecimiento erecto ramificado que crece hasta 12 m. de alto y 25 cm. de diámetro dependiendo de la especie. Produce de los 3 a 5 años dependiendo de su propagación (semilla poliembrionica o injerto).

La naranja común resiste las heladas de hasta 4°C bajo cero. En contra de lo que piensa mucha gente, la variedad de naranjas Valencia procede de las islas Azores o quizá de otra región de Portugal y no de la región de Valencia en el Levante español, conocida entre otras cosas por su producción de cítricos. Esta variedad no debe confundirse con la variedad española Valencia Temprana, que madura antes y cuyo fruto es más pequeño (Kimball, 2002).



Figura 01. La naranja

## 2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS CÍTRICOS

La palabra cítrico deriva del latín *citrus*, término que a su vez procede de *citra*. Durante mucho tiempo no se supo cuántas especies y variedades de cítricos existían, Las especies de cítricos han estado siempre y continuaran estando sometidas a una evolución natural y dirigida por la mano del hombre, por lo que su clasificación es una labor que nunca estará terminada ni estará nunca exenta de controversia (Kimball, 2002). Cuando se comparan variedades cultivadas en diferentes regiones geográficas, lejanas entre sí, es difícil separar los efectos de las condiciones locales de las diferencias varietales lo que contribuye aún más a la confusión existente. Además la distinción entre híbridos y especies verdaderas continúa siendo en gran medida una cuestión de opinión y de los criterios convencionales comúnmente aceptados. En 1967, Swingle y Reece propusieron dividir el subgénero *Citrus* en 16 especies, clasificación que es la generalmente aceptada por la industria.

## 2.3 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DE LOS CÍTRICOS

Swingle y Reece (1967) clasifica a la naranja de la siguiente manera:

REINO - Vegetal

ORDEN -Geraniales

SUBORDEN - Geraniineae

CLASE - Dicotyledoneae

SUBCLASE - Archicholmydeae

DIVISIÓN - Embryophyta

FAMILIA - Rutaceae

SUBFAMILIA - Aurantiodeae

TRIBU - Citreae

GÉNERO - Citrus

SUB GÉNERO - Citrus

ESPECIES –

*Citrus sinensis* (L.) Osbeck - Naranja dulce

## 2.4 VARIEDADES DE NARANJA DULCE

- Naranja común
  1. Naranja valencia
- Naranja sucrena
- Naranja sanguina o pigmentada
- Naranja navel

## 2.5 ANATOMÍA DE LOS CÍTRICOS

Los cítricos se componen de un exocarpio exterior llamado flavedo, que contiene las sustancias responsables del color exterior de la fruta y glándulas oleíferas con sesquiterpenos que protegen a la fruta de los insectos y microorganismos. Justamente debajo del flavedo existe un mesocarpio blanco esponjoso llamado albedo. Bajo el albedo se encuentran los gajos de fruta, separados por un tejido membranoso. Cada gajo contiene numerosas vesículas de forma alargada que están unidas al corazón o centro de la fruta. Las vesículas contienen muchas células del jugo (Fig. 2), que también son alargadas y están unidas al centro de la fruta, formadas en su mayor parte por grandes vacuolas expandidas de jugo. El núcleo y los demás orgánulos de estas células están situados en la membrana de la vacuola de jugo expandida. Se ha comprobado que el jugo de la vacuola es transparente y no contiene materia opaca o enturbianta (Bennett, 1987).

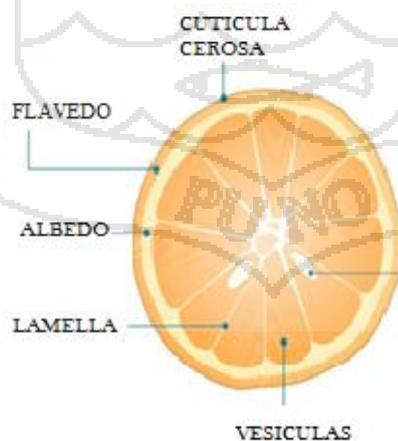


Figura 02: Anatomía y ubicación de la célula de jugo en la fruta.

## 2.6 IMPORTANCIA NUTRICIONAL

La industria agroalimentaria es consciente de la relación dieta-salud. Hoy en día, se asiste a la inundación del mercado con alimentos de “diseño”, donde componentes potencialmente activos (nutrientes y no-nutrientes) han sido añadidos, enriquecidos, hidrolizados, inactivados y/o eliminados, todo a la vez o incluso mezclados en distintas proporciones para hacer algo, no necesariamente un alimento “nuevo”. Sin embargo, no es nuevo el cruce y selección de variedades de frutas para conseguir características nutritivas, estéticas y organolépticas determinadas; y la aplicación de la biotecnología al desarrollo de nuevas variedades no ha hecho más que empezar.

Los beneficios potenciales sobre la salud pueden ser enormes aunque se desconoce los posibles riesgos, ya que el desarrollo y comercialización de estos “nuevos” alimentos va a un ritmo muy rápido y todavía no ha transcurrido tiempo suficiente para evaluar el efecto a medio y largo plazo de estas modificaciones sobre la salud humana (Kimball, 2002).

Los efectos potencialmente beneficiosos del consumo de frutas y hortalizas, demostrados hasta el momento son: actividad antioxidante, modulación de enzimas detoxificantes, estimulación del sistema inmune, disminución de la agregación plaquetaria, alteración del metabolismo del colesterol, modulación de la concentración de hormonas esteroideas y del metabolismo hormonal. Disminución de la presión sanguínea y actividad antiviral y antibacteriana. (Lampe, 1999).

## 2.7 COMPOSICIÓN DE LOS CÍTRICOS

Los jugos de cítricos contienen una enorme diversidad de compuestos químicos, pero los más abundantes son los azúcares o hidratos de carbono. Los hidratos de carbono constituyen más del 80% de la materia soluble de los jugos de cítricos, un 10% de ácido (cítrico) y sus sales, el resto corresponde a compuestos nitrogenados, vitaminas, elementos minerales y otras sustancias solubles en agua. Con propósitos de control de calidad se determina la cantidad de sólidos solubles (Bartholomew y Sinclair, 1951).

Los componentes internos (sólidos solubles, ácidos orgánicos y jugo) y el aspecto de la cáscara (color e integridad) son muy importantes para la calidad de la fruta cítrica. La maduración interna avanza desde la periferia hasta el corazón, con disminución de la clorofila y ácidos y aumento de carotenoides, jugo y sólidos solubles (Salaya y Gonzalo, 2004).

El **sabor y aroma** están dados por numerosos compuestos volátiles. Los flavonoides, glicósidos de flavonona de naranja constituyen un 30% del peso seco de la cáscara en frutos nuevos y disminuyen hasta 3% en los maduros. Estos compuestos confieren sabor amargo a las naranjas y pomelos. La naringerina posee efecto antioxidante neuroprotector. El jugo mejora el metabolismo de lípidos y la capacidad antioxidante en humanos (Salaya y Gonzalo, 2004).

El **color verde** disminuye constantemente, junto con carotenoides, hasta poco antes de la maduración cuando se sintetizan xantofilas esterificadas que dan el color típico de la naranja (Gross, 1981). El **color rojizo** de la cascara de pomelos, mandarinas y naranjas se debe a carotenoides (fitoflueno, carotenos, criptoxantinas, luteína, zeaxantina) ubicados en plastidios (Gross, 1981).

La maduración de la piel es un proceso de envejecimiento, con cambio de estructura de los cloroplastos en cromoplastos y desintegración de las membranas, estos cambios son promovidos por el azúcar, el etileno, la luz y la baja temperatura. (Salaya y Gonzalo, 2004).

## 2.8 PRINCIPALES CONSTITUYENTES

Desde el punto de vista químico, la parte comestible de las frutas está compuesta aparte de agua, por azúcares, ácidos orgánicos, polisacáridos de diferente naturaleza, y por otros compuestos como proteínas, lípidos y vitaminas. Entre los constituyentes mayoritarios en los jugos, se encuentran los carbohidratos, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos. (Bengoechea *et al.*, 1997). Una composición es la que se presenta en el siguiente cuadro.

CUADRO 01: COMPOSICIÓN EN EL JUGO DE NARANJA

Componente (En 100 g.)	1.	2.	3.
Energía(Kcal)	40	33	40,8
Agua (g)	87	90.7	88,4
Carbohidratos (g)	10	8.2	10
Proteína (g)	0,8	0.5	0,6
Lípidos (g)	0,2	0.2	0,1
Ceniza (g)	1,4	0.4	
Ácido Cítrico (%)	1.0	1.0	1.0

Fuente: 1. Salaya y Gonzalo (2004)

2. Collazos (1996)

3. Miller *et al.* (1986).

**Las proteínas** presentan diversas funciones en los seres vivos, como por ejemplo actuar como enzimas o catalizadores biológicos que gobiernan las reacciones bioquímicas que se producen en el organismo, pero, desde el punto de vista nutricional, son además fuentes de energía, como los hidratos de carbono. El organismo elabora, a partir de aminoácidos de las proteínas de la dieta, muchas de las proteínas que componen los diferentes órganos (Kimball, 2002).

Se determina por el método MicroKjeldahl, se basa en la transformación del nitrógeno contenido en la muestra en sulfato de amonio mediante la digestión con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador. El ión amonio obtenido se transforma en medio básico en amoníaco que se destila y valora con una solución de ácido patrón. El procedimiento comprende 3 fases: Digestión, destilación y titulación.

Las proteínas están formadas por largas cadenas poliméricas de aminoácidos unidos por un lazo péptido, estos compuestos son de menor importancia en la calidad de la fruta son de poca concentración, cerca de 1%. El nitrógeno total y proteico disminuye con la maduración, pero aumenta en cantidad por fruto. Sin embargo la prolina ( $C_5H_9NO_2$ ), el

principal aminoácido aumenta en el jugo, como también la arginina en el momento de la conversión de cloroplastos en cromoplastos (Salaya y Gonzalo, 2004).

**Los hidratos de carbono**, principalmente azúcares, cuya estructura química almacena un alto contenido de energía potencial y que representan alrededor del 80 al 90% de los sólidos solubles de los zumos de cítricos (excepto los de limón y lima). Por ello, los zumos de cítricos tienen un alto contenido de calorías, la única característica desfavorable de los productos de cítricos desde el punto de vista nutritivo. Alrededor de la mitad de los hidratos de carbono están en forma de sacarosa, un disacárido que se compone de una molécula de fructosa y una de glucosa.

El resto de los hidratos de carbono está compuesto esencialmente por partes iguales de glucosa y fructosa, los productos naturales de la hidrólisis ácida o enzimática de la sacarosa. El enlace entre la glucosa y la fructosa contiene una cantidad de energía química que se puede liberar mediante la hidrólisis de la sacarosa. Por ello, los zumos de cítricos, en los que la mitad de la sacarosa está hidrolizada, contienen una menor cantidad de energía química potencial y un menor contenido calórico que si toda la sacarosa estuviera intacta (Kimball, 2002).

Las concentraciones de hidratos de carbono complejos o polisacáridos, como la pectina, la hemicelulosa y la celulosa son insignificantes comparadas con las de los azúcares primarios mencionados anteriormente (Salaya y Gonzalo, 2004). La pared celular de la fruta está constituida por un 30% de celulosa, 30% de hemicelulosa, 35% o más de pectinas y 5% de proteínas (Bartholomew y Sinclair, 1951).

El contenido de azúcares es del orden de 2% al 5% de glucosa y fructosa y de 2% a 6% de sacarosa en mandarinas y naranjas, algo menos en pomelos y menor aun en limones, aumentando con la maduración (Ting y Attaway, 1971). Se encuentran en las vacuolas de los sacos de jugo y constituyen 80% de los sólidos solubles. En naranjo valencia hay mayor acumulación de azúcares que sobre el limón rugoso. Los componentes internos (sólidos solubles, ácidos orgánicos y jugo), y el aspecto de la cascara (color e integridad) son muy importantes para la calidad de la fruta cítrica, la maduración interna avanza desde la periferia hasta el corazón, con disminución de clorofila y ácidos y aumento de carotenoides, jugo y sólidos solubles (Salaya y Gonzalo, 2004).

*La ácidos* más importantes en la fruta son el málico (chirimoya, ciruela, durazno, grosella, kiwi manzana, melón, pera, plátano, uva), el cítrico (arandaro, chirimoya, durazno, fresa, fruta cítrica, grosellas, guayaba, kiwi, pera, piña, tomate), el tartárico (uva), el isocítrico(mora) y el ascórbico(Citrus, guayaba, kiwi, mango, papaya). La concentración puede ser muy alta (limón de 70 meq de ácido cítrico) o muy baja (plátano de 4 meq de ácido málico). Se encuentran como ácidos simples o como sales, esterres o glucósidos en el citoplasma o en el mitocondrio, cumpliendo funciones metabólicas o almacenados en la vacuola (Salaya y Gonzalo, 2004).

La concentración de ácidos disminuye durante la maduración de la mayoría de frutas, por ser usados como sustrato de respiración y como estructura de otras sustancias sintetizadas, su disminución es menor en el limón y la guinda. Sin embargo la existe excepciones como en el plátano, cuyo ácido málico aumenta (Seymour y Tucker, 1993).

*El ácido cítrico* es el principal constituyente en el jugo de cítricos, alcanza su máxima concentración cuando el fruto llega al 50% de su tamaño y desciende después (Erickson, 1968), en el limón, cambia poco o aumenta (Bartholomew y Sinclair, 1951), en gran medida la disminución de la acidez se debe a dilución por crecimiento, ya que existe síntesis por fijación del CO<sub>2</sub> en oscuridad (Yen y Koch, 1990).

El ácido cítrico es un ácido orgánico tricarbóxico que está presente en la mayoría de las frutas, sobre todo en cítricos como el limón y la naranja. Su fórmula química es C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>. Es un buen conservante y antioxidante natural que se añade industrialmente como aditivo en el envasado de muchos alimentos como las conservas de vegetales enlatadas.

*El ácido málico* es el segundo en cantidad en frutos y cambia poco durante el desarrollo. El fruto contiene más sólidos solubles en la zona distal que en la basal, la relación sólidos totales/acidez es mayor en la periferia de la pulpa que en el centro (Salaya y Gonzalo, 2004).

*El ácido ascórbico* es 3-5 veces (naranja) y 5-7 veces (pomelo) mayor en la piel que en el jugo (Kefford, 1959), pero es menor en fruta sombreada (Kondo, 2003).

**Las grasas** son lípidos (compuestos naturales solubles en disolventes orgánicos pero no en agua) y generalmente se consideran perjudiciales para la salud. Los jugos de cítricos prácticamente no contienen grasas por lo que generalmente se puede declarar un contenido nulo de grasas en el cuadro de información nutricional, Si existieran cantidades significativas de grasas, su contenido se debería declarar redondeado en gramos por porción (Kimball, 2002).

Durante la maduración, el contenido de lípidos de reserva aumenta en frutos oleaginosos (aceituna, palta y frutos frescos) y semillas (nueces), posteriormente ocurre pérdida por oxidación, los otros lípidos de las membranas disminuyen después de la maduración en todas las frutas (Salaya y Gonzalo, 2004).

Los productos vegetales y animales contienen sustancias denominadas lípidos, los cuales son insolubles en agua, pero solubles en éter, cloroformo, benceno y otros solventes orgánicos. El solvente extrae la grasa de la muestra y lo deposita en un matraz previamente tarado, luego por diferencia de peso se obtiene la cantidad de grasa de la muestra (Matisseisk et al, 1998).

**Los minerales** como el sodio y el potasio. La indicación del contenido de potasio es opcional, excepto cuando se realice algún tipo de declaración relacionada con dicho elemento en la etiqueta. El sodio se considera generalmente perjudicial para la salud mientras que el potasio se considera beneficioso para la salud. Los jugos de cítricos contienen bajas concentraciones de sodio sin embargo, frecuentemente contienen altas concentraciones de potasio. La cantidad de cenizas representa el contenido total de minerales en los alimentos, es una parte del análisis proximal, se obtiene solo el material inorgánico (Matisseisk et al, 1998).

**Las Vitaminas.** Sólo la vitamina C y tiamina están presentes en concentraciones mayores que el 2%. Los zumos de cítricos no contienen cantidades significativas de vitaminas y minerales, excepto los antes mencionados, cuya declaración es obligatoria, y por lo tanto generalmente estos nutrientes no aparecen en el cuadro de información nutricional de los productos de cítricos (Kimball, 2002).

Las vitaminas pueden ser solubles en agua (B1 o tiamina, B2 ó riboflavina, ácido nicotínico, ácido patoténico, B6 o piridoxina, biotina, ácido fólico y la C o ácido ascórbico) o liposolubles (vitamina A, E y K). La fruta es una importante fuente de vitaminas, especialmente de vitaminas C, A y K. La fruta contiene vitamina C (ácido ascórbico), como para suplir la necesidad humana de 50mg diarios, contenido en mg/100g es de 300 (guayaba), 200 (grosella), 80 (papaya), 70 (kiwi), 40 (citrus y fresa), 30 (mango), 20 (piña, plátano, tomate). En la fruta cítrica la concentración es mayor en la cascara que en el jugo (Salaya y Gonzalo, 2004). La vitamina C, favorece la absorción del hierro, la resistencia a los resfriados, el mantenimiento de la corteza adrenal, presenta propiedades antioxidantes, participa en el metabolismo de los aminoácidos triptófano fenilalanina y tirosina, en el crecimiento de los tejidos, en la cicatrización de las heridas y en la síntesis de polisacáridos y del colágeno, en la formación de cartílagos, dentina, huesos y dientes, y en el mantenimiento de los capilares. El organismo humano no puede sintetizar la vitamina C por lo que depende de su aporte alimentario. El contenido de vitamina C de los cítricos disminuye conforme aumenta su grado de madurez. Durante el transcurso de un período de comercialización medio, la disminución del contenido de vitamina C no llega al 10%, lo cual pone de manifiesto la estabilidad de la vitamina C en los zumos de Cítricos. El oxígeno atmosférico es responsable de la mayor parte de las pérdidas de vitamina C que se producen durante el almacenamiento a largo plazo (Kimball, 2002).

## **2.9 PROPIEDADES FÍSICAS**

### **2.9.1 DENSIDAD**

La densidad ( $\delta$ ) es la masa ( $m$ ) de una sustancia o de un alimento contenido en una unidad de volumen ( $V$ ). En el sistema internacional de unidades la densidad se expresa en  $\text{Kg/m}^3$ .

$$\delta = \frac{m}{V} \quad (1)$$

En alimentos líquidos la densidad esta en relación a sus variables microscópicas como el tamaño y grado de aglomeración de las partículas, fuerzas de interacción entre sus moléculas y/o partículas, etc. (Aguado *et al*, 1999).

En el caso de jugo de frutas y hortalizas se espera variaciones en los valores de la densidad, pues existen cambios en su composición, atribuibles a muchos factores como: tipo de fruta, aspectos genéticos, variedad, grado de madurez, posición en el árbol, tamaño, estado nutricional del árbol, prácticas hortícolas y clima (Kefford, 1959). En la mayoría de los casos y en muchas situaciones prácticas se determina una densidad relativa o gravedad específica, relacionando el peso del alimento con el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura (Alvarado y Aguilera, 2001).

La densidad de una sustancia se calcula a partir de la densidad de sus componentes considerando conservación de masa y volumen, si se conocen las densidades y fracciones volumétricas y másicas de los constituyentes la densidad se puede determinar a partir de:

$$\delta_T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n X_i^w / \delta_i} \quad (2)$$

Dónde:  $\delta_i$ = Densidad del componente i-ésimo ( $\text{Kg/m}^3$ ),  $X_i^w$ = Fracción másica del componente i-ésimo, n=Número de componentes (Serpil y Servet, 2009).

Se obtuvieron la dependencia de temperatura de las densidades de los principales componentes del alimento (agua pura, hidratos de carbono (CHO), proteínas, grasa, ceniza y hielo), mediante modelos matemáticos (Choi y Okos, 1986).

La densidad en los líquidos se puede determinar utilizando un picnómetro. Para materiales muy viscosos, tales como la pasta de tomate, pastas de rebosado o miel, se utilizan botellas de boca ancha, la densidad de los líquidos también se puede medir colocando un hidrómetro en un vaso de precipitado lleno de la muestra, también tenemos la balanza de Westphal, el lactodensímetro en caso de leches. (Serpil y Servet, 2009).

CUADRO 2. DATOS DE LA DENSIDAD DETERMINADOS JUGOS DE FRUTAS

Jugo 15°C	°Brix	$\delta$ [kg/m <sup>3</sup> ]
Limón	1,63	1037
Lima	1,54	1027
Mandarina	2,44	1041
Manzana	2,38	1050
Naranja	2,15	1042
Piña	2,41	1054
Pera	2,49	1067

Fuente: Alvarado y Aguilera (2001)

### 2.9.2 VISCOSIDAD

La viscosidad es la resistencia interna que ofrece un fluido ante un esfuerzo de corte, el coeficiente de viscosidad ( $\mu$ ) se define como:

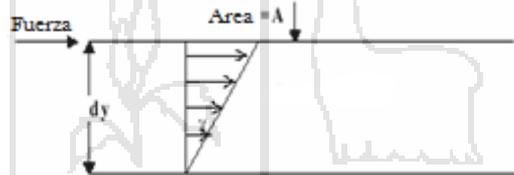


Figura 03. Velocidad en un flujo estacionario para un fluido newtoniano entre dos placa.

$$\mu = \frac{F/A}{dv/dy} \quad (3)$$

Donde la relación fuerza (F) sobre área(A) es el esfuerzo de corte necesario para mantener un flujo laminar tal que dos lugares del fluido, separados por una distancia (y), tengan una velocidad relativa (v). Las unidades en S.I. esta dado en N.s/m<sup>2</sup> =Pa.s ". (Serpil y Servet, 2009).

Las moléculas de un líquido están estrechamente espaciadas con fuerzas cohesivas fuertes entre ellas. La dependencia con la temperatura de la viscosidad también se puede explicar mediante fuerzas cohesivas entre las moléculas (Munson *et al*, 1994). A medida

que la temperatura aumenta, esas fuerzas cohesivas entre las moléculas disminuye y el flujo comienza a ser más libre. Como resultado de ello, las viscosidades de los líquidos disminuyen a medida que la temperatura aumenta. En los líquidos las fuerzas intermoleculares (cohesivas) juegan un papel importante. Las viscosidades de los líquidos muestran poca dependencia con la densidad, la velocidad molecular o el paso libre medio (Aguado *et al*, 1999). Como ud. ya sabe, la reología puede definirse como el ámbito de la ciencia que estudia la deformación y el flujo de materiales causadas por la aplicación de un esfuerzo. El comportamiento reológico de los alimentos es muy complejo y a la vez desempeña un papel muy importante en muchos sistemas de proceso. Las necesidades de conocer la reología en la industria de los alimentos son múltiples. Entre otras se pueden citar: Diseño de tuberías y selección de bombas, Diseño y análisis de equipos de extrusión, Selección y operación de equipos de mezclado, Diseño y operación de cambiadores de calor, Procesos en los que se realizan recubrimientos, Selección de envases. Entre los métodos más importantes se tiene para fluidos newtonianos: el método de flujo a través de un tubo capilar: viscosímetro de Oswald, Cannon and Fenske, caída de bola, etc., el método de cilindros concéntricos: Brookfield, Stormer, etc (Serpil y Servet, 2009).

CUADRO 03. DATOS DE VISCOSIDAD DETERMINADOS EN JUGOS A DIFERENTES TEMPERATURAS EN UN VISCOSÍMETRO DE TUBO CAPILAR TIPO OSTWAL.

Producto (mPa/s)	Brix	Temperatura (°C)								
		10	15	20	25	30	35	40	45	50
Lima ( <i>Citrus aurantifolia</i> )	7,2	1,77	1,54	1,34	1,18	1,04	0,93	0,84	0,76	0,70
Limón ( <i>Citrus limon</i> )	8,2	1,89	1,63	1,39	1,22	1,10	0,94	0,84	0,75	0,68
Mandarina ( <i>Citrus reticulata</i> )	10,6	2,79	2,44	2,03	1,79	1,56	1,30	1,21	0,99	0,84
Manzana ( <i>Malus communis</i> )	12,7	2,74	2,38	1,93	1,63	1,39	1,21	1,05	0,96	0,84,
Naranja ( <i>Citrus sinensis</i> )	8,4	2,56	2,15	1,78	1,55	1,35	1,20	0,99	0,89	0,80,
Naranja (Solanum quitoense)	7,4	2,21	1,89	1,60	1,38	1,18	1,03	0,91	0,81	0,74
Pera ( <i>Pyrus communis</i> )	12,6	2,89	2,49	2,15	1,86	1,62	1,42	1,26	1,13	1,03
Pifia ( <i>Ananas comosus</i> )	12,8	2,93	2,41	2,00	1,68	1,41	1,19	1,01	0,90	0,80

Fuente: Alvarado y Aguilera (2001)

### 2.9.3 CALOR ESPECÍFICO

Es la cantidad de calor que gana o pierde 1g de una sustancia al subir o bajar su temperatura en 1°C y está definida por:

$$C_p = \frac{dQ}{mdT} \quad (4)$$

Donde las unidades en el Sistema Internacional son:  $C_p$ = Calor específico (J/Kg\*°K),  $Q$ =calor (J),  $T$ = temperatura (°K),  $m$ =masa (Kg.).

Según la definición el calor específico es dependiente de la temperatura, sin embargo para cálculos en ingeniería, estas variaciones son mínimas en especial en los estados físicos indicados, y se utiliza un valor promedio del calor específico para un intervalo de temperatura de interés (Serpil y Servet, 2009). Los calores específicos de productos alimentarios dependen mucho de su composición (Aguado et al, 1999).

Choi y Okos (1986), sugirieron la siguiente ecuación para productos que contiene  $n$  componentes:

$$C_p = \sum_{i=1}^n X_i^n C_{pi} \quad (5)$$

Donde:  $X_i^n$ = fracción másica del componente  $i$ -ésimo,  $C_{pi}$ = calor específico del componente  $i$  (J/Kg.°K).

Ha sido estudiada la dependencia con la temperatura del calor específico de los componentes mayoritarios del alimento. El calor específico del agua pura, de los hidratos de carbono (CHO), de la proteína, de la grasa, de las cenizas y del hielo a diferentes temperaturas se puede expresar empíricamente en J/kg°C. El calor específico es necesario para calcular cambios de entalpía a temperatura constante. De nuevo, pueden obtenerse de manuales de referencia para la mayoría de los alimentos. En el caso de alimentos compuestos.

Entre los métodos más importantes se tiene el método de la mezcla, el método de la placa cubierta, el método del calorímetro de comparación, el método del calorímetro diferencial de barrido, etc. (Serpil y Servet, 2009).

CUADRO 04. DATOS DE CALOR ESPECÍFICO DETERMINADOS EN PULPAS Y JUGOS DE FRUTAS UTILIZANDO EL MÉTODO DE MEZCLAS INDIRECTO.

Producto	Calor Específico (J/kg.°K )	
	Pulpa	Jugo
Lima	3.660	3.780
Limon	3.690	3.790
Mandarina	3.670	3.760
Naranja	3.530	3.640
Naranjilla	3.690	3.900
Papaya)	3.380	3470

Fuente: Alvarado y Aguilera (2001)

#### 2.9.4 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

La conductividad térmica de un material mide la capacidad de conducir calor. Matemáticamente es la constante de proporcionalidad de la ley de Fourier para la conducción de calor en estado estacionario.

$$q = -kA \frac{dT}{dz} \quad (6)$$

Donde el gradiente de temperatura,  $dT/dz$ , a lo largo de la longitud  $z$  del material en el cual fluye calor, es igual a la unidad, la conductividad térmica  $k$  puede ser interpretada como la cantidad de flujo de calor ( $q$ ) por unidad de tiempo y de área ( $A$ ), perpendicular a la dirección del flujo térmico. En el S.I. sus unidades son  $W/m^{\circ}K$ . (Serpil y Servet, 2009).

La conductividad térmica aumenta con el contenido en humedad (Sweat y Haugh, 1974). Generalmente la conductividad térmica disminuye con el aumento de la masa molecular, en líquidos la conducción esta en relación con la composición de alimento y tiene lugar como resultado de las colisiones moleculares (Serpil y Servet, 2009), puesto

que el espacio molecular en los líquidos es mucho más grande que en los sólidos. Por consiguiente la conductividad térmica en los fluidos es mucho menor que en los sólidos (Aguado *et al*, 1999).

Se estudió la dependencia con la temperatura de las conductividades térmicas de los principales componentes de los alimentos. Las conductividades térmicas del agua pura, de hidratos de carbono, de proteínas, de grasas, de cenizas y de hielo a diferentes temperaturas se puede expresar empíricamente (Choi y Okos, 1986). Mediante la siguiente ecuación:

$$K = \sum_{i=1}^n X_i^w K_i \quad (7)$$

Donde:  $X_i^w$  = fracción másica del componente  $i$ -ésimo.  $\delta_i$  = densidad del constituyente  $i$ -ésimo.  $K_i$  = conductividad térmica del componente  $i$ -ésimo.  $n$  = número de componentes. (Serpil y Servet, 2009).

La conductividad es una propiedad esencial para determinar la cinética de penetración del calor en cuerpos sólidos, además de otros muchos problemas de transmisión del calor. Esta propiedad se encuentra extensamente tabulada en la bibliografía para muchos alimentos. Sin embargo es conveniente a menudo poder obtenerla de la composición del alimento.

La mayoría de los alimentos tienen un contenido en agua tan elevado que las propiedades del alimento se acercan mucho a las del agua. Para determinar la conductividad térmica se utilizan los métodos en estado estacionario como el método de flujo de calor longitudinal, el método de flujo de calor radial, el método de calor de vaporización, el método de densidad de flujo de calor, el calorímetro diferencial de barrido; los métodos en estado no estacionario como el método de la sonda, el método de alambre caliente, el método de Fitch modificado, el método de la fuente puntual de calor, el método comparativo (Serpil y Servet, 2009).

CUADRO 05. DATOS DE CONDUCTIVIDAD Y DIFUSIVIDAD DE ALGUNAS FRUTAS

Producto 20°C y 65°C	Humedad (%)	k [W/m • K]	( $\alpha \cdot 10^{-7}$ ) [m <sup>2</sup> /s]
Lima	90,1	0,47	1,32
Mandarina	87,3	0,49	1,31
Manzana	86,8	0,40	1,30
Melón	93,7	0,57	1,59
Naranja	85,3	0,57	1,56
Papaya	89,5	0,44	1,33
Pepino	83,4	0,43	1,32
Pina	82,1	0,56	1,61
Pera	85,3	0,50	1,81

Fuente: Alvarado y Aguilera (2001)

### 2.9.5 DIFUSIVIDAD TÉRMICA

Es una propiedad importante para la simulación de procesos en que la transmisión de calor se efectúa en estado transitorio. El significado físico de la difusividad térmica consiste en determinar lo rápido que el calor se propaga o difunde a través de un material. Esta propiedad también es definida como la relación entre tres propiedades diferentes, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{k}{\delta \cdot C_p} \quad (8)$$

Donde  $\alpha$  es la difusividad térmica,  $k$  la conductividad térmica,  $\delta$  es la densidad y  $C_p$  es el calor específico del alimento. Sus unidades en el S.I. está dado por: m<sup>2</sup>/s (Alvarado y Aguilera, 2001).

Entre los métodos más importantes se tiene los métodos indirectos de predicción, y los métodos directos de predicción como el método de la historia de temperaturas, la sonda de conductividad térmica, el método de Dickerson (Serpil y Servet, 2009).

CUADRO 06: PROPIEDADES TÉRMICAS DE JUGO DE FRUTAS

Jugos	Agua (%)	T (°C)	K (W/m°C)	$\alpha$ (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	$\delta$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (kJ/kg°C)
Jugo de Manzana	87.2	15.52	0.553	0.1367	1050.8	3.850
Jugo de Cereza	86.7	15.57	0.553	0.1367	1052.4	3.850
Jugo de Uva	84.7	15.57	0.556	0.1316	1062.0	3.810
Jugo de Naranja	89.0	15.50	0.553	0.1367	1042.8	3.890
Jugo de Frambuesa	84.7	15.57	0.553	0.1367	1046.0	3.890
Jugo de Tomate	95.2	30.02	0.596	0.1444	1018.1	4.052

Fuente: Choi y Okos (1986)

## 2.10 REFRACTOMETRÍA

La refractometría es un método de medida sencillo, que emplea pequeñas cantidades de muestra, por lo tanto que es ampliamente utilizada para medir la concentración de sólidos en jarabes, melazas y productos de frutas como jugos, pulpas, néctares y mermeladas, etc., siempre y cuando no exista en la muestra cantidades apreciables de sólidos insolubles suspendidos. La refracción de la luz es un fenómeno que consiste en la desviación que experimenta un rayo de luz al atravesar oblicuamente la superficie de separación de dos medios transparentes de diferentes densidades (Matisseisk *et al*, 1998)

## 2.11 CONTENIDO DE SÓLIDOS SOLUBLES

El contenido de sólidos solubles se determina con el índice de refracción, este método se emplea mucho en la elaboración de frutas y hortalizas, para determinar la concentración de sacarosa de estos productos. La concentración de sacarosa se expresa en Brix. A una temperatura de 20°C, el grado Brix equivale al porcentaje de la sacarosa contenido en una solución acuosa. Si a 20°C una solución tiene 60 Brix, esto significa que la solución tiene 60% de sacarosa. En productos tales como jugos y mermeladas, la

presencia de otras sustancias sólidas influye en la refracción de la luz. Sin embargo el índice de refracción y el grado Brix son suficientes para determinar el contenido de sólidos solubles en el producto (Matisseisk *et al*, 1998). Cuando se toma el índice de refracción a temperaturas diferentes de 20°C, se utiliza una tabla con lecturas de corrección. Existen tablas especiales para sumar a la lectura y tablas para restarla, de acuerdo con la temperatura a la que se haya tomado el índice de refracción. En lecturas hechas a temperaturas menores de 20°C, se resta la cantidad indicada en la tabla del valor obtenido. En lecturas a temperaturas mayores de 20°C, se sumara la cantidad indicada en la tabla y el valor obtenido. El uso de refractómetros portátiles es igual al anterior, se diferencia del primero que la lectura en este se toma a una temperatura ambiente, por tanto si la temperatura no es a 20°C, se debe corregir la lectura (Kimball, 2002).

La relación de comportamiento de los sólidos solubles a través del tiempo para los cítricos, se observa en general una tendencia hacia el incremento en forma gradual, este incremento es debido a que se produce un aumento en la producción de azúcares hasta llevarlo al completo desarrollo y luego al desdoblamiento de estas para la producción de alcohol ocasionando la senescencia. Los valores promedio de sólidos solubles o brix están entre 8 a 11 brix (Matisseisk *et al*, 1998).

## 2.12 TEMPERATURA

Se puede definir la temperatura como la cuantificación de la actividad molecular de la materia (Yunus, 2009). Existen dos escalas de temperatura comunes en las industrias química y biológica. Ellas son grados Fahrenheit (°F) y Celsius (°C). Es muy frecuente que se necesite obtener valores equivalentes de una escala a la otra. Ambas usan el punto de congelación y el punto de ebullición del agua a 1 atmósfera de presión como patrones. Las temperaturas también se expresan en grados K absolutos (sistema SI) o grados Rankine (°R) en vez de °C o °F (Geankoplis, 1998).

El incremento de la temperatura se traduce en un descenso de la resistencia a fluir que se traduce en un descenso de la viscosidad (aparente o verdadera) o en los parámetros del modelo de flujo. En el caso de fluidos que obedecen a la ley de la potencia, la

variación con la temperatura se produce en el índice de consistencia  $K$ , quedando  $n$ , índice de flujo, inalterado (Aguado *et al*, 1999).

## 2.13 MODELOS MATEMATICOS

### 2.13.1 MODELAMIENTO

Modelado es el proceso de construcción de un modelo. Un modelo es una representación de un objeto, sistema, o idea. Usualmente, su propósito es ayudar explicar, entender o mejorar un sistema (Moncada, 2004). Los modelos son útiles para:

- **El pensamiento:** Al construir un modelo necesariamente se debe ordenar y completar el conocimiento que del sistema real se posee.
- **La comunicación:** Un modelo elimina la ambigüedad del lenguaje para comunicarse con expertos.
- **La predicción:** Un modelo sirve para predecir la conducta del sistema real. El modelo de la teoría de la relatividad predice, sin hacer una simulación, que no es posible superar la velocidad de la luz.

### 2.13.2 Modelamiento matemático

El modelamiento matemático es el proceso de creación de una representación matemática de algún fenómeno en razón de conseguir un mejor entendimiento del fenómeno. Es un proceso en el cual se cambia la observación con el establecimiento simbólico. Durante la construcción de un modelo, el modelista deberá decidir que factores serán relevantes para el fenómeno y cuales podrán dejar de enfatizarse. En la construcción de un modelo matemático, un proceso real es reducido a sus bases esenciales, y el esquema resultante es descrito por un formulismo matemático seleccionado de acuerdo a la complejidad del proceso (Moncada, 2004).

CUADRO 07: MODELOS ENCONTRADOS EN LA LITERATURA CIENTÍFICA PARA LA PREDICCIÓN DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS

PRODUCTO	PROPIEDAD FÍSICA	AUTOR
	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	
Jugo de Frutas y Hortalizas	$\rho = 996 + 4,17(^{\circ}B)$	Alvarado y Aguilera (2001)
Jugo de Frutas	$\rho = \left(\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2}\right)\left(\frac{62.4}{0.206}\right)(16.0185)$	Choi y Okos, 1986
Leche Descremada	$\rho = 1036.6 - 0.146T + 0.0023T^2 - 0.000167T^2$	
Solución de Azúcar	$\rho = 1098 + 4.26s - 0.349(T + 273)$	
Solución de Sal	$\rho = 1118 + 7.46s - 0.411(T + 273)$	
	Viscosidad (mPa.s)	
Jugo de Naranja	$\ln(\mu) = -8.7946 + 0,037(B) + (2.636/T)$	Alvarado y Aguilera (2001)
	Calor Específico (kJ/kg.°C)	
Alimentos General	$C_p = 1,424X_b + 1,549X_t + 1,675X_g + 0,837X_a + 4,187X_h$	Heldman y Singh (1981)
Alimentos General	$C_p = 1.675 + 2.512 X_w$	Choi y Okos, 1986
Alimentos General	$C_p = 2.093 X_f + 1.256 X_s + 4.187 X_w$	
	$C_p = 4.187X_w + (1.373+0.0113T)X_s$	
Leche	$C_p = 4.187X_w + (1.373+0.0113T)X_s$	
Alimentos General	$C_p = 1.424X_c + 1.549X_p + 1.928X_f + 1.547X_c + 0.908X_a$	
Aceite líquido	$C_p = 0.462 + 0.00061T$	



de Algodón		
Aceite líquido de cacahuete)	$C_p = 0.4914 + 0.0004T$	
Pulpa de Fruta	$\ln C_p = 0,445 + 0,009446X_w$	Alvarado y Aguilera (2001)
Producto	Conductividad Térmica [W/m.K]	
	$k = 0,58 X_w + 0,155 X_p + 0,25 X_c + 0,16X_g + 0,135 X_j$	
Alimentos General	$K = 0.26 + 0.34 X_w$	
Alimentos General	$K = 0.056 + 0.567 X_w$	
Jugo de Frutas	$K = 0.140 + 0.42 X_w$	
Frutas y Vegetales	$K = 0.148 + 0.493 X_w$	Choi y Okos, 1986
Pescado	$K = 0.324 + 0.329 X_w$	
Leche	$K = 0.141 + 0.142 X_w$	
Alimentos General	$K = 0.61 X_w + 0.2 X_p + 0.205 X_c + 0.175 X_f + X_a$	
Jugo de Frutas y vegetales	$K = 326.58 + 1.0424T - 0.0337T^2$	
Soluciones de Azúcar	$K = (0.46 + 0.54 X_w)1.73 \times 10^{-3}$	
Zumo de Frutas	$k = 2,44 X_w + 0,26 (1 - X_w)$	Comini <i>et al.</i> (1974)
Zumo de Frutas	$k = 1,745 X_w + (1 - T_c/T) + 0,233$	Miles <i>et al</i> (1983)
	Difusividad Térmica	
Alimentos General	$\alpha = (0,057363X_w + 0,000288(T + 273))10E - 6$	Alvarado y Aguilera (2001)



Alimentos general	$\alpha = (0.057363 X_w + 0.000288 (T+273)) \times 10^{-6}$	Choi y Okos, 1986
Alimentos general	$\alpha = (0.146X_w + 0.1X_f + 0.075X_p + 0.082X_c) \times 10^{-6}$	
Jugo de tomate	$\alpha = \alpha_w X_w + \alpha_s X_s$ $\alpha_w = (0.1363 + 0.0004875T - 0.000001632T^2) \times 10^{-6}$ $\alpha_s = (0.009508 + 0.0002347T + 0.000001761T^2) \times 10^{-6}$	

Fuente: Elaboración propia

Nomenclatura:

n: Índice de refracción del jugo de frutas

s: Solución de azúcar al 30%

X<sub>s</sub>: Fracción peso sólidos

X<sub>w</sub>: Fracción peso de agua

X<sub>f</sub>: Fracción peso de grasa

X<sub>a</sub>: Fracción peso de ceniza

X<sub>c</sub>: Fracción peso de carbohidratos

T: Temperatura, °C

## 2.14 LA SIMULACION

La simulación es un procedimiento que utiliza la experimentación como base para resolver los modelos lógicos matemáticos (Geofrey, 2000). Como primera idea básica se tiene que proponer que para desarrollar un proceso de simulación es necesario formular un modelo que ha de ser simulado (Arbones *et al*, 1991). La tendencia actual es el desarrollo de programas de uso general para la solución (simulación) de los modelos, usando el lenguaje que el diseñador crea conveniente (Moncada, 2004).

### 2.14.1 Sistemas.

Un *sistema* es una sección de la realidad, consiste de *componentes* interrelacionados y es, en un sentido, una entidad cerrada, considerada como independiente (mentalmente) de todo lo que le rodea. El conjunto de actividades que se llevan a cabo dentro de un

sistema se denomina *proceso*. Un sistema puede ser o físico o simbólico, sólo uno de los dos. Las ciencias matemáticas y lógicas trabajan con estos últimos (Moncada, 2004).

### 2.14.2 Programa de computador

Es una secuencia de instrucciones que le indican al computador que realice operaciones específicas para lograr un resultado deseado. Consiste en uno o más módulos o rutinas, cada uno de los cuales puede estar compuesto de varios subprogramas. Un programa es un conjunto de instrucciones que ejecutadas ordenadamente resuelven un problema, es la implementación de un algoritmo (Moncada, 2004).

### 2.14.3 Visual Basic.

Es un lenguaje de programación dirigido por eventos, desarrollado por Alan Cooper para Microsoft. Este lenguaje de programación es un dialecto de BASIC, con importantes agregados. Su primera versión fue presentada en 1991, con la intención de simplificar la programación utilizando un ambiente de desarrollo completamente gráfico que facilitara la creación de interfaces gráficas y, en cierta medida, también la programación misma. Es uno de los lenguajes de programación que más entusiasmo despiertan entre los programadores de PCs, tanto expertos como novatos. En el caso de los programadores expertos por la facilidad con la que desarrollan aplicaciones complejas en poquísimo tiempo (comparado con lo que cuesta programar en *Visual C++*, por ejemplo). En el caso de los programadores novatos por el hecho de ver de lo que son capaces a los pocos minutos de empezar su aprendizaje (Negrete *et al*, 2001).

Se desarrollo un programa computacional que realiza, de forma rápida y sencilla, el cálculo de las propiedades térmicas de los alimentos, basados en las correlaciones obtenidas por Choi y Okos y conteniendo una base de datos con un análisis proximal de una amplia gama de alimentos chilenos. El diseño de esta herramienta ha sido realizado en el lenguaje de programación Visual Basic<sup>TM</sup> 6.0, el cual permite trabajar con un diseño de pantalla simple en donde el usuario es quien maneja los eventos. (Negrete *et al*, 2001).

### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en la ciudad de Puno. Los diferentes análisis se realizaron en el Laboratorio de Evaluación Nutricional de aguas y suelos de la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno. Las propiedades físicas del jugo de naranja, los modelos matemáticos y el software desarrollado se realizaron en una computadora personal hp mini compaq – Juliaca.

#### 3.2 MATERIALES Y EQUIPOS

##### 3.2.1 MATERIA PRIMA

Se empleó jugo de naranja valencia (*Citrus Sinensis L.*), en una cantidad de 93 ml, procedente del Centro de Investigación y Producción Tambopata del distrito de San Juan del Oro de la provincia de Sandía - Puno y del Centro Poblado de San Juan del Oro.

##### 3.2.2 MATERIALES

Tubos de digestión de 300 ml de capacidad.  
Termobloque apropiado para los tubos anteriores.  
Destilador provisto de generador de vapor.  
Bureta con divisiones de 0,01 ml.  
Pipeta graduada de 10 ml, 25ml.  
Crisoles de porcelana de 5-6 cm de diámetro y de 2-3 cm de altura.  
Colador de malla fina de 0.1 cm de diámetro.  
Vasos de 50 ml, 100 ml.  
Erlenmeyer graduado de 250, 100, 50 ml.  
Probetas de 100, 50, 25 ml.  
Termómetro de mercurio.

Utensilios: cuchillos, paletas, colador, embudo

Recipiente de vidrio.

### 3.2.3 EQUIPOS

Extractor de jugos.

Balanza analítica. 0,1 mg de precisión. Mettler Toledo AL 204. Máx. Cap. De 201 g.

Estufa eléctrica con termorregulador. Macx-900. De 0-110°C. 220 v.

Desecador de laboratorio. Pyrex. Capacidad 10 l.

Horno de mufla. Thermolyne. De 0-1200°C.

Equipo de extracción Soxhlet. Fortuna. Capacidad 150ml.

Equipo de destilación Kjeldahl. Pyrex.

Balones de Digestión. Pyrex. 500ml.

Hornilla eléctrica de temperatura regulada. Premier. 1000 w.

Refractómetro Brix. RF10. De 0-32 % Brix.

Refrigeradora. Coldex. -1-10°C. Blanco. 220v.

Computadora hp Compaq mini cq10 811la.

Cámara Digital. Sony Cyber - shot DSC-W310. 120.1 Megapíxel.

Calculadora Casio fx-9860G.

### 3.2.4 REACTIVOS

Eter.

Catalizador FRASIV 2.5 ml.

Solución de valorada de  $H_2SO_4$  a 0.0734N.

Solución de hidróxido sódico al 40%.

Indicador Tashiro.

Solución de ácido bórico al 2%.

Solución valorada de NaOH a 0,1N.

Agua destilada.

### 3.3 METODOLOGÍA

#### 3.3.1 OBTENCION DEL JUGO DE NARANJA

El trabajo comprendió en obtener los parámetros fisicoquímicos del jugo de naranja valencia para luego poder determinar las propiedades físicas de la muestra para tal efecto se obtuvo primeramente el jugo de naranja mediante el siguiente procedimiento.

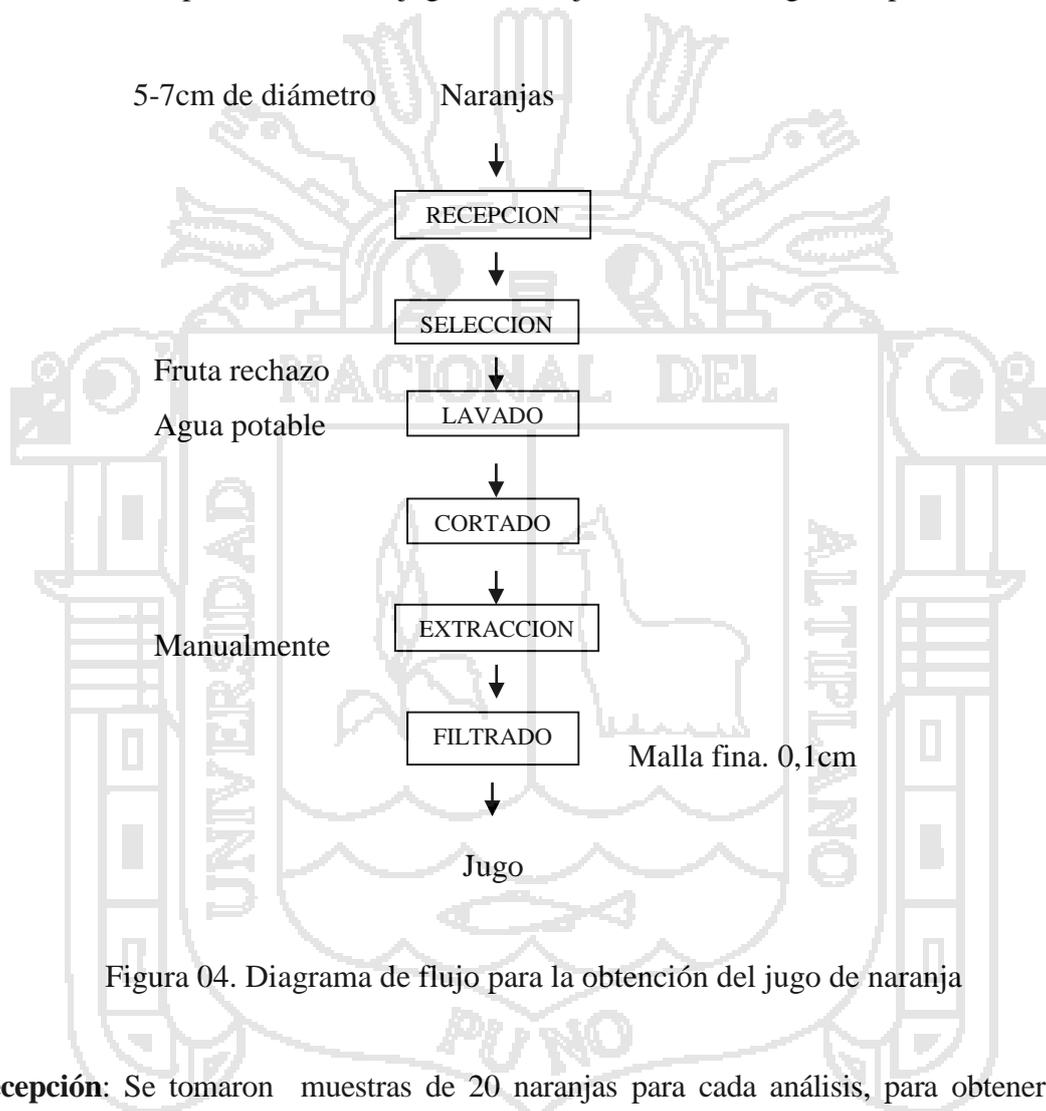


Figura 04. Diagrama de flujo para la obtención del jugo de naranja

**Recepción:** Se tomaron muestras de 20 naranjas para cada análisis, para obtener una cantidad de 500 ml de jugo, con naranjas de 5 cm de diámetro.

**Selección:** Se seleccionó las naranjas maduras. Se desechó las naranjas que presentaron golpes, podredumbres, aquellas que eran de menor tamaño, muy grandes.

**Lavado:** Se realizó con agua potable para eliminar las materias extrañas que pudieron estar adheridas a la superficie de la naranja.

**Cortado:** se efectuó con cuchillo de mesa en 2 mitades, manualmente.

**Extracción del jugo:** Esta operación se realizó en un exprimidor manual de naranjas.

**Filtrado:** El jugo pasó por un colador de malla fina de 0.1 cm de diámetro para separar las semillas y otros sólidos en suspensión.

Finalmente se recibió el jugo en un recipiente de vidrio de 500 ml de capacidad y se llevó a refrigeración a una temperatura de 5-10°C.

### **3.4 METODOS DE ANALISIS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FISICAS DEL JUGO DE NARANJA CONSIDERANDO SU COMPOSICION**

Las propiedades físicas de densidad, viscosidad, calor específico, conductividad térmica, difusividad térmica del jugo de naranja se obtuvieron mediante los modelos matemáticos correspondientes previamente se consideró un análisis fisicoquímico. Para establecer los modelos matemáticos en el jugo de naranja valencia se utilizó un software estadístico.

#### **3.4.1 DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL JUGO DE NARANJA**

El análisis físico-químico que se realizó en el presente trabajo se tuvo como muestra jugo de Naranja Valencia. Los análisis que se efectuaron son la determinación de: Proteína, Carbohidratos, Humedad, Ceniza y Grasa.

##### **3.4.1.1 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNA**

Se determinó por el método MicroKjeldahl de la A.O.A.C. (1996). Se tomó una cantidad de muestra de 1ml de jugo de naranja, se agregó 2.5 ml de catalizador FRASIV, se puso en el balón de digestión a una inclinación de 60°, se calentó hasta ebullición, hasta que quede cristalino. Luego se agregó 15ml de agua destilada y 10ml

de NaOH al 40%. Luego se conectó el equipo de destilación. Se conectó el refrigerante y se recibió el destilado en un vaso erlenmeyer con contenido de 15ml de ácido bórico al 2%, más 2 a 3 gotas de indicador de tashiro tomando un color azul violáceo, la destilación termina cuando hay un viraje de color (Verde). Luego continuó con la titulación con HCl ó H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> al 0.0734 de N. Se anotó el volumen gastado y se procedió a hacer los cálculos con la siguiente fórmula:

**Cálculos:**

$$\%P = \frac{V.N.meqN(100)(6.25)}{W_m} \quad (9)$$

Donde: V = ml de la solución de ácido sulfúrico gastados en la valoración de cada muestra. N = Normalidad de la solución de ácido. W<sub>m</sub> = Peso de la muestra.

#### 3.4.1.2 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD

Se obtuvo por el método de la A.O.A.C. (1996). Se realizó por desecación a estufa a 80°C a presión atmosférica por 24 horas, con una muestra de jugo de naranja de 25ml. La determinación de humedad en almacenamiento se determinó por diferencia de peso entre el peso inicial y el peso final, considerando el peso de la cápsula de porcelana, obteniéndose en forma directa el porcentaje de humedad mediante la fórmula

**Cálculos**

$$\%H = \frac{(C_n - C_s).100}{W_m} \quad (10)$$

Donde: C<sub>n</sub> = Peso de la cápsula + muestra húmeda. C<sub>s</sub> = Peso de la cápsula + muestra seca. W<sub>m</sub> = Peso de la muestra.

#### 3.4.1.3 DETERMINACIÓN DE CENIZAS

Se determinó mediante el método de la A.O.A.C. (1996). Primero se pesan los crisoles limpios. Las cenizas se determinaron calcinando la muestra en una mufla, para quemar todo el material orgánico. Para ello se colocó los crisoles limpios con una muestra de 1-5ml en la mufla a 550°C, entre 2-3 horas hasta lograr un peso constante, se dejó enfriar

a temperatura ambiente para luego ser pesado. La cantidad de ceniza se determinó mediante la siguiente fórmula:

#### Cálculos

$$\%Cnza = \frac{(Pc - V) \cdot 100}{Wm} \quad (11)$$

Donde:  $P_c$  = Peso de cápsula de incineración + ceniza.  $V$  = Peso de cápsula de incineración vacía.  $W_m$  = Peso de la muestra.

#### 3.4.1.4 DETERMINACIÓN DE GRASA

Se determinó por el método Soxhlet del A.O.A.C. (1996), para lo cual se tomó una muestra previamente deshidratada de 1.5g, empaquetada en papel filtro, se llevó al aparato Soxhlet previamente tarado para que se encuentre libre de humedad (anotar peso) y luego se agregó Eter etílico. Se colocó el balón el cual contiene la muestra más el éter a una fuente de calor donde se evapora, se realizó este reflujo durante 3 horas con una velocidad de goteo de 3-4 gotas por segundo, se continuó hasta que no quede éter en el balón, se llevó el balón en estufa a 105°C durante 30 min para completar el secado del residuo, se enfrió en la desecadora y pesó de nuevo el papel filtro con la muestra deshidratada, hasta un peso constante. Los cálculos se realizaron mediante la fórmula:

#### Cálculos

$$\%Grasa = \frac{(G - M) \cdot 100}{Wm} \quad (12)$$

Donde:  $G$  = Peso del papel filtro + muestra con materia grasa.  $M$  = Peso del papel filtro + muestra desgrasada.  $W_o$  = Peso inicial de la muestra en g.

#### 3.4.1.5 DETERMINACIÓN DE LOS CARBOHIDRATOS

Se calculó por diferencia, restando de 100, los porcentajes de proteínas, grasa, fibra, ceniza y humedad como se muestra e la fórmula:

$$\%CHO = 100 - (\%CZA + \%H + \%G + \%P) \quad (13)$$

### 3.4.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL JUGO DE NARANJA

Con los resultados de los análisis físico-químicos obtenidos se determinaron las propiedades físicas del jugo de naranja utilizando los modelos matemáticos de Choi y Okos (1986)

#### 3.4.2.1 DENSIDAD:

Se utilizó la ecuación:

$$\delta_T = \frac{1}{\sum_{i=1}^n X_i^w / \delta_i} \quad (14)$$

Donde:  $\delta_T$  = Densidad total del jugo de naranja. ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).  $\delta_i$  = Densidad del componente i-ésimo.  $X_i^w$  = Fracción másica del componente i-ésimo. n = Número de componentes. (Serpil *et al.* 2009).

Modelos matemáticos de Choi y Okos (1986).

$$\begin{aligned} \delta_{\text{agua}} &= 997,18 + 3,1439 \times 10^{-3}T - 3,7574 \times 10^{-3}T^2 \\ \delta_{\text{CHO}} &= 1.599,1 - 0,31046T \\ \delta_{\text{proteína}} &= 1.330 - 0,5184T \\ \delta_{\text{grasa}} &= 925,59 - 0,41757T \\ \delta_{\text{ceniza}} &= 2.423,8 - 0,28063T \\ \delta_{\text{hielo}} &= 916,89 - 0,1307T \end{aligned} \quad (15)$$

Donde:  $\delta$  = Densidad ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ). T = Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ): temperatura ambiente.

#### 3.4.2.2 CALOR ESPECÍFICO

Se utilizó la ecuación:

$$C_P = \sum_{i=1}^n X_i^n C_{pi} \quad (16)$$

Donde:  $X_i^n$  = fracción másica del componente i-ésimo,  $C_{pi}$  = calor específico del componente i ( $\text{J}/\text{Kg} \cdot ^{\circ}\text{K}$ ). n = número de componentes (Serpil y Servet, 2009).

Modelos matemáticos de Choi y Okos (1986).

$$\begin{aligned}
 C_{\text{Pagua}} &= 4.176,2 - 0,0909T + 5,4731 \times 10^{-3} T^2 && \text{(para 0 a } 150^{\circ}\text{C)} \\
 C_{\text{PCHO}} &= 1.548,8 + 1,9625T - 5,9399 \times 10^{-3} T^2 && \text{(para } -40 \text{ a } 150^{\circ}\text{C)} \\
 C_{\text{Pproteina}} &= 2.008,2 + 1,2089T - 1,3129 \times 10^{-3} T^2 && \text{(para } -40 \text{ a } 150^{\circ}\text{C)} \\
 C_{\text{Pgrasa}} &= 1.984,2 + 1,4373T - 4,8008 \times 10^{-3} T^2 && \text{(para } -40 \text{ a } 150^{\circ}\text{C)} \\
 C_{\text{Pcenizas}} &= 1.092,6 + 1,8896T - 3,6817 \times 10^{-3} T^2 && \text{(para } -40 \text{ a } 150^{\circ}\text{C)} \\
 C_{\text{Phielo}} &= 2.062,3 + 6,0769T && \text{(17)}
 \end{aligned}$$

Donde:  $C_p$  = Calor específico del componente. (J/Kg.°K). T = Temperatura (°C): temperatura ambiente (Serpil y Servet, 2009).

### 3.4.2.3 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

Mediante la siguiente ecuación:

$$K = \sum_{i=1}^n X_i^w K_i \quad (18)$$

Donde:  $X_i^w$  = fracción másica del componente i-ésimo.  $\delta_i$  = densidad del constituyente i-ésimo.  $K_i$  = conductividad térmica del componente i-ésimo. n = número de componentes. (Serpil y Servet, 2009).

Modelos matemáticos de Choi y Okos (1986).

$$\begin{aligned}
 K_{\text{agua}} &= 0,57109 + 1,7625 \times 10^{-3} T - 6,7036 \times 10^{-6} T^2 \\
 K_{\text{CHO}} &= 0,20141 + 1,3874 \times 10^{-3} T - 6,3312 \times 10^{-6} T^2 \\
 K_{\text{proteina}} &= 0,17881 + 1,1958 \times 10^{-3} T - 2,7178 \times 10^{-6} T^2 \\
 K_{\text{grasa}} &= 0,18071 - 2,7604 \times 10^{-3} T - 1,7749 \times 10^{-7} T^2 \\
 K_{\text{cenizas}} &= 0,32961 + 1,4011 \times 10^{-3} T - 2,9069 \times 10^{-6} T^2 \\
 K_{\text{hielo}} &= 2,2196 - 6,2489 \times 10^{-3} T + 1,0154 \times 10^{-4} T^2 && \text{(19)}
 \end{aligned}$$

Donde: K = Conductividades térmica (W/m\*°C). T = Temperatura (°C): temperatura ambiente. (Serpil y Servet, 2009).

### 3.4.2.4 DIFUSIVIDAD TÉRMICA

Esta propiedad también es definida como la relación entre tres propiedades diferentes, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\alpha = \frac{K}{\delta \cdot C_p} \quad (20)$$

Donde:  $\alpha$  = Difusividad térmica ( $m^2/s$ ).  $K$  = Conductividad térmica, ( $W/m \cdot ^\circ C$ ).  $\delta$  = Densidad ( $Kg/m^3$ ).  $C_p$  = Calor específico ( $J/Kg \cdot ^\circ K$ ). (Serpil y Servet, 2009).

### 3.4.2.5 DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD

Esta propiedad física en el caso de la Naranja fue calculada mediante la siguiente ecuación:

$$\ln(\mu) = -8.7946 + 0.037(B) + (2.636/T) \quad (21)$$

Donde:  $\mu$  = viscosidad del jugo ( $mPa \cdot s$ ).  $B$  = grados Brix. ( $^\circ B$ ).  $T$  = Temperatura Absoluta ( $K$ ). (Alvarado y Aguilera, 1996).

### 3.4.2.6 DETERMINACION DE LA ACIDEZ

La metodología es por titulación es de la A.O.A.C., 1990. Se toman 25 ml de muestra, se agrega 2 a 3 gotas de fenolftaleína, se valora la muestra con NaOH 0.1 N hasta que tome un color rosa persistente. El cálculo se realiza mediante la fórmula:

$$\%Acido = \frac{V.N. meqAcido \cdot 100}{v_m} \quad (22)$$

Donde:  $V_m$  = volumen de la muestra (ml),  $V_G$  = volumen gastado (ml), meq = miliequivalente.

### 3.4.2.7 DETERMINACION DE LOS GRADOS BRUX

Se determinará los grados Brix, por el método del refractómetro es necesario, examinar el instrumento con el agua destilada y el índice de refracción debe ser 1.3330 a  $20^\circ C$  y

1.33<sup>a</sup> 28°C. Después de limpiar cuidadosamente el prisma, colocar una gota de la sustancia problema. Debe ser lo suficientemente transparente para que deje pasar la luz y debe tener una temperatura de 20°C si la temperatura es diferente debe hacerse correcciones, de acuerdo a las tablas de los productos específicos. (Matissek y Steiner, 1998).

### **3.5 METODOS DE ANALISIS PARA DETERMINAR LOS MODELOS MATEMATICOS DEL JUGO DE NARANJA**

Para determinar los modelos matemáticos se utilizó el statgraphics con modelos de regresión simple, polinomiales y regresión múltiple según sea el caso. Para ello se tiene el siguiente modelo de regresión:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_i + E_i$$

Donde: Y es la variable dependiente. X es la variable independiente.  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  coeficientes, E es el error (Zea, 2007).

### **3.6 METODOS DE ANALISIS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FISICAS DEL JUGO DE NARANJA MEDIANTE EL VISUAL BASIC**

Debido a la necesidad de reducir y simplificar los cálculos en el diseño de procesos y en el ámbito académico se debe disponer de herramientas que ayuden a la realización de estos en un corto tiempo y con un alto grado de confiabilidad. El presente trabajo aborda el desarrollo de un programa computacional que realiza, de forma rápida y sencilla, el cálculo de las propiedades térmicas de los alimentos, basados en las correlaciones obtenidas por Choi y Okos (1986).

El diseño de esta herramienta ha sido realizado en el lenguaje de programación Visual Studio 2010 (Visual Basic), el cual permite trabajar con un diseño de pantalla simple en donde el usuario es quien maneja los eventos. El programa permite calcular: la densidad del alimento, su calor específico, la conductividad térmica y difusividad térmica.

### 3.7 ANALISIS ESTADISTICO

#### 3.7.1 ANALISIS ESTADISTICO PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FISICAS DEL JUGO DE NARANJA EN FUNCION DE SUS COMPONENTES DE LAS DIFERENTES MUESTRAS EVALUADAS.

Para comparar los resultados de la densidad, calor específico, conductividad térmica, difusividad térmica del jugo de naranja de las diferentes muestras evaluadas con cada uno de sus componentes de humedad, carbohidratos, proteína, ceniza, grasa se realizó diseño completamente al azar (DCA) en 2 muestras, 5 factores y 3 repeticiones por muestra, con su respectivo análisis de varianza (ANVA), una prueba de comparaciones múltiples de Fisher y determinar la diferencia significativa en cada componente evaluado, mediante un software estadístico.

#### 3.7.2 ANALISIS ESTADISTICO PARA DETERMINAR LOS MODELOS MATEMATICOS EN EL JUGO DE NARANJA

Para establecer modelos matemáticos de las propiedades físicas de densidad, calor específico, conductividad térmica, difusividad térmica del jugo de naranja de las diferentes muestras evaluadas se realizó diseño completamente al azar (DCA) con su respectivo análisis de varianza (ANVA), buscando encontrar el mejor modelo apropiado mediante un software estadístico.

### 3.8 LAS VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables de estudio en el presente trabajo de investigación se determinaron mediante un análisis físico-químico, y en las variables de respuesta se utilizó los modelos matemáticos de Choi y Okos (1986), y las fórmulas correspondientes.

**3.8.1 Variables de estudio:** Humedad (H), Proteína (P), Grasa (G), Ceniza (Cza), Carbohidratos (C), Brix (B)

**3.8.2 Variables de respuesta:** Densidad ( $\delta$ ), Viscosidad ( $\mu$ ), Calor específico (Cp), Conductividad térmica (K), Difusividad térmica ( $\alpha$ )

### 3.9 DISEÑO EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL JUGO DE NARANJA VALENCIA

Propiedades Físicas	Muestra	Componentes	Repeticiones
$\delta$	M1,M2	%H	R1,R2,R3
	M1,M2	%P	R1,R2,R3
	M1,M2	%C	R1,R2,R3
	M1,M2	%Cz	R1,R2,R3
	M1,M2	%G	R1,R2,R3
$\eta$	M1,M2	°Bx	R1,R2,R3
$C_p$	M1,M2	%H	R1,R2,R3
	M1,M2	%P	R1,R2,R3
	M1,M2	%C	R1,R2,R3
	M1,M2	%Cz	R1,R2,R3
	M1,M2	%G	R1,R2,R3
K	M1,M2	%H	R1,R2,R3
	M1,M2	%P	R1,R2,R3
	M1,M2	%C	R1,R2,R3
	M1,M2	%Cz	R1,R2,R3
	M1,M2	%G	R1,R2,R3
$\alpha$	M1,M2	K	R1,R2,R3
	M1,M2	$C_p$	R1,R2,R3
	M1,M2	$\delta$	R1,R2,R3
Humedad (H)                      Carbohidratos (C) Proteína (P)                      Grasa (G) Ceniza (Cz)                      Grados Brix (°B) Densidad ( $\delta$ )                      Viscosidad ( $\eta$ ) Calor específico ( $C_p$ )              Conductividad térmica (K) Difusividad térmica ( $\alpha$ ) Temperatura (T) Acidez (%A) M1: Muestra 1( Centro Poblado de San Juan del Oro) M2: Muestra 2(Centro de investigación y Producción de Tambopata) M3: Testigo (Choi <i>et al</i> ;1996)			

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

##### 4.1 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS EN LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL JUGO DE NARANJA VALENCIA MEDIANTE MODELOS MATEMÁTICOS

###### 4.1.1 EVALUACION DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL JUGO DE NARANJA CONSIDERANDO SU COMPOSICION

Debido a las dificultades prácticas y a los aspectos de un muestreo completamente estadístico y a la variación natural en la composición de los productos alimenticios, el análisis del jugo de naranja se efectuó sobre muestras completamente elegidas al azar, tomando una muestra de 93 ml de jugo de naranja para cada análisis fisicoquímico correspondiente. En la muestra analizada del jugo de naranja valencia procedente del Centro poblado de San Juan del Oro (Muestra 1) y en la muestra del Centro de Investigación y Producción de Tambopata (Muestra 2), se realizaron a una temperatura de 16°C y los valores obtenidos son aproximados según Choi y Okos, 1986 (Muestra 3). Ver anexo 8.1. Los resultados de las propiedades físicas del jugo de naranja de densidad, calor específico, conductividad térmica, difusividad térmica de las muestras evaluadas son valores aproximados según Choi y Okos (1986).

En el cuadro 08: se muestran los promedios de las diferentes muestras evaluadas en la muestra 1 con un promedio en humedad de 89.39% y una diferencia de 1.31% con respecto a la muestra 3 según Collazos, 1996 y una diferencia 0.39% según Choi y Okos (1986). En la muestra 2 con un promedio de 90.34% y una diferencia de 0.36% con respecto a la muestra 3. Esto debido a que el agua es el principal constituyente en el jugo de naranja como lo indica Salaya y Gonzalo (2004). En los carbohidratos en la muestra 1 con un promedio de 9.38% y una diferencia de 1.18% con respecto a la muestra 3, y la muestra 2 con un promedio de 8.52% y una diferencia de 0.32% con respecto a la muestra 3, los carbohidratos en el jugo de naranja representan alrededor del 80-90% de los sólidos solubles como lo indica Kimball, 2002. En la proteína en la muestra 1 con un promedio de 0.44% y una diferencia de 0.06% con respecto a la muestra 3, en la muestra 2 con un promedio de 0.48% y una diferencia de 0.02% con respecto a la muestra 3, la proteína representa una concentración alrededor del 1% como

lo indica Salaya, 2004. En la ceniza y la grasa en la muestra 1 y la muestra 2 con promedios que se muestran en el cuadro 08 y unas diferencias menores al 0.1% con respecto a la muestra 3, los jugos contienen bajas concentraciones de ceniza y grasa tal como lo indica Matisseisk *et al*, 1998 y Kimball, 2002. En las propiedades físicas del jugo de naranja como se muestran en el cuadro no existen diferencias significativas a excepción de la densidad de la muestra 1 y la muestra 2 con respecto a la muestra 3 esto debido a muchos factores que no se han considerado en su análisis como la acidez, otros micronutrientes en el jugo, clima, suelo, índice de madurez, otros tal como lo indica (Kefford, 1959). Ver anexo 8.2 para ver los cálculos.

CUADRO 08: PROPIEDADES FISICAS DEL JUGO DE NARANJA OBTENIDOS MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS CONSIDERANDO SU COMPOSICION DE LAS DIFERENTES MUESTRAS EVALUADAS

	HUMEDAD	CARBOHIDRATOS	PROTEINA	CENIZA	GRASA
M1	89.39	9.38	0.44	0.47	0.29
M2	90.34	8.52	0.48	0.41	0.22
M3	90.7	8.2	0.5	0.4	0.2
	DENSIDAD	VISCOSIDAD	CALOR ESPECIFICO	CONDUCTIVIDAD TERMICA	DIFUSIVIDAD TERMICA
M1	1036.743	1.791	3.901	0.5713	1.4124E-07
M2	1033.109	1.979	3.926	0.5738	1.4146E-07
M3	1042.8	2.020	3.890	0.553	1.367E-07

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2 COMPORTAMIENTO DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL JUGO DE NARANJA DE LAS DIFERENTES MUESTRAS EVALUADAS

En el cuadro 09 se muestra la prueba de comparaciones múltiples de Fisher, observándose que existe diferencias estadísticamente significativas en la densidad del jugo de naranja valencia procedente del Centro poblado de San Juan del Oro (Muestra 1) con una media de 1036.74 kg/m<sup>3</sup> y en la muestra del Centro de Investigación y Producción de Tambopata (Muestra 2) con una media de 1033.11 kg/m<sup>3</sup> con respecto

a la muestra 3 según Choi y Okos (1996) de  $1042.8 \text{ kg/m}^3$  esta diferencia es debido que en los modelos matemáticos de Choi y Okos no se considera a la acidez como un componente principal como lo indica ( Bartholomew y Sinclair, 1951). En cuánto a la conductividad térmica, difusividad térmica, calor específico como lo indica (Choi y Okos, 1986), no existe diferencias significativas entre sus medias como se puede observar en el siguiente cuadro. En cuanto a la viscosidad no hay diferencias significativas de la muestra 2 con una media de 1.97933 con respecto a la muestra 3 de 2.02, pero sí de la muestra 1 con una media de 1.79133 con respecto a la muestra 2, esto es debido a la concentración de sólidos como lo indica (Matisseisk *et al*, 1998). En cuanto a la acidez se puede observar que no existe diferencias significativas de la muestra 1 con una media de 1.073 con respecto a la muestra 3 de 1.0 pero si de la muestra 2 con una media de 1.26333 con respecto a la muestra 3, esto debido a otros factores como el índice de madurez, clima, el suelo etc. como lo indica (Kefford, 1959). Para ver si existe o no diferencias estadísticas ver las tablas de Anova y la prueba de rangos múltiples en el anexo 8.2

CUADRO 09. PRUEBAS RANGOS MULTIPLES DEL EFECTO DE SUS MUESTRAS EVALUADAS

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
DIFUSIVIDAD TERMICA3	1	1.367E-7	XX
DIFUSIVIDAD TERMICA 1	3	1.41E-7	X
DIFUSIVIDAD TERMICA2	3	1.41333E-7	X
CONDUCTIVIDAD TERMICA3	1	0.553	XXX
CONDUCTIVIDAD TERMICA1	3	0.5713	XX
CONDUCTIVIDAD TERMICA 2	3	0.573767	XX
ACIDEZ3	1	1.0	XXX
ACIDEZ1	3	1.073	XXX
ACIDEZ2	3	1.26333	XX
VISCOSIDAD1	3	1.79133	X
VISCOSIDAD2	3	1.97933	X
VISCOSIDAD3	1	2.02	XXX
CALOR ESPECIFICO3	1	3.89	XX
CALOR ESPECIFICO1	3	3.901	X
CALOR ESPECIFICO2	3	3.92567	X
DENSIDAD2	3	1033.11	X
DENSIDAD1	3	1036.74	X
DENSIDAD3	1	1042.8	X

En el cuadro 10 se muestra la prueba de comparaciones múltiples de Fisher, observándose que existe diferencias estadísticas en cada uno de sus componentes en la

humedad 1 su media es 89.39%, en la humedad 2 es de 90.34% con respecto a la humedad 3 de 90.7, en los carbohidratos1 con una media de 9.38%, en carbohidratos 2 de 8.52% con respecto a la muestra 3 de 8.2% y así sucesivamente como se muestra en el cuadro. Existe diferencias estadísticas significativas entre las combinaciones de cada uno de estos componentes como por ejemplo en la humedad 1 con 89.39% y en la proteína 1 con 0.44% como lo indica (Bartholomew y Sinclair, 1951) y (Bengoechea *et al.*, 1997). Podemos decir entonces que el factor más predominante en el jugo de naranja es la cantidad de agua seguido de los carbohidratos, proteínas, ceniza y grasa. Ver anexo 8.2 para ver las tablas anova y las pruebas de rangos múltiples.

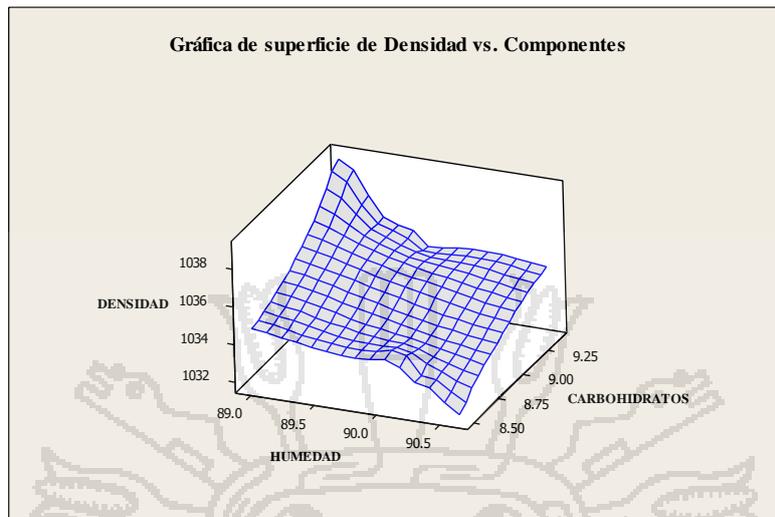
CUADRO 10. PRUEBAS DE RANGOS MÚLTIPLES DEL EFECTO DE SUS COMPONENTES

Método: 95.0 porcentaje LSD

	Casos	Media	Grupos Homogéneos
GRASA3	1	0.2	X
GRASA2	3	0.223333	X
GRASA1	3	0.29	X
CENIZA3	1	0.4	X
CENIZA2	3	0.41	X
PROTEINA1	3	0.443333	X
CENIZA1	3	0.466667	X
PROTEINA2	3	0.48	X
PROTEINA3	1	0.5	X
CARBOHIDRATOS3	1	8.2	X
CARBOHIDRATOS2	3	8.52	X
CARBOHIDRATOS1	3	9.38	X
HUMEDAD1	3	89.3933	X
HUMEDAD2	3	90.3367	X
HUMEDAD3	1	90.7	X

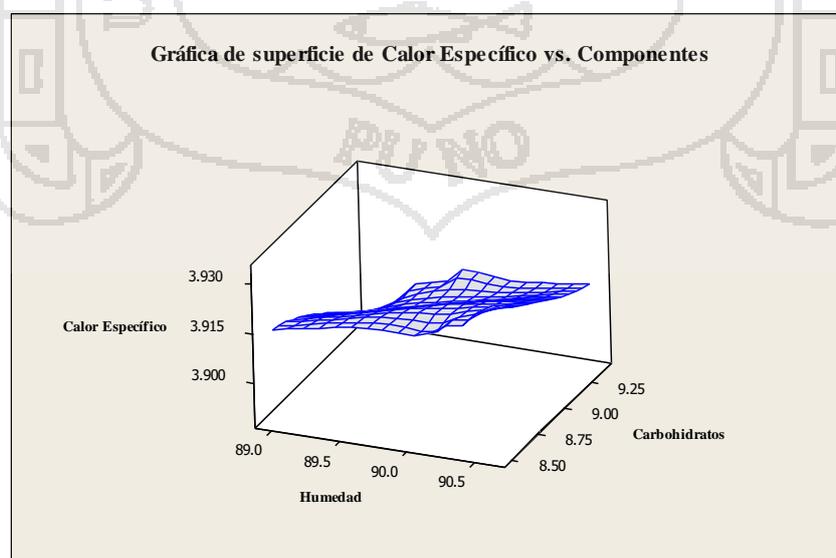
En la figura 05, se presenta el análisis gráfico del comportamiento de la densidad con respecto a sus componentes principales de las dos muestras analizadas. Como se observa la densidad del jugo de naranja en las muestras evaluadas con una media de (1034.93 kg/m<sup>3</sup>) disminuye cuando aumenta la cantidad de agua con una media de (89.865%) y la densidad aumenta cuando aumenta la cantidad de carbohidratos (8.95%), proteína (0.461667%), ceniza (0.438333%), grasa (0.256667%), estas variaciones en la densidad son debido a las variables microscópicas en un líquido según (Aguado *et al.*, 1999). Los principales factores que afectan en el comportamiento de la densidad son la cantidad de agua y los carbohidratos, tal y como lo indica Collazos (1996). Ver anexo 8.2

FIGURA 05. COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD FRENTE A SUS COMPONENTES



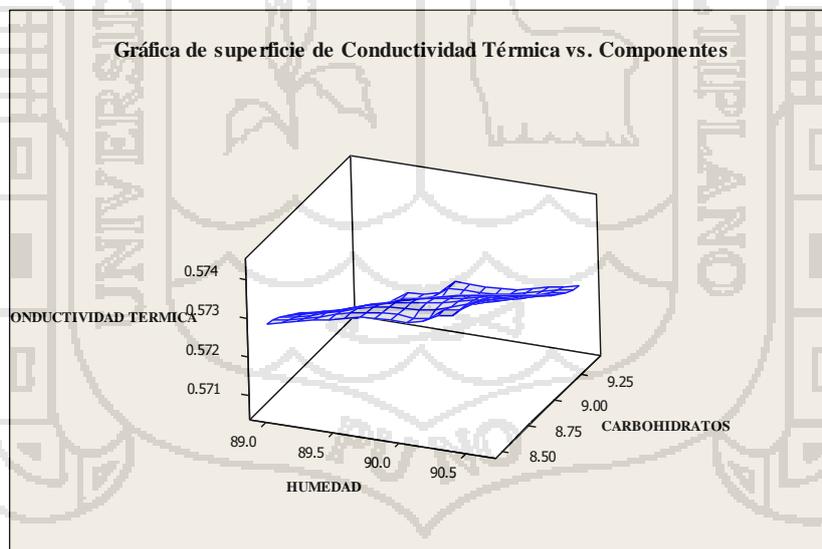
En la figura 06, se presenta el comportamiento del calor específico con respecto a los componentes principales del jugo de naranja en las muestras evaluadas. Se observa que a medida que aumenta el contenido de agua con una media de 89.865% en el jugo de naranja aumenta el calor específico con una media de 3.91333 kJ/kg°C, caso contrario ocurre cuando disminuye el contenido de agua (aumenta el contenido de sus componentes) el calor específico del jugo de naranja disminuye, que obedece a la ley del calor, así como lo indica Aguado et al, 1999. El calor específico esta en relación a su masa según la ecuación 4 como lo indica Serpil y Servet, 2009. Ver anexo 8.2

FIGURA 06. COMPORTAMIENTO DEL CALOR ESPECÍFICO FRENTE A SUS COMPONENTES



En la figura 07, se presenta el comportamiento de la conductividad térmica con respecto a los componentes principales del jugo de naranja en las muestras evaluadas. Se observa que a medida que aumenta el contenido de agua con una media 89.865% en el jugo de naranja aumenta la conductividad térmica con una media 0.572533 W/m°C, caso contrario ocurre cuando aumenta el contenido de sus componentes (disminuye el contenido de agua) disminuye la conductividad térmica del jugo de naranja. La conductividad térmica aumenta con el contenido en humedad según lo indica (Sweat y Haugh, 1974) La conductividad térmica en líquidos esta en relación con sus componentes de alimentos como lo indica (Serpil y Servet, 2009). Generalmente la conductividad térmica disminuye con el aumento de la masa molecular, en líquidos la conducción tiene lugar como resultado de colisiones intermoleculares así como lo indica (Serpil y Servet, 2009). La conductividad térmica también se ve afectado por el cambio de temperatura que obedece a la ley de Fourier según la ecuación 6 (Aguado *et al*, 1999). Ver anexo 8.2

FIGURA 07. COMPORTAMIENTO DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA FRENTE A SUS COMPONENTES

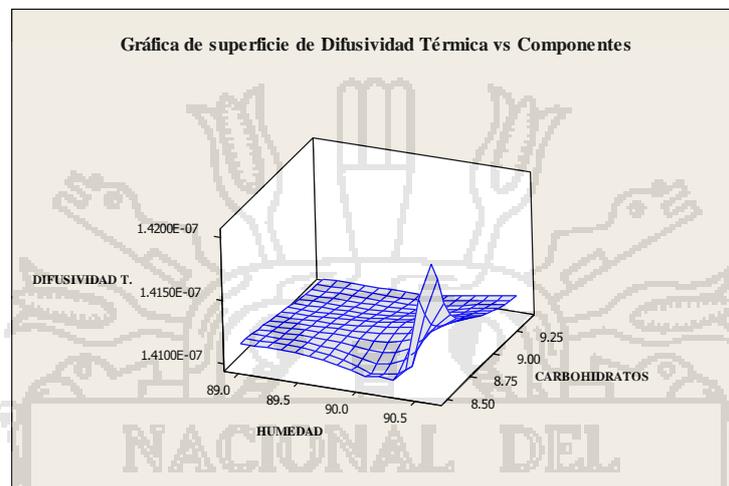


En la figura 08, se presenta el comportamiento de la difusividad térmica con respecto a los componentes principales del jugo de naranja en las muestras evaluadas. Se observa que a medida que aumenta el contenido de agua en el jugo de naranja con una media 89.865% aumenta la difusividad térmica con una media de  $1.41352 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  caso contrario ocurre cuando aumenta el contenido de sus componentes disminuye la

difusividad térmica. La difusividad térmica de un material se ve influenciado con respecto a la humedad, temperatura, composición y porosidad (Serpil y Servet, 2009).

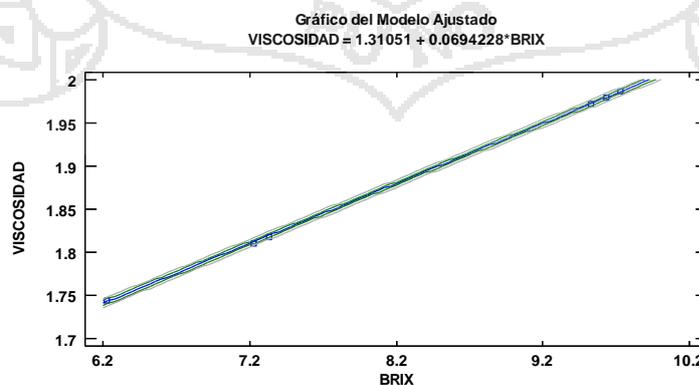
Ver anexo 8.2

FIGURA 08. COMPORTAMIENTO DE LA DIFUSIVIDAD TERMICA FRENTE A SUS COMPONENTES



En la figura 09. En cuanto a la viscosidad en las muestras evaluadas como se observa a medida que aumenta la cantidad de grados brix aumenta la viscosidad en el jugo de naranja, la viscosidad de un fluido está determinado por la complejidad de este como las variables de nivel microscópico, el tamaño y disposición de las macromoléculas, fuerzas de interacción molecular, etc tal como lo indica (Aguado *et al*, 1999). Otro factor importante en la viscosidad es la relación inversa que tiene este con respecto a la temperatura, como lo indica (Alvarado y Aguilera, 2001). Ver anexo 8.2

FIGURA 09: COMPORTAMIENTO DE LA VISCOSIDAD FRENTE A LOS GRADOS BRUX



## 4.2 RESULTADOS DE LOS MODELOS MATEMATICOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FISICAS DEL JUGO DE NARANJA

En los siguientes modelos matemáticos se realizó un análisis de regresión en el statgraphics, considerando como variable dependiente a la densidad ( $\delta$ ), viscosidad ( $\eta$ ), calor específico ( $C_p$ ), la conductividad térmica ( $k$ ) y la difusividad térmica ( $\alpha$ ) y variable independiente a la humedad (H), grados brix ( $^{\circ}B$ ) según corresponda. Se determinó la densidad del jugo de naranja con un  $R^2 = 98.5761$  % y un error estándar del estudio = 0.385965. En el calor específico con un  $R^2 = 99.8457$  % y un error estándar del estudio = 0.000693189. En la conductividad térmica con un  $R^2 = 98.0518$  % y un error estándar del estudio = 0.000261042. En la difusividad térmica con un  $R^2 = 95.2173$  % y un error estándar del estudio = 0.000313664. En la viscosidad con un  $R^2 = 99.9841$  y un Error estándar del estudio= 0.00149478. La humedad es un factor que constituye un 89.865% del jugo de naranja determinante para obtener las propiedades físicas mencionadas según Bartholomew y Sinclair (1951). La viscosidad esta en relación con los grados brix según (Alvarado, 1996). En los modelos matemáticos en función de sus componentes, aplicando modelos lineales generalizados se realizó un análisis de regresión múltiple en el statgraphics en donde las variables dependientes de densidad ( $\delta$ ), calor específico ( $C_p$ ), conductividad térmica ( $k$ ), difusividad térmica ( $\alpha$ ) y las variables independientes de Humedad (H), Carbohidratos (C), Proteína (P), Ceniza (Cz), Grasa (G) se tomaron en consideración. Considerando que ya existen modelos matemáticos en función de sus componentes según se menciona en el Cuadro 04. Alvarado (1996). Para ver los cálculos realizados ver anexo 8.3

$$\delta = 7273.49 - 134.772 * H + 0.72718 * H^2 \quad (R^2 = 98.5761)$$

$$C_p = 1.52931 + 0.0265289 * H \quad (R^2 = 99.8457)$$

$$k = 2.48601 - 0.0450304 * H + 0.000264138 * H^2 \quad (R^2 = 98.0518)$$

$$\alpha = 1.22427 + 0.00210584 * H \quad (R^2 = 95.2173)$$

$$\eta = 1.31051 + 0.0694228 * (^{\circ}B) \quad (R^2 = 99.9841)$$

$$\delta = 2100.05 - 11.0467 * H - 7.10627 * C - 8.47542 * P - 4.71353 * CZ - 10.7855 * G$$

$$C_p = -1.16384 + 0.0529339 * H + 0.0343985 * C + 0.0396364 * P + 0.0232573 * CZ - 0.0626945 * G$$

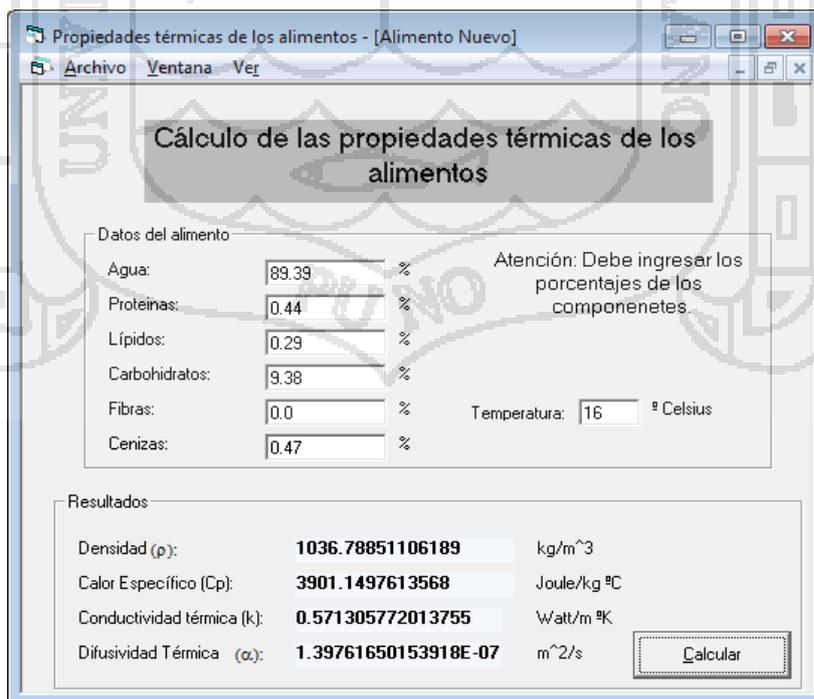
$$k = 0.507131 + 0.000916344 * H - 0.00170756 * C - 0.00171666 * P - 0.000508909 * CZ - 0.00251781 * G$$

$$\alpha = 1.41197 + 0.000272696 * H - 0.00233189 * C - 0.00352191 * P - 0.00036274 * CZ - 0.00118867 * G$$

### 4.3 RESULTADOS OBTENIDOS MEDIANTE EL VISUAL BASIC PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos al evaluar las propiedades físicas en el jugo de naranja, en este caso de la muestra 1 del centro poblado de San Juan del Oro, como se puede observar los resultados obtenidos por el software desarrollado por Carlos Valdivia T. y Rommy Zuñiga en el Visual Basic 6.0 son prácticamente los mismos al software que se presenta en el presente trabajo de investigación en el Visual Basic 2010, con excepción de la difusividad térmica con un error del 0.01% . Ver anexo 8.4

FIGURA 10: SOFTWARE EN EL VISUAL BASIC PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FÍSICAS EN EL JUGO DE NARANJA DESARROLADO POR CARLOS VALDIVIA T. Y ROMMY ZUÑIGA P.



Datos del alimento	
Agua:	89.39 %
Proteínas:	0.44 %
Lípidos:	0.29 %
Carbohidratos:	9.38 %
Fibras:	0.0 %
Cenizas:	0.47 %

Atención: Debe ingresar los porcentajes de los componentes.

Temperatura: 16 ° Celsius

Resultados	
Densidad (ρ):	1036.78851106189 kg/m <sup>3</sup>
Calor Específico (Cp):	3901.1497613568 Joule/kg °C
Conductividad térmica (k):	0.571305772013755 Watt/m °K
Difusividad Térmica (α):	1.39761650153918E-07 m <sup>2</sup> /s

FIGURA 11: SOFTWARE PARA OBTENER LAS PROPIEDADES FISICAS EN EL JUGO DE NARANJA EN EL EXEL

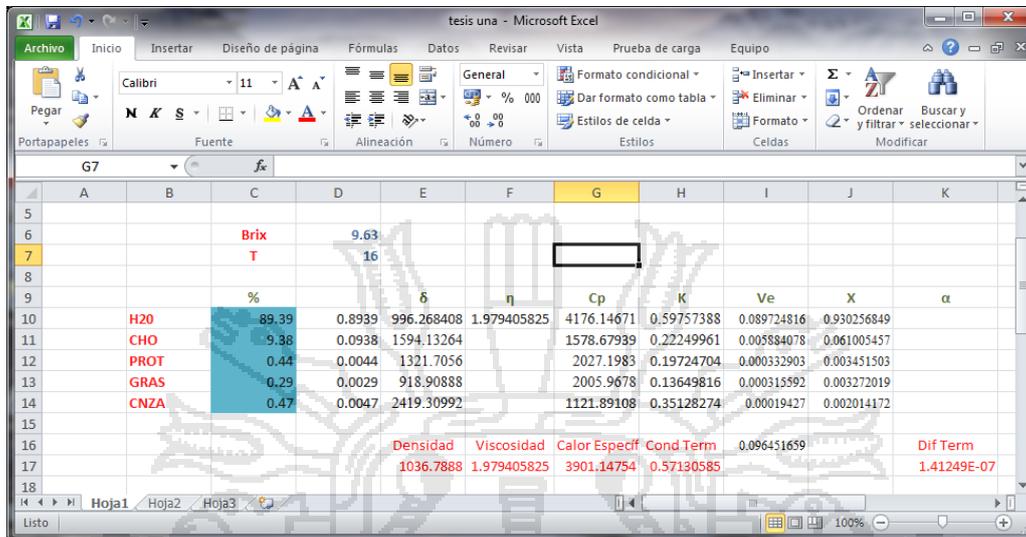
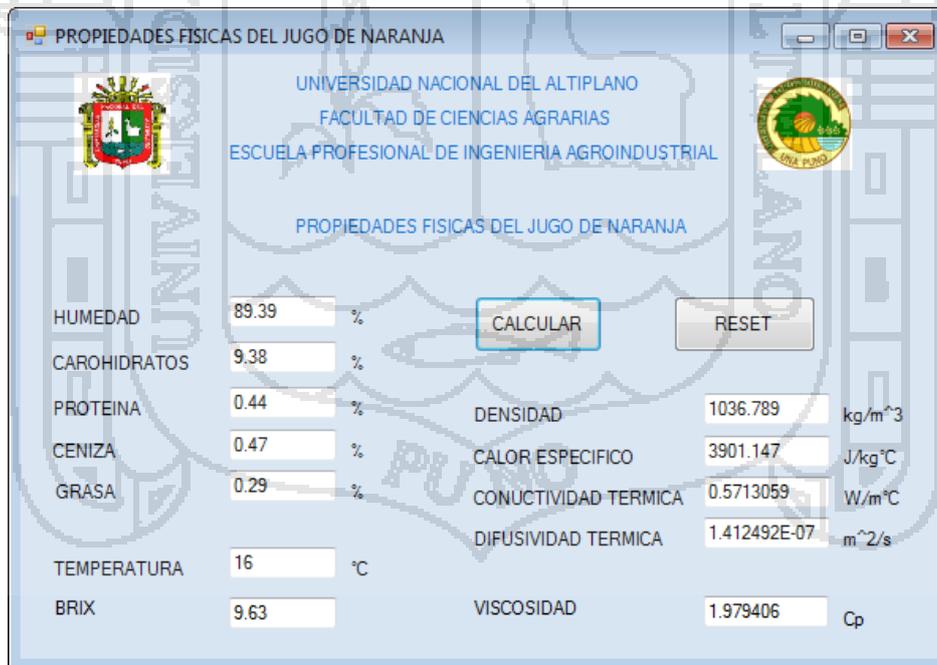


FIGURA 12: SOFTWARE DESARROLLADO EN EL VISUAL BASIC PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FISICAS EN EL JUGO DE NARANJA



Fuente: Elaboración propia

## V. CONCLUSIONES

- Los resultados obtenidos en las propiedades físicas del jugo de naranja valencia de las muestras evaluadas a una temperatura de 16°C en cuanto a la densidad se encuentran entre los valores de 1033-1037 Kg/m<sup>3</sup>, en la viscosidad entre 1.7-2.0 Cp, en el calor específico entre 3.90-3.93 kJ/kg°C, en la conductividad térmica entre los valores de 0.57-0.58W/m°C y en la difusividad térmica entre los valores de 1.41-1.42 x10<sup>-7</sup> m<sup>2</sup>/s.
- En los modelos matemáticos se determinó la densidad del jugo de naranja con un R<sup>2</sup> = 98.5761 %. En el calor específico con un R<sup>2</sup> = 99.8457 %. En la conductividad térmica con un R<sup>2</sup> = 98.0518 %. En la difusividad térmica con un R<sup>2</sup> = 95.2173 %. En la viscosidad con un R<sup>2</sup> = 99.9841. En cuanto a los modelos matemáticos obtenidos de las propiedades físicas del jugo y sus otros componentes con un R<sup>2</sup> = 100 %. Los modelos matemáticos obtenidos en las diferentes muestras evaluadas en el laboratorio para la determinación de las propiedades físicas del jugo de naranja deben ser contrastados con otros modelos matemáticos obtenidos y deben ser considerados otros factores que pueden ser determinantes en la obtención de estos parámetros.
- El software desarrollado en el visual basic para determinar las propiedades físicas del jugo de naranja debe ser considerado para alimentos en general ya que se utilizaron modelos matemáticos generales para su realización. Un software en la nos ayuda a reducir y simplificar los cálculos en corto tiempo.

## VI. RECOMENDACIONES

- Experimentar con equipos de laboratorio para validar los resultados obtenidos en la determinación de las propiedades físicas del jugo de naranja valencia, evaluar en otras frutas y observar si el comportamiento es el mismo.
- Evaluar y considerar otros factores determinantes en la obtención de los modelos matemáticos para mayor precisión de los parámetros a evaluar, establecer nuevos modelos matemáticos en las diferentes áreas de la agroindustria para la simplificación de operaciones.
- Obtener nuevos software en la industria alimentaria que nos permitan, reducir y simplificar los cálculos en el diseño de procesos y en el ámbito académico a fin de disponer de las herramientas necesarias que nos ayuden en la realización en corto tiempo y un alto grado de confiabilidad de los parámetros que deseamos conocer.

## VII. BIBLIOGRAFIA

AGUADO J., CALLES M., BALDOMERO L. Y AURORA S. (1999). Ingeniería de la industria alimentaria. Volumen I. Conceptos Básicos. Editorial Sintesis. España.

ALVARADO, J. y AGUILERA J. (2001). Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos. Editorial Acribia. España.

ARBONES M., (1991). Ingeniería de Sistemas. Editorial Acribia Zaragoza. España.

ASSOCIATION OF OFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS A.O.A.C. (1995). Oficial Methods of Análisis. 16va edición. U.S.A.

BALL, O Y OLSON, C (1957). Sterilization in food technology; theory, practice and calculations. McGraw-Hill Book Co., New York.

BARTHOLOMEW, E.T., Y W.B. SINCLAIR (1951). The lemon Fruit: Its Composition, Physiology and Product. University of California Press, Berkeley, California. EE.UU.

BATCHELOR Y WEBBER. Univ. Calif. Div. Agric. Sci., Berkeley, California. EE:UU.

BENGOECHEA M., SANCHO A., BARTOLOMÉ B., ESTRELLA I., GÓMEZ-CORDOVÉS C. Y HERNÁNDEZ T. (1997). Phenolic composition of industrially manufactured purées and concentrates from peach and apple fruits. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 45: 4071-4075.

BENNETT, R.D. (1987). Paper presented at the meeting of the Citrus products Technical Committee at the U.S. Department of agriculture Fruit and vegetable laboratory. Pasadena. C.A. March.

COLLAZOS C. CARLOS (1996). Tablas peruanas de composición de Alimentos. 7ma Edición . Ministerio de Salud. Lima-Perú.

COMINI, G., BONACINA, C., BARINA, S. (1974). Engineering Properties of Foods. Edición Rao, M. A. e Rizvi, 2a ed., Marcel Dekker.

CHOI, Y.; OKOS, M., (1986). Effect of temperature and composition on the thermal properties of foods In: LE MAGUER, M.,1986. Food Engineering and Process Applications. Elsevier Applied Science Publisher. London.

ERIKSON, L.C. (1968). The general physiology of citrus. In: The citrus industry, vol.II, Wreuther,

GEANKOPLIS J. CHRISTIE (1998). Procesos de transporte y operaciones unitarias. *University of minnesota*. Tercera edición. Compañía editorial continental, s.a. México.

GEOFFREY G., 2000. Simulación de Sistemas. Editorial Diana. Mexico D. F. Mexico.

GROSS J. (1981). Pigment changes in the flavedo of Dancy tangerine (*Citrus Reticulata*) during ripening. *Z. Pflanzenphysiol. Bd. 103: 451-457.*

HELDMAN, D. Y SINGH, R., (1981). Food Process Engineering, segunda edición, Avi Publishing Company, 100-108, 401-403.

HOLMAN P. H. (1998). Transferencia de calor. 8va edición. Edición McGraw-Hill. Universidad Politécnica de Madrid. España.

KEFFORD, J. F. (1959). The chemical constituents of citrus fruits. *Adv Food Res.*, 9:pp285-372.

KIMBALL DAN A. (2002). Procesado de Citricos. Editorial Acribia España.

KONDO, S., H. YHOSHIKWA, Y S. NAGATANI. (2003). Effect of Shading on the levels and activities of antioxidative compounds in the skin of lemon and apples. *J.Jap.Soc. Hort. Sci. 72: 221-223.*

KURATA, ADACHI, Y SHIMOKAWA (1999). Ethylene-enhanced chlorophyll catabolism in Citrus unshiu fruit: effect of inhibitors on the activity of enzymes involved in type I reactions. *J. Jap. Soc. Hort. Sci.* 68:825-829.

LAMPE J. W. (1999). Health effects of vegetables and fruits: assessing the mechanisms of action in human experiments studies. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70: 475-490.

MATISSEISK, R.; SCHNEPEL, F. Y STEINER, G. (1998). *Análisis de los Alimentos. Fundamentos-Metodos-Aplicaciones*. Editorial Acribia. Zaragoza. España.

MILES, C. A., BECK, G. V. AND VEERKAMP, C. H. (1983). Calculation of thermophysical properties of foods. In: *Physical Properties of Foods*. R. Jowitt, F. Escher, B. Hallstrom, H. F. Th. Meffert, W. E. L. Spiess e G. Vos (Ed). Applied Science Publisher, New York.

MILLER J. COLAGIURI S., BRAND J.C. (1986). The diabetic diet: information and implications for the food industry. *Food Technology Australia*, 38: 155-160.

MONCADA, L. (2004). *Modelamiento y Simulación de Procesos*. Universidad Nacional de Trujillo, Perú.

MUNSON, B.R. YOUNG. D. y OKIISHI, T.H. (1994). *Fundamentals of Fluid Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.

NEGRETE C, VALDIVIA C. y ZUÑIGA, R (2003). *Cálculo de Propiedades Térmicas de los Alimentos Chilenos*. Universidad de Santiago de Chile. Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Facultad Tecnológica. Av. Ecuador 3769, Santiago, Chile.

PALTRINIERI G y FIGUEROLA F. (1993). *Procesamiento de Frutas y Hortalizas Mediante Métodos Artesanales y de Pequeña Escala. Manual Técnico*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y El Caribe. Santiago. Pp 98-100.

SALAYA G. Y GONZALO F. (2004). Madurez de la Fruta y Manejo Poscosecha. Segunda Edición. Ediciones Universidad Católica de Chile. Chile.

SERPIL S. Y SERVET GULUM S. (2009). Propiedades físicas de los alimentos. Editorial Acribia. España.

SEYMOUR, G.B., Y G.A. TUCKER. (1993). Biochemistry of fruit ripening, Ch.2, p.53-81. Chapman&Hall. London. Gran Bretaña.

SCENNA NICOLAS J. Y COL (1999). Modelado, Simulación y Optimización de Procesos Químicos.

SINCLAIR, W., Y V. JOLLIFE (1961). Chemical changes in the juice vesicles of granulated Valencia oranges. J. Foods Sci. 26: 276-282.

SWEAT, V.E. Y HAUGH, C. (1974). A thermal conductivity probe for small food materials. Transactions of the ASAE 17: 56-58.

SWINGLE, W. T., AND P.C. REEACE (1967). The botany of citrus and its wild relatives. In the citrus industry. Vol 1, ed. W. Rether et al., 190-422. Berkeley: University of California. Division of Agricultural Sciences.

TOLEDO, ROMEO, (1991). Fundamentals of Food Process Engineering, segunda edición, Chapman & Hall, New York, 132-139.

YEN, C.R., Y K.E. KOCH (1990). Developmental changes in translocation and localization of C-labeled assimilates in grapefruit: light and dark CO<sub>2</sub> fixation by leaves and fruit. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 115: 815-819.

YUNUS A, CENGEL (2009). Termodinámica, 6ta edición. Mc Graw Hill.

ZEA WILFREDO F. (2007). Estadística y Diseños Experimentales. Universidad Nacional del Altiplano. Puno-Peru.

VIII. ANEXOS

8.1 CERTIFICADOS

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO**



**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS**



**RESULTADO DE ANÁLISIS**

---

**ASUNTO: RESULTADO DE ANALISIS DE JUGO DE NARANJA VALENCIA**

---

PROCEDENCIA : C.I.P. Tambopata, Provincia San Juan del Oro  
 ANALISIS : Jugo de Naranja Valencia  
 INTERESADO : Bach. C.P.I.A. Rolando León Miranda  
 MOTIVO : Tesis  
 RECEPCION : 09/09/2011  
 EXPEDICION : 20/09/2011

---

**ANALISIS FISICO – QUÍMICO:**

HUMEDAD	: 90.34%
CENIZA	: 0.41%
PROTEINA	: 0.48%
GRASA	: 0.22%
CARBOHIDRATOS	: 8.52%
ENERGIA	: 37.98 kCal

---

PH	: 3.60
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	: 3.54
BRUX	: 7.2
ACIDEZ	: 1.07%

---

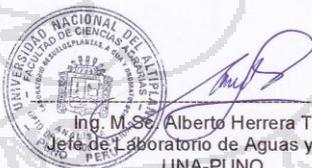
**NOTA:** El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra referida, el cual se ha extraído para su análisis en el laboratorio

---

Puno, C. U. 20 de Setiembre del 2011



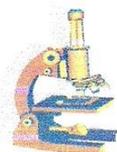
Dr. Benito Fernández Calloapaza  
ANALISTA DE LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUAS, SUELOS  
BIOTECNOLOGIA DE ALIMENTOS Y FERTILIZANTES



Ing. M.Sc. Alberto Herrera Torres  
Jefe de Laboratorio de Aguas y Suelos  
UNA-PUNO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO – PUNO



FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
**LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS**



**RESULTADO DE ANÁLISIS**

ASUNTO: RESULTADO DE ANALISIS DE JUGO DE NARANJA VALENCIA

PROCEDENCIA : Provincia San Juan del Oro  
 ANALISIS : Jugo de Naranja Valencia  
 INTERESADO : Bach. C.P.I.A. Rolando león Miranda  
 MOTIVO : Tesis  
 RECEPCION : 26/03/2012  
 EXPEDICION : 30/03/2012

**ANALISIS FISICO – QUÍMICO:**

HUMEDAD : 89.39%  
 CENIZA : 0.47%  
 PROTEINA : 0.44%  
 GRASA : 0.29%  
 CARBOHIDRATOS : 9.38%  
 ENERGIA : 41.89 kCal

PH : 3.50  
 BRIX : 9.9  
 ACIDEZ : 1.25%

**NOTA:** El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra referida, el cual se ha extraído para su análisis en el Laboratorio

Puno, C. U. 30 de Marzo del 2012



*[Signature]*  
 Lic. Benito Fernández Calloapaza  
 ANALISTA DE LAB. CONTROL DE CALIDAD DE AGUAS, SUELOS  
 Bromatología de Alimentos y Fertilizantes



*[Signature]*  
 Ing. M.Sc. Alberto Herrera Torres  
 Jefe de Laboratorio de Aguas y Suelos  
 UNA-PUNO

## 8.2 ANÁLISIS EN LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL JUGO DE NARANJA VALENCIA MEDIANTE MODELOS MATEMATICOS

### 8.2.1 ANALISIS FISICOQUIMICO DE LAS DIFERENTES MUESTRAS EVALUADAS DEL JUGO DE NARANJA

CUADRO 11. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DEL JUGO DE NARANJA

MUESTRA	HUMEDAD (%)	CARBOHIDRATOS (%)	PROTEINA (%)	CENIZA (%)	GRASA (%)	TOTAL (%)
1	88.98	9.39	0.51	0.79	0.3	99.97
1	89.48	9.38	0.46	0.37	0.29	99.98
1	89.72	9.37	0.36	0.24	0.28	99.97
X	89.39	9.38	0.44	0.47	0.29	99.97
2	90.08	8.55	0.51	0.63	0.23	100
2	90.31	8.52	0.48	0.46	0.23	100
2	90.62	8.49	0.45	0.14	0.21	99.91
X	90.34	8.52	0.48	0.41	0.22	99.97
3	90.7	8.2	0.5	0.4	0.2	100

Fuente: Elaboración propia

Donde:

M1: Muestra 1 (Centro poblado de San Juan del Oro). M2: Muestra 2 (Centro de Investigación de Tambopata). M3: Muestra 3 (Testigo: Choi y Okos, 1996). X: Promedio

### 8.2.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL JUGO DE NARANJA EN FUNCIÓN A SUS COMPONENTES

#### A. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

$$\delta_T = \sum_{i=1}^n X_i^v \delta_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^n X_i^w / \delta_i}$$

$\delta_i$  = densidad del componente i-ésimo.  $X_i^w$  = fracción másica del componente i-ésimo

n = número de componentes.

$$\delta_{\text{agua}} = 997,18 + 3,1439 \times 10^{-3} T - 3,757 \times 10^{-3} T^2$$

$$\delta_{\text{CHO}} = 1599,1 - 0,31046 T$$

$$\delta_{\text{proteína}} = 1330 - 0,5184 T$$

$$\delta_{\text{grasa}} = 925,59 - 0,41757 T$$

$$\delta_{\text{cnza}} = 2423,8 - 0,28063 T \quad (0 - 150^\circ \text{C})$$

Para  $T_1 = 16^\circ\text{C}$

T.1 Composición del jugo naranja  
Valencia M2

T.2 Densidad y fracción másica de los  
componentes

COMPONENTE	COMPOSICIÓN (%)	COMPONENTE	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	$x_i^w$
Agua	89,48	Agua	996,268	0,8948
Proteína	0,46	Proteína	1321,71	4.6E-03
Carbohidrato	9,38	Carbohidrato	1594,13	0,0938
Grasa	0,29	Grasa	918,91	2.9E-03
Cenizas	0,37	Cenizas	2419,31	3.7E-03

$$\text{Luego en (1)} \quad \frac{1}{\sum_{i=1}^n x_i^w / \delta_i} = \frac{1}{\frac{0.8948}{996.268} + \frac{4.6E-03}{1321.71} + \frac{0.0938}{1594.13} + \frac{2.9E-03}{918.91} + \frac{3.7E-03}{2419.31}}$$

$$\delta_T = 1036.009 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

## B. DETERMINACIÓN DE LA VISCOSIDAD

$$\ln(n_j) = 8,7846 + 0,037 (\text{BR}) + (2636/\text{TA})$$

Para  $T_A = 16^\circ \text{C} = 293^\circ\text{k}$  y  $^\circ\text{Brix} = 9,63$

$$\text{Log}_e(n_j) = 8,7946 + 0,037 (\text{BR}) + (2636/\text{TA})$$

$$n_j = e^{[-8,7946+0,037(\text{BR})+(2636/\text{TA})]} \quad \text{reemplazando valores;}$$

$$n_j = e^{[-8,7946+0,037(9,9)+(2636/289)]}$$

$$n_j = 1.9794 \text{ Cp} \quad \text{ó} \quad n_j = 1.9794 \text{ m.Pa.s.}$$

Donde: Br =  $^\circ\text{Brix}$ .  $T_A$  = Temperatura ( $^\circ\text{K}$ ).  $n_j$  = viscosidad (Cp.)

C. DETERMINACIÓN DEL CALOR ESPECÍFICO (Cp)

$$C_p = \sum_{i=1}^n x_i^n C_{p_i}$$

Donde:  $x_i^n$  = fracción másica del componente.  $C_p$  = calor específico del componente

$$C_{p \text{ agua}} = 4176,2 - 0,0909 T + 5,4731 \times 10^{-3} T^2$$

$$C_{p \text{ cho}} = 1548,8 + 1,9625T - 5,939 \times 10^{-3} T^2$$

$$C_{p \text{ prot}} = 2008,2 + 1,2084 T - 1,3129 \times 10^{-3} T^2$$

$$C_{p \text{ grasa}} = 1984,2 + 1,4373 T - 4,8008 \times 10^{-3} T^2$$

$$C_{p \text{ ceniza}} = 1092,6 + 1,8896 T - 3,6817 \times 10^{-3} T^2 \text{ (Entre } 0 - 150^\circ\text{C)}$$

Para  $T_1=16^\circ\text{C}$

T3 Composición del jugo naranja

T4 Calor específico y presión másica

COMPONENTE	COMPOSICIÓN (%)	COMPONENTE	CALOR ESPECIFICO (KJ/(kg°C))	$x_i^w$
Agua	89.48	Agua	4176.15	0,8948
Proteína	0.46	Proteína	1578.68	4.6E-03
Carbohidrato	9.38	Carbohidrato	2027.21	0,0938
Grasa	0.29	Grasa	2005.97	2.9E-03
Cenizas	0.37	Cenizas	1121.89	3.7E-03

Luego  $C_p = \sum_{i=1}^n x_i^m C_{p_i} = C_p = (4176.15)(0.8948) + 1578.68 (4.6E - 03) + \dots$   
 $\dots + 2027.21 (0.0938) + 2005.97 (2.9E - 03) + 1121.89 (3.7E - 03)$

$$C_p = 3904.19 \frac{J}{kg^\circ C}$$

D. DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

$$k = \sum_{i=1}^n k_i x_i^v, \quad x_i^v = \frac{x_i^w / \delta_i}{\sum_{i=1}^n (x_i^w / \delta_i)}$$

Donde:  $x_i^v$  = Fracción volumétrica.  $x_i^w$  = Fracción másica.  $\delta_i$  = densidad del constituyente

Para  $T_1 = 16^\circ\text{C}$

$$K_{\text{agua}} = 0,57109 + 1,7625 \times 10^{-3} T - 6,7036 \times 10^{-6} T^2$$

$$K_{\text{cho}} = 0,20141 + 1,3874 \times 10^{-3} T - 4,3312 \times 10^{-6} T^2$$

$$K_{\text{prot}} = 0,17881 + 1,1958 \times 10^{-3} T - 2,7178 \times 10^{-6} T^2$$

$$K_{\text{grasa}} = 1,18071 + 2,7604 \times 10^{-3} T - 1,7749 \times 10^{-7} T^2$$

$$K_{\text{cnza}} = 0,32961 + 1,4011 \times 10^{-3} T - 2,9096 \times 10^{-6} T^2 \text{ (Entre } 0\text{-}90^\circ\text{C)}$$

T<sub>5</sub> Composición del jugo de naranja

COMPONENTE	PESO (%)	DENSIDAD (kg/m <sup>3</sup> )	VOLUMEN ESPECIFICO (m <sup>3</sup> / kg)	FRACCIÓN VOLUMETRICA $x_i^v$	$k_i$ (w/m°C)
Agua	89.48	996,33	0.0898	0.9306	0.5975
Carbohidrato	9.38	1321,71	$5,8 \times 10^{-3}$	0.0609	0.2224
Proteína	0.46	1594,13	$3,4 \times 10^{-4}$	$3,6 \times 10^{-3}$	0.1972
Grasa	0.29	918,91	$3,1 \times 10^{-5}$	$3,2 \times 10^{-3}$	0.1364
Cenizas	0.37	2419,31	$1,5 \times 10^{-4}$	$1,5 \times 10^{-3}$	0.3527
Total			0.0965		

$$k = \sum_{i=1}^n k_i x_i^v = k = (0.5975) (0.9306) + (0.2224) (0.0609) + (0.1972) (3.6 \times 10^{-3}) + \dots$$

$$\dots + (0.1364)(3.2 \times 10^{-3}) + (0.3527)(1.5 \times 10^{-3}) \quad \mathbf{K = 0,5714 \text{ W/m}^\circ\text{C}}$$

E. DETERMINACIÓN DE LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA

$$\alpha = \frac{K}{\delta C_p} \quad \alpha = \frac{0.5714 \frac{W}{m^\circ C}}{\left(1036.099 \frac{kg}{m^3}\right) \left(3904.19 \frac{J}{kg^\circ C}\right)}$$

$$\alpha = 1.4124 \times 10^{-7} \frac{m^2}{s}$$

CUADRO 12. ANALISIS DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL JUGO DE NARANJA

MUESTRA	DENSIDAD (δ)	CALOR ESPECIFICO (Cp)	CONDUCTIVIDAD TERMICA (k)	DIFUSIVIDAD TERMICA (α)
1	1039.042	3.889	0.5706	1.4119E-07
1	1036.099	3.904	0.5714	1.4124E-07
1	1035.088	3.91	0.5719	1.4129E-07
X	1036.743	3.901	0.5713	1.4124E-07
2	1034.368	3.919	0.5733	1.4143E-07
2	1033.096	3.925	0.5737	1.4146E-07
2	1031.863	3.933	0.5743	1.415E-07
X	1033.109	3.926	0.5738	1.4146E-07
3	1042.8	3.890	0.553	1.367E-07

Fuente: Elaboración propia

F. DETERMINACION DE LA VISCOSIDAD DEL JUGO DE NARANJA VALENCIA EN FUNCION DE LOS GRADOS BRUX

Se realizó primeramente un análisis de grados brix en un refractómetro para las diferentes muestras observadas, además de otros análisis que pueden ser útiles. Para obtener la Viscosidad, se realizó mediante la ecuación mencionada en los métodos de análisis, que considera los grados brix y la temperatura.

CUADRO 13. ANÁLISIS DE OTRAS PROPIEDADES DEL JUGO DE NARANJA

JUGO DE NARANJA VALENCIA	ACIDEZ (%)	°BRUX (16°C)	PH	°BRUX CORREGIDO	VISCOSIDAD (CP)
M2	1.078	7.5		7.23	1.811
	1.073	6.5		6.23	1.745
	1.068	7.6		7.33	1.818
X	1.073	7.2	3.60	6.93	1.791
M1	1.27	10		9.73	1.987
	1.27	9.9		9.63	1.979
	1.25	9.8		9.53	1.972
X	1.25	9.9	3.50	9.63	1.979
M3	1.00				2.020 (16°C)

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 14. PRUEBA DE RANGOS MULTIPLES EN LOS COMPONENTES DEL JUGO DE NARANJA

Método: 95.0 porcentaje LSD

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
HUMEDAD1 - CARBOHIDRATOS1	*	80.0133	0.326935
HUMEDAD1 - PROTEINA1	*	88.95	0.326935
HUMEDAD1 - CENIZA1	*	88.9267	0.326935
HUMEDAD1 - GRASA1	*	89.1033	0.326935
HUMEDAD1 - HUMEDAD2	*	-0.943333	0.326935
HUMEDAD1 - CARBOHIDRATOS2	*	80.8733	0.326935
HUMEDAD1 - PROTEINA2	*	88.9133	0.326935
HUMEDAD1 - CENIZA2	*	88.9833	0.326935
HUMEDAD1 - GRASA2	*	89.17	0.326935
HUMEDAD1 - HUMEDAD3	*	-1.30667	0.462356
HUMEDAD1 - CARBOHIDRATOS3	*	81.1933	0.462356
HUMEDAD1 - PROTEINA3	*	88.8933	0.462356
HUMEDAD1 - CENIZA3	*	88.9933	0.462356
HUMEDAD1 - GRASA3	*	89.1933	0.462356
CARBOHIDRATOS1 - PROTEINA1	*	8.93667	0.326935
CARBOHIDRATOS1 - CENIZA1	*	8.91333	0.326935
CARBOHIDRATOS1 - GRASA1	*	9.09	0.326935
CARBOHIDRATOS1 - HUMEDAD2	*	-80.9567	0.326935
CARBOHIDRATOS1 - CARBOHIDRATOS2	*	0.86	0.326935
CARBOHIDRATOS1 - PROTEINA2	*	8.9	0.326935
CARBOHIDRATOS1 - CENIZA2	*	8.97	0.326935
CARBOHIDRATOS1 - GRASA2	*	9.15667	0.326935
CARBOHIDRATOS1 - HUMEDAD3	*	-81.32	0.462356
CARBOHIDRATOS1 - CARBOHIDRATOS3	*	1.18	0.462356
CARBOHIDRATOS1 - PROTEINA3	*	8.88	0.462356
CARBOHIDRATOS1 - CENIZA3	*	8.98	0.462356
CARBOHIDRATOS1 - GRASA3	*	9.18	0.462356
PROTEINA1 - CENIZA1		-0.0233333	0.326935
PROTEINA1 - GRASA1		0.153333	0.326935
PROTEINA1 - HUMEDAD2	*	-89.8933	0.326935
PROTEINA1 - CARBOHIDRATOS2	*	-8.07667	0.326935
PROTEINA1 - PROTEINA2		-0.0366667	0.326935
PROTEINA1 - CENIZA2		0.0333333	0.326935
PROTEINA1 - GRASA2		0.22	0.326935
PROTEINA1 - HUMEDAD3	*	-90.2567	0.462356
PROTEINA1 - CARBOHIDRATOS3	*	-7.75667	0.462356
PROTEINA1 - PROTEINA3		-0.0566667	0.462356
PROTEINA1 - CENIZA3		0.0433333	0.462356
PROTEINA1 - GRASA3		0.243333	0.462356
CENIZA1 - GRASA1		0.176667	0.326935
CENIZA1 - HUMEDAD2	*	-89.87	0.326935
CENIZA1 - CARBOHIDRATOS2	*	-8.05333	0.326935
CENIZA1 - PROTEINA2		-0.0133333	0.326935
CENIZA1 - CENIZA2		0.0566667	0.326935
CENIZA1 - GRASA2		0.243333	0.326935
CENIZA1 - HUMEDAD3	*	-90.2333	0.462356
CENIZA1 - CARBOHIDRATOS3	*	-7.73333	0.462356
CENIZA1 - PROTEINA3		-0.0333333	0.462356
CENIZA1 - CENIZA3		0.0666667	0.462356
CENIZA1 - GRASA3		0.266667	0.462356
GRASA1 - HUMEDAD2	*	-90.0467	0.326935
GRASA1 - CARBOHIDRATOS2	*	-8.23	0.326935



GRASA1 - PROTEINA2		-0.19	0.326935
GRASA1 - CENIZA2		-0.12	0.326935
GRASA1 - GRASA2		0.0666667	0.326935
GRASA1 - HUMEDAD3	*	-90.41	0.462356
GRASA1 - CARBOHIDRATOS3	*	-7.91	0.462356
GRASA1 - PROTEINA3		-0.21	0.462356
GRASA1 - CENIZA3		-0.11	0.462356
GRASA1 - GRASA3		0.09	0.462356
HUMEDAD2 - CARBOHIDRATOS2	*	81.8167	0.326935
HUMEDAD2 - PROTEINA2	*	89.8567	0.326935
HUMEDAD2 - CENIZA2	*	89.9267	0.326935
HUMEDAD2 - GRASA2	*	90.1133	0.326935
HUMEDAD2 - HUMEDAD3		-0.363333	0.462356
HUMEDAD2 - CARBOHIDRATOS3	*	82.1367	0.462356
HUMEDAD2 - PROTEINA3	*	89.8367	0.462356
HUMEDAD2 - CENIZA3	*	89.9367	0.462356
HUMEDAD2 - GRASA3	*	90.1367	0.462356
CARBOHIDRATOS2 - PROTEINA2	*	8.04	0.326935
CARBOHIDRATOS2 - CENIZA2	*	8.11	0.326935
CARBOHIDRATOS2 - GRASA2	*	8.29667	0.326935
CARBOHIDRATOS2 - HUMEDAD3	*	-82.18	0.462356
CARBOHIDRATOS2 - CARBOHIDRATOS3		0.32	0.462356
CARBOHIDRATOS2 - PROTEINA3	*	8.02	0.462356
CARBOHIDRATOS2 - CENIZA3	*	8.12	0.462356
CARBOHIDRATOS2 - GRASA3	*	8.32	0.462356
PROTEINA2 - CENIZA2		0.07	0.326935
PROTEINA2 - GRASA2		0.256667	0.326935
PROTEINA2 - HUMEDAD3	*	-90.22	0.462356
PROTEINA2 - CARBOHIDRATOS3	*	-7.72	0.462356
PROTEINA2 - PROTEINA3		-0.02	0.462356
PROTEINA2 - CENIZA3		0.08	0.462356
PROTEINA2 - GRASA3		0.28	0.462356
CENIZA2 - GRASA2		0.186667	0.326935
CENIZA2 - HUMEDAD3	*	-90.29	0.462356
CENIZA2 - CARBOHIDRATOS3	*	-7.79	0.462356
CENIZA2 - PROTEINA3		-0.09	0.462356
CENIZA2 - CENIZA3		0.01	0.462356
CENIZA2 - GRASA3		0.21	0.462356
GRASA2 - HUMEDAD3	*	-90.4767	0.462356
GRASA2 - CARBOHIDRATOS3	*	-7.97667	0.462356
GRASA2 - PROTEINA3		-0.276667	0.462356
GRASA2 - CENIZA3		-0.176667	0.462356
GRASA2 - GRASA3		0.0233333	0.462356
HUMEDAD3 - CARBOHIDRATOS3	*	82.5	0.566268
HUMEDAD3 - PROTEINA3	*	90.2	0.566268
HUMEDAD3 - CENIZA3	*	90.3	0.566268
HUMEDAD3 - GRASA3	*	90.5	0.566268
CARBOHIDRATOS3 - PROTEINA3	*	7.7	0.566268
CARBOHIDRATOS3 - CENIZA3	*	7.8	0.566268
CARBOHIDRATOS3 - GRASA3	*	8.0	0.566268
PROTEINA3 - CENIZA3		0.1	0.566268
PROTEINA3 - GRASA3		0.3	0.566268
CENIZA3 - GRASA3		0.2	0.566268

\* indica una diferencia significativa.

CUADRO 15. ANOVA EN LAS DIFERENTES MUESTRAS EVALUADAS DEL  
JUGO DE NARANJA

PARA LA DENSIDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	72.9517	2	36.4758	12.60	0.0188
Intra grupos	11.5769	4	2.89423		
Total (Corr.)	84.5286	6			

PARA EL CALOR ESPECÍFICO

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.00137933	2	0.000689667	8.29	0.0378
Intra grupos	0.000332667	4	0.0000831667		
Total (Corr.)	0.001712	6			

PARA LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.00033617	2	0.000168085	491.96	0.0000
Intra grupos	0.00000136667	4	3.41667E-7		
Total (Corr.)	0.000337537	6			

PARA LA DIFUSIVIDAD TERMICA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0	2	0	4987.95	0.0000
Intra grupos	0	4	0		
Total (Corr.)	0	6			

## PARA LA VISCOSIDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.0685604	2	0.0342802	40.84	0.0022
Intra grupos	0.00335733	4	0.000839333		
Total (Corr.)	0.0719177	6			

## PARA LA ACIDEZ

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.0785802	2	0.0392901	496.30	0.0000
Intra grupos	0.000316667	4	0.0000791667		
Total (Corr.)	0.0788969	6			

## PARA LA HUMEDAD

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.93244	2	0.966219	8.95	0.0334
Intra grupos	0.431933	4	0.107983		
Total (Corr.)	2.36437	6			

## PARA LOS CARBOHIDRATOS

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	1.59154	2	0.795771	1591.54	0.0000
Intra grupos	0.002	4	0.0005		
Total (Corr.)	1.59354	6			

## PARA LA PROTEINA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.00327619	2	0.0016381	0.49	0.6469
Intra grupos	0.0134667	4	0.00336667		
Total (Corr.)	0.0167429	6			

## PARA LA CENIZA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.00607619	2	0.0030381	0.04	0.9592
Intra grupos	0.289067	4	0.0722667		
Total (Corr.)	0.295143	6			

## PARA LA GRASA

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Entre grupos	0.00941905	2	0.00470952	40.37	0.0022
Intra grupos	0.000466667	4	0.000116667		
Total (Corr.)	0.00988571	6			

CUADRO 16. PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES DE PARA LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL JUGO DE NARANJA

<i>Contraste</i>	<i>Sig.</i>	<i>Diferencia</i>	<i>+/- Límites</i>
DENSIDAD1 - DENSIDAD2	*	3.634	1.47236
DENSIDAD1 - DENSIDAD3	*	-6.057	2.08223
DENSIDAD2 - DENSIDAD3	*	-9.691	2.08223
CALOR ESPECIFICO1 - CALOR ESPECIFICO2		-0.0246667	1.47236
CALOR ESPECIFICO1 - CALOR ESPECIFICO3		0.011	2.08223
CALOR ESPECIFICO2 - CALOR ESPECIFICO3		0.0356667	2.08223
CONDUCTIVIDAD TERMICA1 - CONDUCTIVIDAD TERMICA 2		-0.00246667	1.47236
CONDUCTIVIDAD TERMICA1 - CONDUCTIVIDAD TERMICA3		0.0183	2.08223
CONDUCTIVIDAD TERMICA 2 - CONDUCTIVIDAD TERMICA3		0.0207667	2.08223
DIFUSIVIDAD TERMICA1 - DIFUSIVIDAD TERMICA2		-2.23333E-10	1.47236
DIFUSIVIDAD TERMICA1 - DIFUSIVIDAD TERMICA3		4.54E-9	2.08223
DIFUSIVIDAD TERMICA2 - DIFUSIVIDAD TERMICA3		4.76333E-9	2.08223
VISCOSIDAD1 - VISCOSIDAD2	*	-0.188	0.0656768
VISCOSIDAD1 - VISCOSIDAD3	*	-0.228667	0.092881
VISCOSIDAD2 - VISCOSIDAD3		-0.0406667	0.092881
ACIDEZ1 - ACIDEZ2		-0.190333	1.1706
ACIDEZ1 - ACIDEZ3		0.073	1.65548
ACIDEZ2 - ACIDEZ3		0.263333	1.65548

\* indica una diferencia significativa.

### 8.3 ANALISIS DE LOS MODELOS MATEMATICOS OBTENIDOS MEDIANTE EL STATGRAPHIC

#### 8.3.1 REGRESIÓN POLINOMIAL - DENSIDAD VERSUS HUMEDAD

Variable dependiente: DENSIDAD

Variable independiente: HUMEDAD

Orden del polinomio = 2

Coeficientes

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	7273.49	4622.94	1.57335	0.2137
HUMEDAD	-134.772	102.962	-1.30895	0.2818
HUMEDAD^2	0.72718	0.573274	1.26847	0.2941

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	30.939	2	15.4695	103.84	0.0017
Residual	0.446906	3	0.148969		
Total (Corr.)	31.3859	5			

R-cuadrada = 98.5761 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 97.6268 por ciento

Error estándar del est. = 0.385965

Error absoluto medio = 0.235377

Estadístico Durbin-Watson = 2.20865 (P=0.1007)

Autocorrelación de residuos lag 1 = -0.169378

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{DENSIDAD} = 7273.49 - 134.772 * \text{HUMEDAD} + 0.72718 * \text{HUMEDAD}^2$$

### 8.3.2 REGRESIÓN SIMPLE - CALOR ESPECIFICO VS. HUMEDAD

Variable dependiente: CALOR ESPECIFICO

Variable independiente: HUMEDAD

Lineal:  $Y = a + b * X$

#### Coefficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	1.52931	0.0468665	32.6312	0.0000
Pendiente	0.0265289	0.000521511	50.8693	0.0000

#### Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.00124341	1	0.00124341	2587.69	0.0000
Residuo	0.00000192204	4	4.8051E-7		
Total (Corr.)	0.00124533	5			

Coefficiente de Correlación = 0.999228

R-cuadrada = 99.8457 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99.8071 por ciento

Error estándar del est. = 0.000693189

Error absoluto medio = 0.000464557

Estadístico Durbin-Watson = 1.82627 (P=0.1706)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.137623

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{CALOR ESPECIFICO} = 1.52931 + 0.0265289 * \text{HUMEDAD}$$

8.3.3 REGRESIÓN POLINOMIAL - CONDUCTIVIDAD TERMICA VS. HUMEDAD

Variable dependiente: CONDUCTIVIDAD TERMICA

Variable independiente: HUMEDAD

Orden del polinomio = 2

Coefficientes

		<i>Error</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Estándar</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
CONSTANTE	2.48601	3.12666	0.795099	0.4847
HUMEDAD	-0.0450304	0.0696368	-0.646646	0.5639
HUMEDAD^2	0.000264138	0.000387725	0.68125	0.5446

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.0000102889	2	0.00000514445	75.50	0.0027
Residual	2.04428E-7	3	6.81428E-8		
Total (Corr.)	0.0000104933	5			

R-cuadrada = 98.0518 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 96.753 por ciento

Error estándar del est. = 0.000261042

Error absoluto medio = 0.000170547

Estadístico Durbin-Watson = 2.13953 (P=0.0797)

Autocorrelación de residuos lag 1 = -0.149621

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{CONDUCTIVIDAD TERMICA} = 2.48601 - 0.0450304 * \text{HUMEDAD} + 0.000264138 * \text{HUMEDAD}^2$$

## 8.3.4 REGRESIÓN SIMPLE - DIFUSIVIDAD TERMICA VS. HUMEDAD

Variable dependiente: DIFUSIVIDAD TERMICA

Variable independiente: HUMEDAD

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$ 

## Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	1.22427	0.0212068	57.7302	0.0000
Pendiente	0.00210584	0.000235981	8.92378	0.0009

## Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.00000783479	1	0.00000783479	79.63	0.0009
Residuo	3.9354E-7	4	9.83851E-8		
Total (Corr.)	0.00000822833	5			

Coeficiente de Correlación = 0.975793

R-cuadrada = 95.2173 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 94.0216 por ciento

Error estándar del est. = 0.000313664

Error absoluto medio = 0.000241272

Estadístico Durbin-Watson = 2.07267 (P=0.2825)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.128283

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\text{DIFUSIVIDAD TERMICA} = 1.22427 + 0.00210584 \cdot \text{HUMEDAD}$$



8.3.5 REGRESIÓN SIMPLE - VISCOSIDAD VS. BRIX

Variable dependiente: VISCOSIDAD

Variable independiente: BRIX

Lineal:  $Y = a + b \cdot X$

Coeficientes

	<i>Mínimos Cuadrados</i>	<i>Estándar</i>	<i>Estadístico</i>	
<i>Parámetro</i>	<i>Estimado</i>	<i>Error</i>	<i>T</i>	<i>Valor-P</i>
Intercepto	1.31051	0.00367024	357.065	0.0000
Pendiente	0.0694228	0.000437096	158.828	0.0000

Análisis de Varianza

<i>Fuente</i>	<i>Suma de Cuadrados</i>	<i>Gl</i>	<i>Cuadrado Medio</i>	<i>Razón-F</i>	<i>Valor-P</i>
Modelo	0.0563644	1	0.0563644	25226.20	0.0000
Residuo	0.00000893744	4	0.00000223436		
Total (Corr.)	0.0563733	5			

Coefficiente de Correlación = 0.999921

R-cuadrada = 99.9841 por ciento

R-cuadrado (ajustado para g.l.) = 99.9802 por ciento

Error estándar del est. = 0.00149478

Error absoluto medio = 0.000995677

Estadístico Durbin-Watson = 3.34 (P=0.9599)

Autocorrelación de residuos en retraso 1 = -0.786605

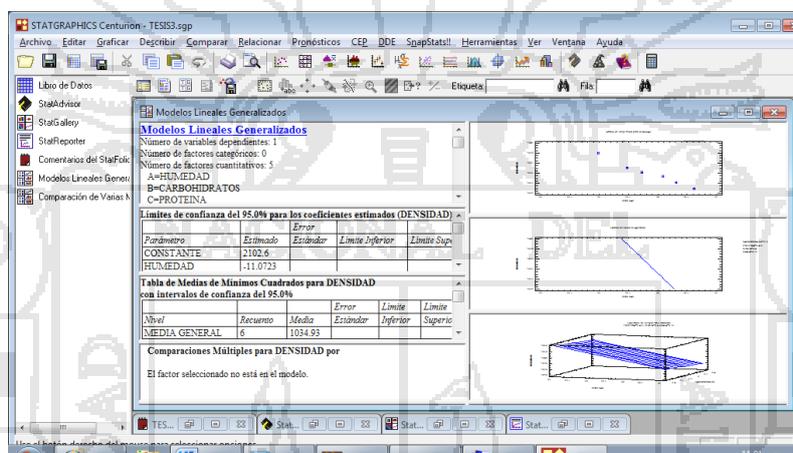
La ecuación del modelo ajustado es

$$VISCOSIDAD = 1.31051 + 0.0694228 \cdot BRIX$$

### 8.3.6 REGRESION MULTIPLE DE LAS PROPIEDADES FISICAS DEL JUGO DE NARANJA VALENCIA Y SUS COMPONENTES

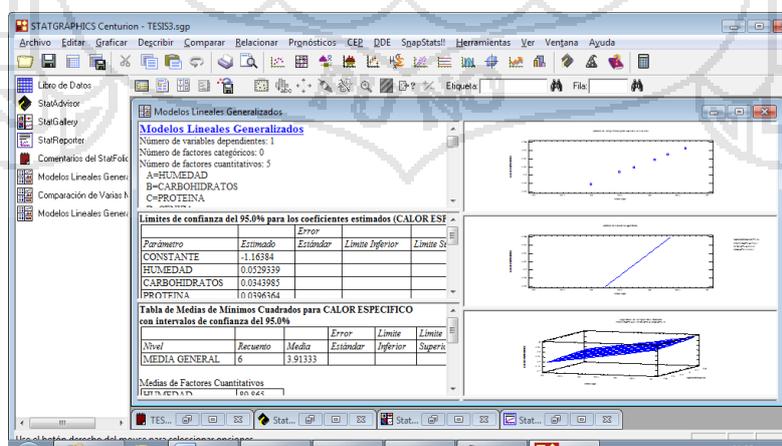
En los siguientes gráficos se muestran las relaciones existentes entre cada una de las propiedades físicas y cada uno de sus factores considerados en el statgraphics.

FIGURA 13: REPRESENTACION EN EL STATGRAPHICS DE LA DENSIDAD CON RESPECTO A SUS DEMAS FACTORES



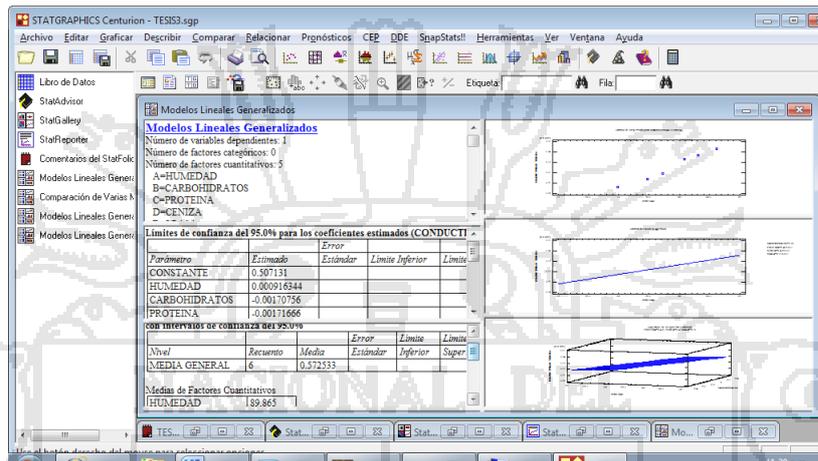
$$DENSIDAD = 2102.6 - 11.0723*HUMEDAD - 7.13902*CARBOHIDRATOS - 8.52197*PROTEINA - 4.73415*CENIZA - 10.7332*GRASA$$

FIGURA 14: REPRESENTACION EN EL STATGRAPHICS DE LA CALOR ESPECIFICO CON RESPECTO A SUS DEMAS FACTORES



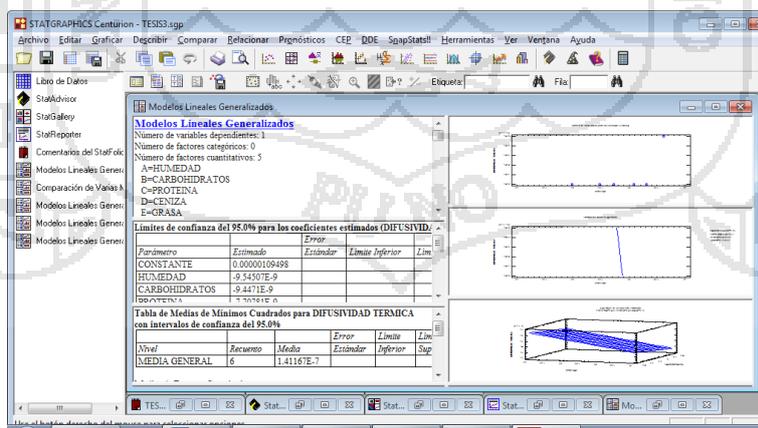
$$\text{CALOR ESPECIFICO} = -1.16384 + 0.0529339*\text{HUMEDAD} + 0.0343985*\text{CARBOHIDRATOS} + 0.0396364*\text{PROTEINA} + 0.0232573*\text{CENIZA} - 0.0626945*\text{GRASA}$$

FIGURA 15: REPRESENTACION EN EL STATGRAPHICS DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA CON RESPECTO A SUS DEMAS FACTORES



$$\text{CONDUCTIVIDAD TERMICA} = 0.507131 + 0.000916344*\text{HUMEDAD} - 0.00170756*\text{CARBOHIDRATOS} - 0.00171666*\text{PROTEINA} - 0.000508909*\text{CENIZA} - 0.00251781*\text{GRASA}$$

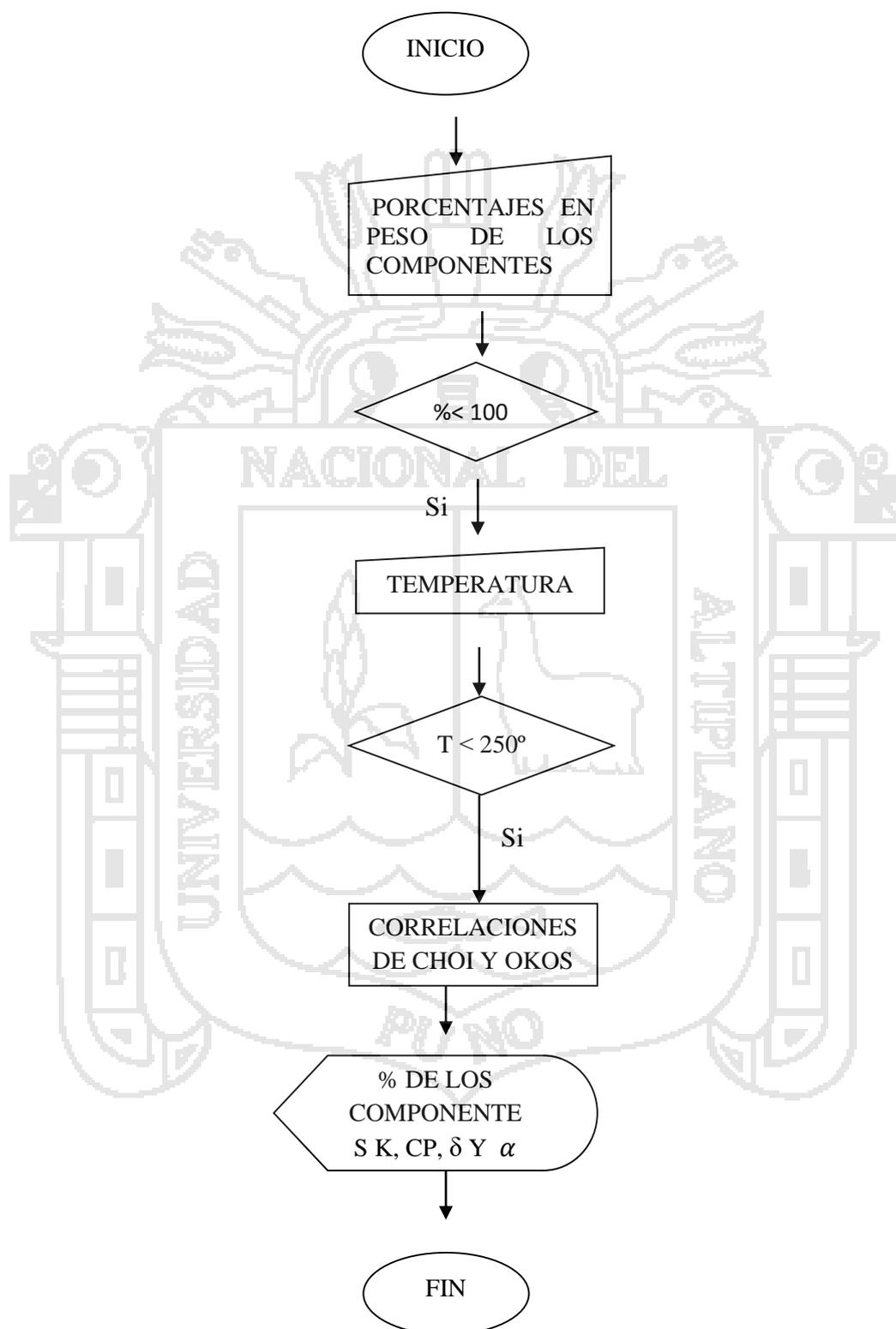
FIGURA 16: REPRESENTACION EN EL STATGRAPHICS DE LA DIFUSIVIDAD TERMICA CON RESPECTO A SUS DEMAS FACTORES



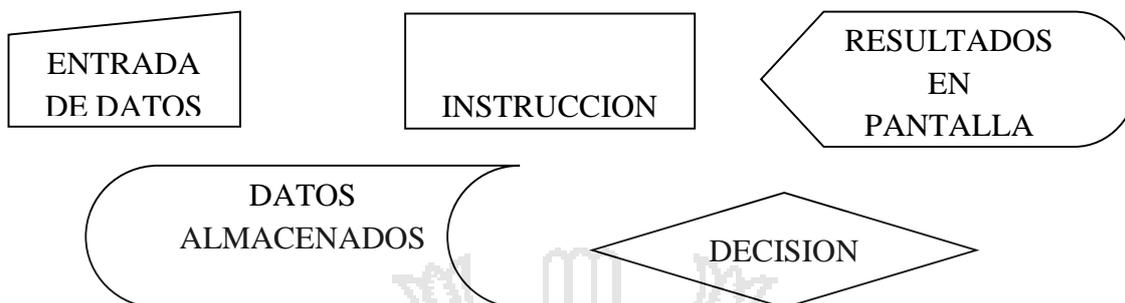
$$\text{DIFUSIVIDAD TERMICA} = 1.41197 + 0.000272696*\text{HUMEDAD} - 0.00233189*\text{CARBOHIDRATOS} - 0.00352191*\text{PROTEINA} - 0.00036274*\text{CENIZA} - 0.00118867*\text{GRASA}$$

### 8.4 ANALISIS DEL PROGRAMA EN EL VISUAL BASIC

#### 8.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO.



### 8.4.2 SIMBOLOGÍA:

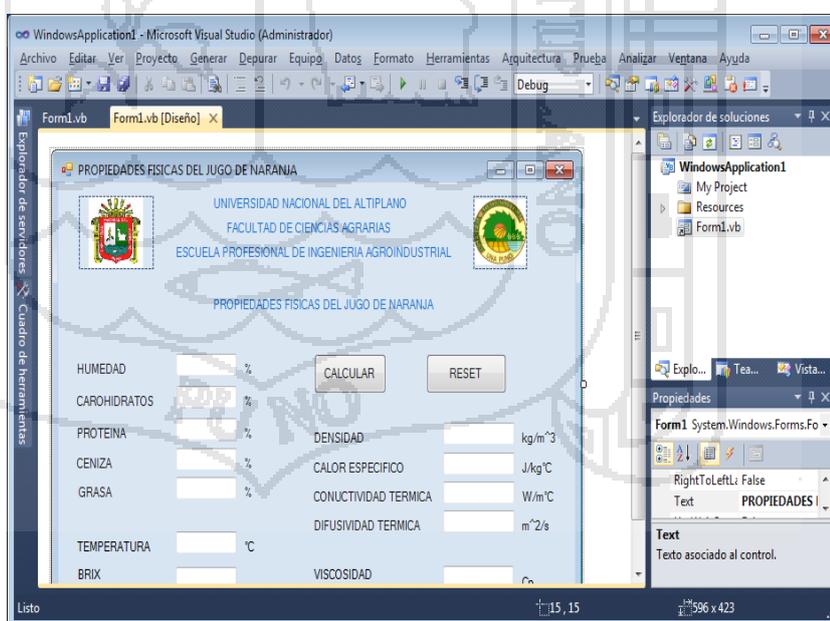


### 8.4.3 MANUAL DE USUARIO.

Los requerimientos hardware indican que es necesario contar con un procesador superior a 1.6GHz, 1GB de RAM y 3GB de espacio en disco. Visual Studio 2010 soporta las arquitecturas 32-Bit (x86) y 64-Bit (x64), pero solo trabaja nativamente a 32-bit. En nuestro caso solo se instalara el Visual Basic. El programa compilado consta de todas las librerías necesarias para su funcionamiento óptimo.

Al ingresar al programa aparecerá la siguiente figura,

Se debe ingresar los porcentajes en peso de los componentes y la temperatura para calcular las propiedades térmicas del alimento. Debe recordarse que la suma de los porcentajes no



debe ser mayor a 100, en el caso de no ingresar un valor, se asumirá como cero. La temperatura debe ingresarse obligadamente en la pantalla, ya que sin ella no se pueden evaluar las propiedades. El programa determina las propiedades térmicas para alimentos en general.

El programa en el visual basic tiene dos partes importantes una es la parte visual donde observamos el esquema o diseño del programa y la otra es la parte del

```

Private Sub Button1_Click(ByVal sender As System.Object, ByVal e As System.EventArgs) Handles Button
    Dim H, P, C, CZ, G, T, D_1, D_2, D_3, D_4, D_5, CP_1, CP_2, CP_3, CP_4, CP_5 As Single
    Dim K_1, K_2, K_3, K_4, K_5, J_1, J_2, J_3, J_4, J_5, S_I, K_T, D_T, C_T, I_1, I_2, I_3, I_4, I_5

    T = (TextBox10.Text)
    H = Val(TextBox1.Text)
    C = Val(TextBox2.Text)
    P = Val(TextBox3.Text)
    G = Val(TextBox5.Text)
    CZ = Val(TextBox4.Text)

    D_1 = (997.18 + 3.1439 * 0.001 * T - 3.7574 * 0.001 * T * T)
    D_2 = (1599.1 - 0.31046 * T)
    D_3 = (1330 - 0.5184 * T)
    D_4 = (925.59 - 0.41757 * T)
    D_5 = (2423.8 - 0.28063 * T)

    CP_1 = (4176.2 - 0.0909 * T + 5.4731 * 0.001 * T ^ 2)
    CP_2 = (1548.8 + 1.9625 * T - 5.9399 * 0.001 * T ^ 2)
    CP_3 = (2008.2 + 1.2084 * T - 1.3129 * 0.001 * T ^ 2)
    CP_4 = (1984.2 + 1.4373 * T - 4.8008 * 0.001 * T ^ 2)
    CP_5 = (1092.6 + 1.8896 * T - 3.6817 * 0.001 * T ^ 2)
    
```

software denominada formulario donde ingresamos todas las variables, formulas correspondientes a los modelos matemáticos de Choi y Okos y se formula la secuencia de programación.

### 8.4.4 EJEMPLO DE APLICACIÓN RESUELTO.

A modo de ejemplo se escogió la muestra 1 del centro poblado de San Juan del Oro a 16°C de temperatura tomada como promedio para comparar los resultados entregados por el programa con los obtenidos en los análisis realizados:

Humedad:	89.39%
Carbohidratos:	9.38%
Proteína:	0.44%
Ceniza:	0.47%
Grasa:	0.29%

Los resultados entregados por el programa computacional son:

Densidad:	1036.789	kg/m <sup>3</sup>
Calor específico:	3901.147	Joule/kg °C
Conductividad térmica:	0.5713059	Watt/m °K
Difusividad térmica:	1.412492 10 <sup>-7</sup>	m <sup>2</sup> /s

### 8.4.5 PROGRAMA EN EL VISUAL BASIC PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES FISICAS EN EL JUGO DE NARAJA

**Private Sub** Button1\_Click(**ByVal** sender **As** System.Object, **ByVal** e **As** System.EventArgs) **Handles** Button1.Click

**Dim** H, P, C, CZ, G, T, D\_1, D\_2, D\_3, D\_4, D\_5, CP\_1, CP\_2, CP\_3, CP\_4, CP\_5, B, V, K\_1, K\_2, K\_3, K\_4, K\_5, J\_1, J\_2, J\_3, J\_4, J\_5, S\_I, K\_T, D\_T, C\_T, I\_1, I\_2, I\_3, I\_4, I\_5 **As** Single

```
T = Val(TextBox10.Text)
H = Val(TextBox1.Text)
C = Val(TextBox2.Text)
P = Val(TextBox3.Text)
G = Val(TextBox5.Text)
CZ = Val(TextBox4.Text)
B = Val(TextBox11.Text)
```

```
D_1 = (997.18 + 3.1439 * 0.001 * T - 3.7574 * 0.001 * T * T)
D_2 = (1599.1 - 0.31046 * T)
D_3 = (1330 - 0.5184 * T)
D_4 = (925.59 - 0.41757 * T)
D_5 = (2423.8 - 0.28063 * T)
```

```
CP_1 = (4176.2 - 0.0909 * T + 5.4731 * 0.001 * T ^ 2)
CP_2 = (1548.8 + 1.9625 * T - 5.9399 * 0.001 * T ^ 2)
CP_3 = (2008.2 + 1.2084 * T - 1.3129 * 0.001 * T ^ 2)
CP_4 = (1984.2 + 1.4373 * T - 4.8008 * 0.001 * T ^ 2)
CP_5 = (1092.6 + 1.8896 * T - 3.6817 * 0.001 * T ^ 2)
K_1 = (0.57109 + 1.7625 * 0.001 * T - 6.7036 * 0.000001 * T ^ 2)
K_2 = (0.20141 + 1.3874 * 0.001 * T - 4.3312 * 0.000001 * T ^ 2)
K_3 = (0.17881 + 1.1958 * 0.001 * T - 2.7178 * 0.000001 * T ^ 2)
K_4 = (0.18071 - 2.7604 * 0.001 * T - 1.7749 * 0.000001 * T ^ 2)
K_5 = (0.32961 + 1.4011 * 0.001 * T - 2.9096 * 0.000001 * T ^ 2)
```

```
I_1 = (H / D_1)
I_2 = (C / D_2)
I_3 = (P / D_3)
I_4 = (G / D_4)
I_5 = (CZ / D_5)
S_I = (I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5)
J_1 = (I_1 / S_I)
J_2 = (I_2 / S_I)
J_3 = (I_3 / S_I)
J_4 = (I_4 / S_I)
J_5 = (I_5 / S_I)
```

```
D_T = (1 / ((H / 100) / (D_1) + (C / 100) / (D_2) + (P / 100) /
(D_3) + (G / 100) / (D_4) + (CZ / 100) / (D_5)))
C_T = ((H / 100) * CP_1 + (C / 100) * CP_2 + (P / 100) * CP_3 + (G /
100) * CP_4 + (CZ / 100) * CP_5)
K_T = (K_1 * J_1 + K_2 * J_2 + K_3 * J_3 + K_4 * J_4 + K_5 * J_5)
```

```
TextBox6.Text = D_T
TextBox7.Text = C_T
TextBox8.Text = K_T
TextBox9.Text = (K_T / (D_T * C_T))
```

```
V = (2.7182) ^ (-8.7946 + 0.037 * (B) + (2636 / (T + 273)))
TextBox12.Text = V
```

## 8.5 EQUIPOS

### 8.5.1 REFRACTÓMETRO BRIX

Modelo RF10 y RF15 (con CAT)



#### Especificaciones

Escala 0 a 32 % Brix

Resolución 0.2%

Dimensiones RF10: 168 x 32 x 32mm (6.6 x 1.3 x 1.3")

RF15: 159 x 35 x 35mm (6.3 x 1.4 x 1.4")

Peso RF10: 91g (3.2 oz.); RF15: 200g (7.0 oz.)

#### Descripción

1. Prisma
2. Cubre objetos
3. Tornillo de ajuste
4. Tubo espejo
5. Ocular

Fuente: Copyright (c) 2003 Extech Instruments Corporation.

8.5.2 CAMARA DIGITAL SONY CYBER-SHOT DSC-W310



<b>General</b>	
Tipo de producto	Cámara digital - compacta
Anchura	9.5 cm
Profundidad	1.9 cm
Altura	5.5 cm
Color incluido	Plata
<b>Características Principales</b>	
Resolución	12.1 Megapíxel
Colores admitidos	Color
Tipo sensor óptico	Super HAD CCD
Resolución efectiva del sensor	12 100 000 píxeles
Tamaño del sensor óptico	1/2.3"
Zoom digital	2 x
Modos de toma de fotografías	Modo de cuadro de película
Formato de imágenes fijas	JPEG
Captura de vídeo	640 x 480 - 30 tramas por segundo 320 x 240 - 30 tramas por segundo

## 8.5.3 COMPAQ MINI CQ10 811LA



Nombre del producto	CQ10-811LA
Número de producto	LY884LA
Microprocesador	Intel Atom N570 a 1,66 GHz
Caché del microprocesador	2 x 512 KB de caché de nivel 2
Memoria	DDR3 de 2 GB
Gráficos de video	Intel Graphics Media Accelerator 3150 (hasta 256 MB)
Pantalla	Pantalla LED WSVGA anti reflejo HP de 25,6 cm (10,1 pulgadas) en diagonal (1024 x 600)
Disco duro	SATA de 320 GB (7200 rpm)
Tarjeta de red	Interfaz de red Ethernet 10/100 BT integrada
Conectividad inalámbrica	Red inalámbrica LAN inalámbrica 802.11 b/g/n
Sonido	Audio de alta definición, Altavoces estéreo, Micrófono integrado
Sistema operativo	Linux

8.6 TABLAS

TABLA 01. CALORES ESPECÍFICOS DE ALGUNOS ALIMENTOS

Producto.	Agua (%)	Prot. eína (%)	Carboh idratos (%)	Lípido s (%)	Ceniz as (%)	Cp. experimental (kJ/kg °K)	Cp. entregado por programa (kJ/kg°K) <sup>(3)</sup>
Mantequilla	15.5	0.6	0.4	81.0	2.5	2.051-2.135 <sup>(1)</sup> 2.050 <sup>(2)</sup>	2.315
Leche entera	14	-	-	-	-	-	-
Leche pasteurizada	87.0	3.5	4.9	3.9	0.7	3.852 <sup>(1)</sup>	3.866
Pescado fresco	76.0	19.0	-	-	1.4	3.600 <sup>(1)</sup>	3.577
Papas	79.8	2.1	17.1	0.1	0.9	3.517 <sup>(1)</sup>	3.661
Manzana	84.4	0.2	14.5	0.6	0.3	3.726-4.019 <sup>(1)</sup> 3.370 <sup>(2)</sup>	3.814
Cordero	75	-	-	-	-	-	-
Cordero	68.0	21.0	0.0	10.0	1.0	3.223 <sup>(1)</sup>	3.481
Sardinas	57.4	25.7	1.2	11.0	0.0	3.0.14 <sup>(1)</sup>	3.162
Queso	65.0	25.0	1.0	2.0	7.0	3.265 <sup>(1)</sup>	3.336
Zanahoria	88.2	1.2	9.3	0.3	1.1	3.810-3.935 <sup>(1)</sup> 3.890 <sup>(2)</sup>	3.875
Cerdo	88.0	-	-	-	-	-	3.879
Cerdo	60	-	-	-	-	2.850 <sup>(2)</sup>	3.208
Pollo	74	-	-	-	-	3.310 <sup>(2)</sup>	3.383
Espinaca	87	-	-	-	-	3.800 <sup>(2)</sup>	3.910

Fuente: Heldman (1981)

Toledo (1991)

Los Calores específicos fueron evaluados a 25°C

TABLA 02. CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE ALGUNOS ALIMENTOS

Producto.	Contenido de Humedad (%)	de Temperatura (°C).	Conductividad Térmica (W/m°K).	k entregado por el programa (W/m°K) <sup>(3)</sup>
Zanahorias	-	-	0.6058 <sup>(2)</sup>	0.5811
Cordero	-	5.5	0.4777 <sup>(2)</sup>	0.4803
Tomate	-	-	0.5279 <sup>(2)</sup>	0.5952
Huevo blanco	-	36	0.577 <sup>(1)</sup>	0.5644
Músculo de	-	0-10	0.557 <sup>(1)</sup>	0.5215
pescado	-	-10	1.497 <sup>(2)</sup>	
Leche	-	37	0.530 <sup>(1)</sup>	0.58720
Cerdo	75.9	4	0.443 <sup>(1)</sup>	0.4875
	-	6	0.4881 <sup>(2)</sup>	0.4902
Papa	81.5	1-32	0.554 <sup>(1)</sup>	0.5576
	-	-	0.554 <sup>(2)</sup>	

(1) Heldman (1981)

(2) Toledo (1991)

(3) Las conductividades térmicas que aparecían con la temperatura de evaluación fueron calculadas a 25°C

TABLA 03. COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA PARA REFRACTÓMETROS DE MANO ZUZI

%	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
<b>°C</b>	Reste lo siguiente de la medida													
<b>10</b>	0.58	0.59	0.61	0.64	0.67	0.69	0.71	0.72	0.74	0.74	0.74	0.75	0.76	0.77
<b>11</b>	0.51	0.54	0.55	0.58	0.61	0.63	0.65	0.65	0.67	0.67	0.67	0.68	0.68	0.69
<b>12</b>	0.47	0.49	0.50	0.52	0.55	0.57	0.58	0.58	0.60	0.60	0.60	0.60	0.61	0.61
<b>13</b>	0.42	0.44	0.44	0.45	0.49	0.50	0.51	0.51	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
<b>14</b>	0.37	0.38	0.39	0.40	0.42	0.43	0.44	0.44	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.46
<b>15</b>	0.31	0.32	0.33	0.34	0.35	0.36	0.37	0.37	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
<b>16</b>	0.25	0.26	0.27	0.28	0.28	0.29	0.30	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
<b>17</b>	0.19	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
<b>18</b>	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
<b>19</b>	0.06	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
	Sume lo siguiente a la medida													
<b>21</b>	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
<b>22</b>	0.14	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.15
<b>23</b>	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23	0.23	0.24	0.24	0.24	0.24	0.23	0.22
<b>24</b>	0.28	0.29	0.29	0.30	0.30	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.32	0.32	0.31	0.31
<b>25</b>	0.35	0.36	0.37	0.38	0.38	0.39	0.39	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.39	0.39
<b>26</b>	0.43	0.44	0.44	0.46	0.46	0.47	0.47	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.47	0.47
<b>27</b>	0.51	0.52	0.53	0.54	0.55	0.55	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.55	0.55
<b>28</b>	0.59	0.60	0.61	0.62	0.63	0.64	0.64	0.65	0.65	0.64	0.64	0.64	0.64	0.63
<b>29</b>	0.67	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.72	0.72	0.71
<b>30</b>	0.75	0.77	0.78	0.79	0.80	0.81	0.81	0.81	0.82	0.81	0.81	0.81	0.80	0.79

Fuente: International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis (1966)

TABLA 04. PROPIEDADES TERMICAS DE JUGO DE FRUTAS

Jugos	Agua %	T (°C)	K (W/m°C)	$\alpha$ ( $10^{-6}m^2/s$ )	$\delta$ ( $kg/m^3$ )	Cp (kJ/kg°C)
Jugo de Manzana	87.0	20.00	0.559	-	-	-
	87.2	15.52	0.553	0.1367	1050.8	3.850
	70.0	20.00	0.504	-	-	-
Jugo de Pera	89.0	20.00	-	-	-	-
	68.0	20.00	-	-	-	-
Jugo de Cereza	86.7	15.57	0.553	0.1367	1052.4	3.850
Jugo de Uva	84.7	15.57	0.556	0.1316	1062.0	3.810
Jugo de Naranja	89.0	15.50	0.553	0.1367	1042.8	3.890
Jugo de Frambuesa	84.7	15.57	0.553	0.1367	1046.0	3.890
Jugo de Fresa	89.0	15.50	0.571	0.1393	1033.2	3.970
Jugo de Tomate	95.2	30.02	0.596	0.1444	1018.1	4.052
Jugo en General	89.0	20.00	0.567	-	-	-
	70.0	20.00	0.496	-	-	-

Fuente: Choi y Okos, 1986

TABLA 05. PROPIEDADES TERMICAS EN ALGUNOS ALIMENTOS

Producto	T (°C)	K (W/m°C)	$\alpha$ ( $10^{-6}m^2/s$ )	$\delta$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp (kJ/kg°C)
Sal	83	0.247	-	-	1.13
Salmuera	20	-	-	1039.0	-
Azúcar	0-100	0.1731	0.1367	1052.4	3.850
Miel	21	0.558	-	-	3.785
Aceite de Olivo	20	0.168	-	910	2.0
Aceite de linaza	60	-	-	910	2.1
Fresa	28	0.462	-	900	-
Manzana Seca	23	0.19	0.96	856	2.68
Higo	23	0.335	1.05	1216	2.64
Durazno	23	0.361	1.12	1259	2.57
Ciruela	26	0.551	1.05	1130	2.32
Limón	18	0.525	-	1000	-
Pepino	28	0.600	-	950	-
Cebolla	28	0.580	-	970	1.93
Nabo	42	0.563	-	1000	0.862
Gelatina de fresa	10	0.365	1.17	1310	2.52
Carne Bistec	20	0.297	1.08	1050	2.63
Pollo	20	0.489	-	-	-
Mantequilla	55	0.197	-	997	-
Leche entera	15	-	0.197	918	-
Lactosa	20	-	-	1043	-
Leche condensada	24.2	0.576	0.143	1032	3.984
Caseína	20	-	-	1359	-

Fuente: Choi y Okos, 1986

**8.7 FOTOS**

**CIP. TAMBOPATA**



**NARANJA VALENCIA**



**ESTUFA**



**MUFLA**



**BALANZA ANALITICA**



**EQUIPO SOXHLET**



### EQUIPO MICROKJELDAHL



### ACIDEZ

